

汇聚 · 碰撞 · 变革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

📍 中国 · 广州

📅 2020年9月18-21日



汇聚 · 碰撞 · 变革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

📍 中国 · 广州

📅 2020年9月18-21日

会议基本信息

主办方：

中国光学光电子行业协会液晶分会

中国物理学会

承办方：

华南理工大学材料科学与工程学院

华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室

协办方：

广东聚华印刷显技术有限公司

广州新视界光电科技有限公司

华南师范大学先进光电子研究院

上海大学新型显示技术及应用教育部重点实验室

东莞市盛雄激光先进装备股份有限公司

欧莱靶材

杭州领挚科技有限公司

长春希达电子技术有限公司

TCL 华星光电技术有限公司

默克光电材料（上海）有限公司

北京博源恒芯科技股份有限公司

创维投资

广东阿格蕾雅光电材料有限公司

广州超高清视频产业促进会

季华实验室

赞助单位：

杭州远方光电信息股份有限公司

大会组织委员会和大会程序委员会

1. 大会组织委员会

名誉主任：陈炎顺、陆延青

总顾问：孙政民

主 任：乔跃山、彭俊彪

副主任：梁新清、吴妙娴

委 员：（按笔画顺序排序）

王 磊、王 奎、王 琳、付 东、宁洪龙、包英群、
乔跃山、孙学军、朱立锋、张百哲、吴妙娴、陆建钢、
张建军、林元芳、季国平、罗紫云、赵 勇、胡春明、
姚日晖、郭灏明、徐 红、耿 怡、袁 桐、铁 斌、
徐凤英、郭汝海、梁新清、董绪旺、彭俊彪、薛文进、
戴 雷

2.大会程序委员会

名誉主任：曹镛、欧阳钟灿

主 任：郭海成

副主任：彭笑刚、闫晓林、徐征

委 员：（按笔画顺序排序）

马於光、于军胜、邓少芝、王琼华、王元庆、王 漪、
闫晓林、关旭东、刘 川、孙小卫、朱昌昌、兰林锋、
严 群、张 群、张建华、张盛东、李晓华、邵喜斌、
张 鑫、苏翼凯、杨柏儒、陈志宽、周国富、金 波、
罗东向、宣 丽、俞燕蕾、段 炼、荆 海、徐 征、
郭海成、郭小军、顾 铁、郭太良、顾葆华、黄秀颀、
龚 政、彭笑刚、彭旭辉、曾海波、滕 枫、樊卫华

目录

2020 中国显示学术会议日程	1
会议征文第一章 液晶显示 (LCD)	8
会议征文第二章 有机发光显示 (OLED)	62
会议征文第三章 量子点发光显示 (QLED)	121
会议征文第四章 Micro-LED 显示	130
会议征文第五章 激光显示	132
会议征文第六章 柔性显示	137
会议征文第七章 电子纸显示	167
会议征文第八章 其他显示技术	179
会议征文第九章 触控技术	203
会议征文第十章 显示材料与器件	218
会议征文第十一章 显示电子学	312
会议征文第十二章 显示制造与设备/装备	351
会议征文第十三章 显示测量与标准	356
会议征文第十四章 显示系统与应用	371

2020 中国显示学术会议日程

(时间: 2020/9/18-21, 地点: 广州凤凰城酒店)

9 月 18 日		
10:00 - 22:00	报到	凤凰城酒店大堂
18:00 - 20:00	自助晚餐（另设VIP 工作餐，包括程序、组织委员会委员、大会报告、邀请报告人、特邀嘉宾等）	维也纳西餐厅
9 月 19 日		
8:50 - 9:10	开幕式	主持人:彭俊彪 (华南理工大学) 毕加索会议厅
大会报告		
9:10 - 9:40	中国大陆显示产业及技术 欧阳钟灿，中国科学院院士	主持人：马於光 (华南理工大学) 毕加索会议厅
9:40 - 10:10	量子点显示 彭笑刚，浙江大学教授	
10:10 - 10:40	健康显示 王保平，东南大学常务副校长，教授	主持人：张建华 (上海大学) 毕加索会议厅
10:40 - 11:10	屏显世界 智创未来 董学，京东方科技集团副总裁兼首席技术官	
11:10 - 11:40	全体代表（合影）	
11:40 - 14:30	墙报（Poster）（毕加索会议厅） 负责人：姚日晖	
12: 00 -14: 00 自助午餐（维也纳西餐厅）		
大会报告		
14:30 - 15:00	MLED 背光 8K 星曜技术 赵斌，TCL 华星光电技术有限公司研发总经理	主持人：徐征 (北京交通大学) 毕加索会议厅
15:00 - 15:30	Micro-LED 显示【录像 PPT】 郭浩中，台湾交通大学杰出教授	
茶歇		
15:50 - 16:20	激光显示与半导体微显示 王立军，中国科学院院士	主持人：袁广才 (京东方副总裁 兼显示与传感器 件研究院院长) 毕加索会议厅
16:20 - 16:50	OLED 中小尺寸的变革与挑战 彭冠臻，天马微电子集团首席技术官	
16:50 - 17:20	Recent progresses in light field display 【在线视频】 Byoungho Lee，韩国首尔国立大学教授	

19:00 – 21:00	沙龙（含工作晚餐，毕加索会议厅）	
9 月 20 日		
分组报告		
8:30 – 16:00	分会场 1-5（详细日程见下表）	
9:30 – 16:30	企业招聘（凤凰厅）	
16:30 – 17:30	圆桌访谈（威尼斯会议厅）	主持人：彭俊彪
17:30 – 18:00	闭幕式（威尼斯会议厅）	主持人：彭俊彪
18:00 – 21:00	自助晚餐（维也纳西餐厅）	
9 月 21 日		
8:00 – 12:00	离会	

分会场 1-5 详细安排表

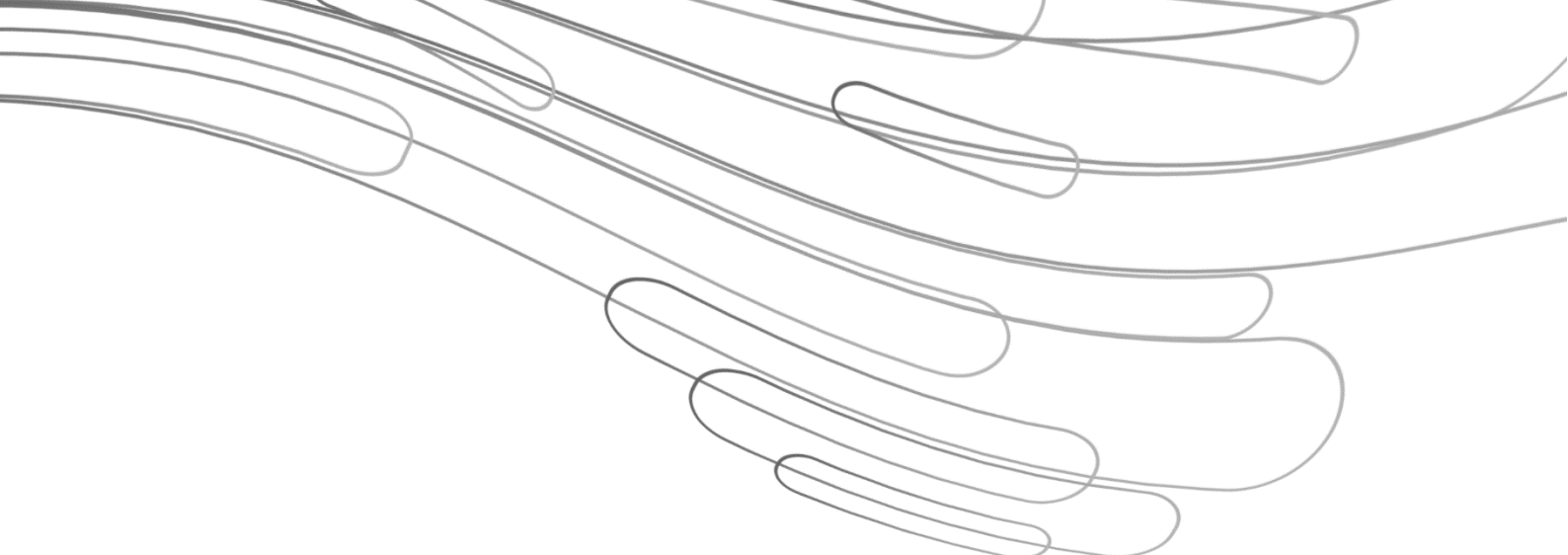
9 月 20 日		
分会场 1: TFT 材料与器件（威尼斯厅）		
8:30 - 9:00	本征柔性显示材料与器件（大会报告） 刘云圻 院士，中科院化学研究所	主持人：张群 （复旦大学）
9:00 - 9:30	高分辨率显示关键技术，装备及产业化（邀请） 张建华，上海大学	
9:30 - 10:00	面向柔性显示的低温 TFT 技术（邀请） 郭小军，上海交通大学	
10:00 - 10:20	有机薄膜晶体管中的接触电阻与少子注入研究 胡袁源，湖南大学	
茶歇		
10:40 - 11:10	自对准顶栅氧化物 TFT 工艺研究（邀请） 张盛东，北大深圳研究生院	主持人： 兰林锋（华南理工 大学）
11:10 - 11:40	TFT 技术在未来显示技术迭代中所面临的挑战（邀请） 袁广才，京东方科技集团副总裁	
11:40 - 12:00	基于 TFT 技术的新应用产业化探索 刘哲，杭州领挚科技有限公司首席技术官	
12: 00 -14: 00 自助午餐（维也纳西餐厅）		
14:00 - 14:30	TFT 模型技术及显示 EDA 进展（邀请） 李泠，中科院微电子所	主持人： 韩德栋（北京大 学）
14:30 - 15:00	氧化物 TFT 的阵列应用（邀请） 刘川，中山大学	
15:00 - 15:20	面向 in-cell 触控屏的 TFT 集成栅驱动电路设计 廖聪维，北大深圳研究生院	
15:20 - 15:40	基于神经网络的金属氧化物 TFT 器件模型 邓婉玲，暨南大学	
15:40 - 16:00	印刷柔性 TFT 材料与器件 姚日晖，华南理工大学	
茶歇、圆桌访谈、闭幕式、自助晚餐		

9 月 20 日		
分会场 2: OLED 及印刷显示（凡高厅）		
8:30 - 9:00	量子点电致发光显示的产业化之路（邀请） 付东，广东聚华印刷显示技术有限公司总经理	主持人： 杨建兵（中电五十五所）、赵祖金（华南理工大学）
9:00 - 9:30	显示市场分析与预测（邀请） 李亚琴，群智咨询副总经理	
9:30 - 9:50	自主 OLED 材料技术及应用 宋晶尧，广州华睿光电材料有限公司	
9:50 - 10:10	基于纳米结构空穴注入层的高效蓝光 PLED 应磊，华南理工大学	
茶歇		
10:30 - 11:00	OLED 中发光层的分子取向及稳定性（邀请） 苏仕健，华南理工大学	主持人： 宋晶尧（广州华睿）、应磊（华南理工大学）
11:00 - 11:30	OLED 打印解决方案（邀请） 吴明洲，默克公司	
11:30 - 11:50	聚集诱导延迟荧光材料与器件 赵祖金，华南理工大学	
12: 00 -14: 00 自助午餐（维也纳西餐厅）		
14:00 - 14:30	硅基 OLED 微显示（邀请） 杨建兵，中电第五十五研究所	主持人： 苏仕健、牛泉（华南理工大学）
14:30 - 15:00	高性能磷氧基 OLED 电子传输材料及展望（邀请） 朱旭辉，华南理工大学	
15:00 - 15:20	Hole trap formation in polymer light emitting diodes under current stress 牛泉，华南理工大学	
15:20 - 15:40	热活化延迟荧光技术与产业应用 王子兴，上海大学	
15:40 - 16:00	印刷 OLED 显示 穆兰，华南理工大学	
茶歇、圆桌访谈、闭幕式、自助晚餐		

9 月 20 日		
分会场 3：液晶、电子纸（达芬奇厅）		
8:30 - 9:00	液晶显示材料（邀请） 俞燕蕾，复旦大学	主持人： 周国富（华南师范大学）
9:00 - 9:30	液晶显示工艺（邀请） 杨柏儒，中山大学	
9:30 - 9:50	低功耗电浸润电子纸驱动系统 林珊玲，福州大学	
9:50 - 10:10	显示驱动电路及特种显示驱动开发技术 邱天，五邑大学	
茶歇		
10:30 - 11:00	彩色电子纸进展与展望（邀请） 周国富，华南师范大学	主持人： 陆建钢（上海交通大学）
11:00 - 11:30	BD Cell 液晶显示技术（邀请） 郭磊，京东方科技集团	
11:30 - 11:50	柔性显示和 PDLC 用的二向色性偏振染料 李晓莲，大连理工大学	
12: 00 -14: 00 自助午餐（维也纳西餐厅）		
14:00 - 14:30	手性结构液晶及其应用（邀请） 陆建钢，上海交通大学	主持人： 俞燕蕾（复旦大学）、杨柏儒（中山大学）
14:30 - 14:50	基于屏下识别和摄像应用的显示屏透射特性测量方法 杨雄，杭州远方光电信息股份有限公司	
14:50 - 15:10	二维液晶材料与光电器件 沈田子，北京航空航天大学	
15:10 - 15:30	高分辨率高刷新面板显示均匀性研究 王玲，维信诺科技股份有限公司	
15:30 - 15:50	电润湿显示创新制程工艺 唐彪，华南师范大学	
茶歇、圆桌访谈、闭幕式、自助晚餐		

9 月 20 日		
分会场 4，量子点及柔性显示（瑞士厅）		
8:30 - 9:00	钙钛矿发光显示（邀请） 王建浦，南京工业大学	主持人： 金一政（浙江大学）、章勇（华南师范大学）
9:00 - 9:30	钙钛矿发光材料的稳定性研究（邀请） 徐雪青，中科院广州能源所	
9:30 - 9:50	叠层量子点发光二极管 陈树明，南方科技大学	
9:50 - 10:10	原位制备高效钙钛矿蓝光二极管中的维度调控 王辰辉，北京理工大学	
茶歇		
10:30 - 11:00	量子点电致发光（邀请） 金一政，浙江大学	主持人： 王建浦（南京工业大学）
11:00 - 11:30	量子点发光二极管的界面修饰与界面能量转移特性研究（邀请） 章勇，华南师范大学	
11:30 - 11:50	量子点发光器件 罗宇，华南理工大学	
12: 00 -14: 00 自助午餐（维也纳西餐厅）		
14:00 - 14:30	柔性 OLED 显示（邀请） 高孝裕，昆山工研院新型平板显示技术中心	主持人： 徐雪青（中科院广州能源所）、陈树明（南方科技大学）
14:30 - 14:50	量子点电致发光显示技术开发 吴龙佳，TCL 工业研究院	
14:50 - 15:10	基于有限元法分析柔性显示模组中的力学效应 陈振鹏，柔宇科技股份有限公司	
15:10 - 15:30	高性能胶体量子阱发光二极管的制备和机理研究 刘佰全，中山大学	
15:30 - 15:50	可拉伸电极材料 陈松，华南理工大学	
茶歇、圆桌访谈、闭幕式、自助晚餐		

9 月 20 日		
分会场 5, Micro-LED 及其它显示（日内瓦厅）		
8:30 - 9:00	真三维高临场显示（邀请） 刘旭，浙江大学	主持人： 高进伟（华南师范大学）
9:00 - 9:30	Micro LED 显示研究及进展（邀请） 龚政，广东省科学院	
9:30 - 9:50	Micro/Mini LED 显示屏 李宗涛，华南理工大学/国星光电公司	
9:50 - 10:10	显示驱动电路设计 吴为敬，华南理工大学	
茶歇		
10:30 - 11:00	Micro-LED 新型显示技术的推进与展望（邀请） 刘召军，南方科技大学	主持人： 刘旭（浙江大学）、龚政（广东省科学院）
11:00 - 11:30	倒装 LED COB 大尺寸显示关键技术研发及产业化（邀请） 汪洋，长春希达电子技术有限公司副总经理	
11:30 - 11:50	Micro LED 显示 王程功，维信诺科技股份有限公司	
12: 00 -14: 00 自助午餐（维也纳西餐厅）		
14:00 - 14:30	激光显示的新进展（邀请） 毕勇，中科院理化所	主持人： 刘召军（南方科技大学）、李宗涛（华南理工大学）
14:30 - 14:50	先进透明柔性电极（邀请） 高进伟，华南师范大学	
14:50 - 15:10	显示屏的 3D 贴合设备 陈琦，深圳市劲拓自动化设备股份有限公司	
15:10 - 15:30	产业集群介绍 刘虹君，广州超高清视频产业促进会	
15:30 - 15:50	Compound semiconductor Micro-LED array and its novel applications 张胡梦圆，南方科技大学	
茶歇、圆桌访谈、闭幕式、自助晚餐		



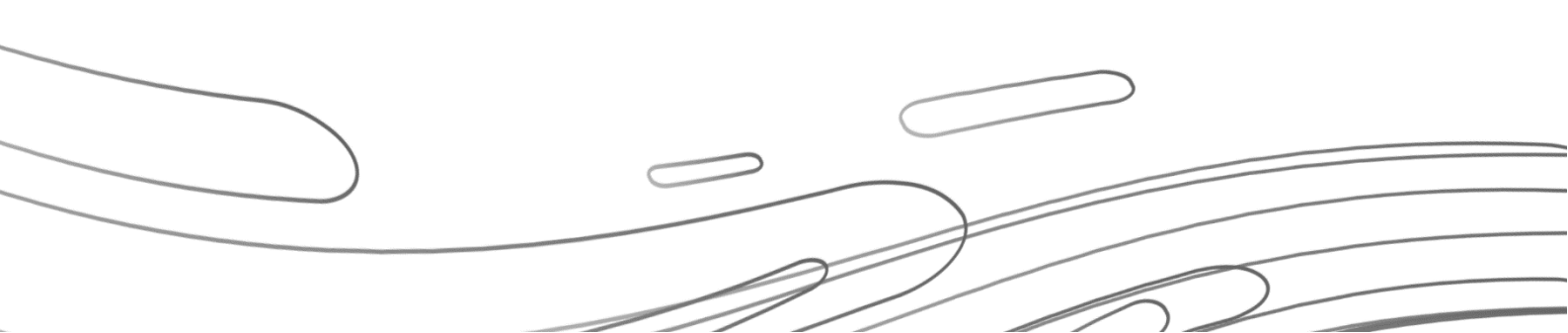
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第一章

液晶显示 (LCD)



ADS 模式 8K TV 产品高透过率像素设计

石侠、郭远辉、胡杨、张维、杨晓光、黄晓宇、陈创、韩杰、高玉杰、廖燕平
(武汉京东方光电科技有限公司, 武汉, 430000, shixia@boe.com.cn)

摘要: ADS 产品由于其较低的色偏和较好的画质在 8K 电视产品中前景广阔。与 VA 模式相比, 其在低灰阶画面下无分辨率降低。但是当产品分辨率从 4K 增大到 8K 时, 由于开口率减小和暗区比例的增大, 透过率急剧下降。本文提出了一种采用新型像素结构设计的高透过率液晶显示器。通过打通像素周边电极, 减少暗区, 获得了更好的液晶效率。与传统 ADS 像素结构相比, 新像素结构透过率可提高 6%~20%, 且产品的分辨率越高, 透过率的提高比例越高。

关键字: 液晶显示, 透过率, 像素设计

ADS Mode 8K TV High Transmission Pixel Design

SHI Xia, GUO Yuanhui, HU Yang, ZHANG Wei, YANG Xiaoguang, HUANG Xiaoyu,
CHEN Chuang, HAN Jie, GAO Yujie, LIAO Yanping
(BOE WH Optoelectronics Tec. Co., LTD, WuHan, 430000, shixia@boe.com.cn)

Abstract: ADS is prospective in 8K TV due to their lower color shift and good image quality. Compare to VA mode, no loss in resolution occurs in low gray level. However, the transmittance decline sharply when the PPI increased from 4K to 8K because of the aperture ratio decrease and the ratio of dark zone increase. This paper proposes a high transmittance LCD using a novel pixel-structure design. By disconnecting the second electrode edge to reduce the ratio of dark zone, better LC efficiency is expected. The transmittance can be increased 6%-20%, and higher the PPI of the product, higher the increased ratio.

Keywords: LCD, Transmission, Pixel Design

1. 引言

8K 超高清电视的分辨率是全高清电视的 16 倍, 色彩还原能力和景深还原能力大幅增强, 给受众影院级的观看体验, 能满足消费者对于高品质视听享受的诸多诉求。

ADS 显示模式是广视角显示技术的代表, 具备较高的色彩还原性和优秀的低灰阶画面品质, 在 8K TV 产品市场占据较高的市场份额, 大尺寸、高色域、高透过率、高性价比是其发展的主要方向。

产品分辨率增加后, 像素尺寸减小, 一方面栅线、信号线以及防止隔垫物(PS)而增加的黑矩阵(BM)导致开口率降低, 另一方面传统 ADS 像素电极周边封闭式结构产生的暗区占比随 PPI 的增加而增大, 致使高 PPI 产品透过率急剧下降。透过率下降后需要增加背光亮度, 产品的功耗和背光成本增加, 产品竞争力下降。

本文在传统 ADS 像素结构的基础上, 改变像素电极的结构设计, 通过对称打通像素周边电极, 减小暗区, 提升像素光效和产品透过率。

2. 器件结构

ADS 像素通常由 TFT 基板上的顶层条状像素电极和底层面状公共电极构成, 两个电极之间产生的边缘电场控制电极之间及电极正上方的液晶分子在平行于基板的平面内转动。如图 1 所示为传统 ADS 像素结构及新型像素结构示意图。传统像素结构顶层条状电极作为信号电极, 采用上下双畴设计, 电极周边封闭。新像素结构像素电极周边上下两畴对称打通, 其他结构与传统像素相同。

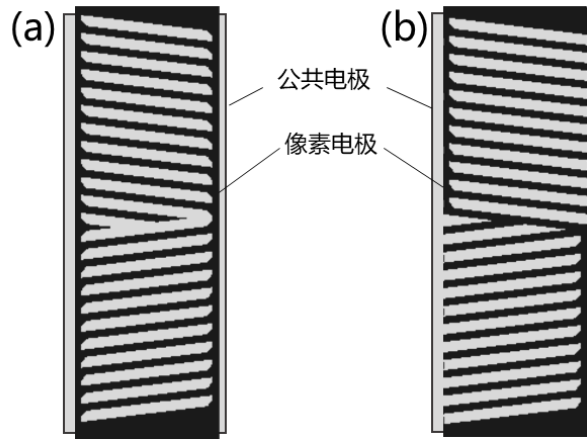


图 1 像素结构示意图 (a) 传统像素结构, (b) 新像素结构

3. 结果与讨论

3.1 结构仿真

利用 TechWiz LCD 3D 软件对传统 ADS 像素结构和新像素结构进行仿真分析, 仿真模型选用 75 8K 单栅线像素结构, 除像素电极结构不同之外, 其他模拟参数保持一致。模拟使用的波长为 550nm, 顶层条状电极的宽度为 $2.2\mu\text{m}$, 两根条状电极间距为 $4.4\mu\text{m}$, 电极与水平方向的夹角为 7° , Rubbing 方向与水平方向的夹角为 90° 。液晶为负性液晶, 折射率 0.092, 液晶盒盒厚为 $3.55\mu\text{m}$ 。通过在像素电极上施加电压驱动信号, 模拟两种像素的 V-T 曲线和光效图。

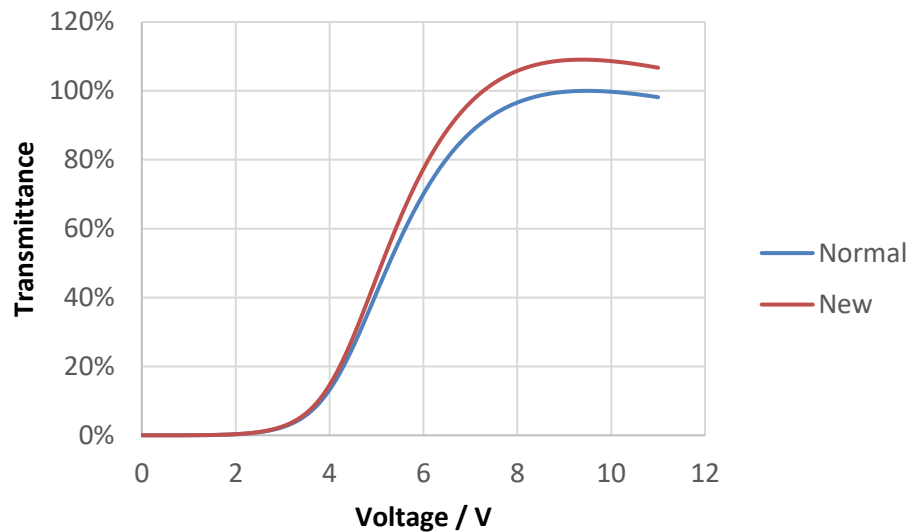


图 3 V-T 曲线模拟结果

图 3 所示为模拟的两种像素结构的 V-T 曲线, 在饱和电压处, 新像素结构的透过率相对于传统像素结构提升 9%。图 4 所示为两种像素结构在饱和电压时的光效图, 可以看到, 新像素结构的像素电极边缘打通后, 有效电场扩大, 透光区面积增加, 透光区增加区域入图中红色虚线框标出。像素周边电极的非封闭设计正是新像素结构透过率提升的原因, 同时考虑到像素电极和信号电极之间电容的对称性, 新像素结构上下两畴对称打通设计。

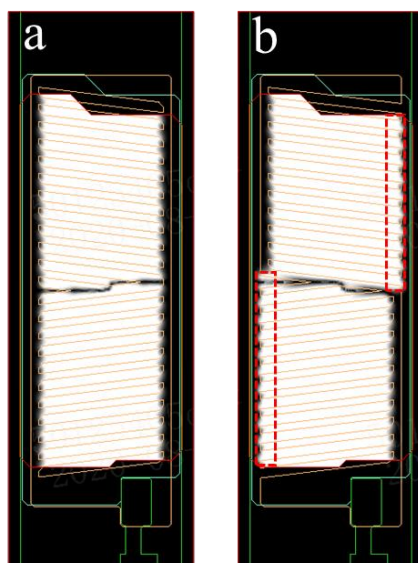


图 4 模拟饱和电压光效图 (a) 传统像素，(b) 新像素结构

3.2 实验验证与结果

在 75 8K 单栅线 GOA 产品上对新像素结构进行验证，像素电极掩膜版与传统像素不同，其他材料参数与工艺参数完全相同。采用新像素结构设计的产品模组产出后将其与传统像素结构设计的产品进行对比测试。实际测试的 V-T 曲线如图 5 所示，结果表明：基于相对于传统像素结构，新像素结构透过率提升 9%，透过率提升效果明显，同时对新像素结构产品进行画质与信赖性评价，均未出现相关不良现象。

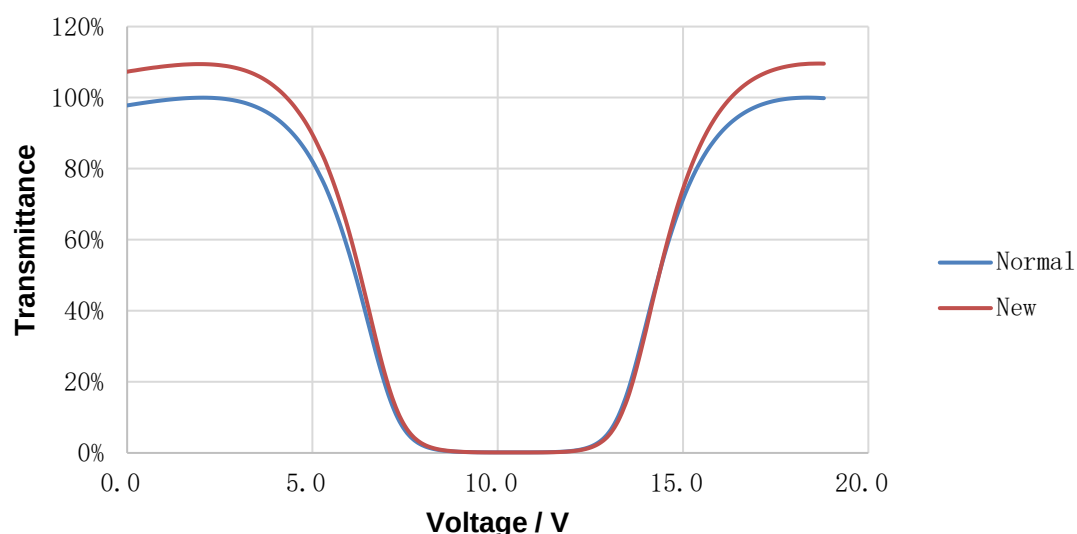


图 5 实际测试的两种像素结构的 V-T 曲线

4. 结论

传统 ADS 像素结构像素电极周边封闭设计，周边暗区较大，产品分辨率越大暗区占比越大，影响 8K 等高 PPI 产品的透过率和产品竞争力。本文在传统像素结构的基础上，改变像素电极结构，对称打通像素周边电极，增加有效电场，减小暗区，提升像素光效和透过率。实验结果证明新像素结构相对于现有像素结构透过率提升明显，75 8K 单栅线 GOA 产品可提升 9%。新像素结构产品实验验证无结构相关画质或信赖性不良，可适用于 8K 等高 PPI ADS 产品。

参考文献:

- [1] 廖燕平, 宋勇志, 邵喜斌, 等. 薄膜晶体管液晶显示器显示原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2016:8-14.
- [2] 王菲菲, 邵喜斌. 负性液晶在 ADS 广视角技术中的应用[J]. 液晶与显示, 2016, 31(8):760-767.

PI-2

封框胶杨氏模量对面板暗态漏光的影响研究

郭威*, 栗芳芳, 陆相晚, 王彪, 彭洪勇, 操彬彬, Eddie, 廖伟经, 黄正峰, 张弦, 朱汉彬

(京东方合肥鑫晟光电科技有限公司, 合肥, 230001)

(guoweihf@boe.com.cn*, lifangfang@boe.com.cn, luxiangwan@boe.com.cn, wangbiao_105@boe.com.cn, penghongyong@boe.com.cn, caobinbin@boe.com.cn, eddie@boe.com.cn, liaoweijing@boe.com.cn, huangzhengfeng@boe.com.cn, zxhf@boe.com.cn, zhuhanbin@boe.com.cn)

摘要: 本文针对 TFT-LCD HADS 液晶面板暗态漏光的不良, 研究了面板封框胶杨氏模量对其的影响, 研究发现封框胶杨氏模量越低, 暗态漏光现象越轻微。同时分析了封框胶杨氏模量对暗态漏光影响的原因和机理, 发现同一外力下杨氏模量低的封框胶形变越大, 使得封框胶和玻璃基板组成的结构产生的应力就越小, 从而面板局部应力就越小, 漏光现象也就越轻微。这为液晶面板漏光不良的改善提供了一种参考。

关键字: 封框胶, 杨氏模量, 应力, 漏光

Study of the Effect of Sealant Modules on Panel L0 Light Leakage

GUO Wei *, LI Fangfang, LU Xiangwan, WANG Biao, PENG Hongyong, CAO Binbin, Eddie, LIAO Weijing, HUANG Zhengfeng, ZHANG Xian, ZHU Hanbin
(Hefei Xinsheng Optoelectronics Technology Co., LTD. , Hefei 230001, CHN)
(guoweihf@boe.com.cn*, lifangfang@boe.com.cn, luxiangwan@boe.com.cn, wangbiao_105@boe.com.cn, penghongyong@boe.com.cn, caobinbin@boe.com.cn, eddie@boe.com.cn, liaoweijing@boe.com.cn, huangzhengfeng@boe.com.cn, zxhf@boe.com.cn, zhuhanbin@boe.com.cn)

Abstracts: Based on TFT - LCD HADS panel dark state (L0) light leakage, studied the effect of Sealant Young's modulus on L0 light leakage. The results revealed that Sealant the lower young's modulus, L0 light leakage phenomenon is slight. Through the analysis of reason and mechanism, it was found that low young's modulus Sealant plastic deformation is greater under the same external force, which makes the stress of the structure of sealant and glass substrate is smaller, and panel local stress is smaller. So, LCD panel L0 light leakage phenomenon are mild. It provides a reference for improving LCD panel L0 light leakage.

Key words: Sealant, Modulus, Stress, Light Leakage

1 引言

随着 TFT-LCD 面板广泛应用到手机, Pad, 笔记本以及电视机中, 人们的显示生活已经与液晶面板密不可分, 自然对液晶面板的画质要求越来越高。我们常用的液晶面板大多是 ADS 和 IPS 模式的产品, L0 漏光是经常遇到的不良, 漏光影响因素有很多, 比如说玻璃基板的厚度, 液晶参数, 隔垫物 (PS) 的支撑密度以及 PS Taper 角度^[1~4]。实际中遇到的 L0 漏光大多数发生面板的周边, 这是由于 IC 邦定, 背光口子胶以及液晶面板内部周边一圈的封框胶产生的力都作用在面板的周边, 玻璃受力挤压后产生相位差, 经由液晶的各向异性放大

后产生漏光不良。本文旨在研究封框胶杨氏模量对 L0 漏光的影响，因为 TFT-LCD 制作工艺中有一道必不可少的工艺就是是液晶成盒，它将 TFT 基板和 CF 基板结合在一起，制作成液晶盒。其中封框胶起着密封液晶盒防止液晶溢出和水汽侵入，维持液晶盒周边盒厚，以及黏附 TFT 和 CF 基板的作用（图 1）[5]。本文选取三种不同杨氏模量的封框胶，在同一型号的面板上进行漏光影响的研究和分析。

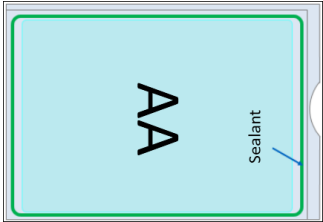


图 1 液晶面板封框胶位置示意图
Fig.1 Sealant location in panel

2 实验与结果

实验选取三种封框胶，封框胶 A, B, C，杨氏模量分别为 4200Mpa, 2000Mpa, 1150Mpa。在同一型号的产品上做出液晶面板各 5 片，同一模组工艺下组成模组成品后，在同一条件和同一测试机台上进行漏光的测试。为了更好的表征封框胶位置面板的漏光情况，把液晶面板周边分为 48 个区域（图 2），测试每个区域暗态下的亮度，每个区域的亮度值取 5 片屏在该区域亮度的均值，对比三种杨氏模量封框胶的模组漏光情况。从三种封框胶的面板暗态下的亮度曲线（图 3）可以看出，三种封框胶的面板漏光趋势基本一致，从封框胶 A, B, C 在漏光较为严重的 15 区, 25 区, 39 区和 48 区的暗态亮度（表 1）可以看出，杨氏模量越低的封框胶，漏光更轻微。

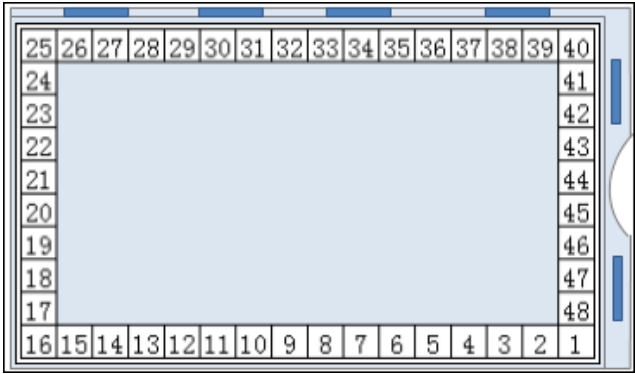


图 2 液晶面板周边划分 48 区域示意图
Fig.2 Panel edge 48 locations

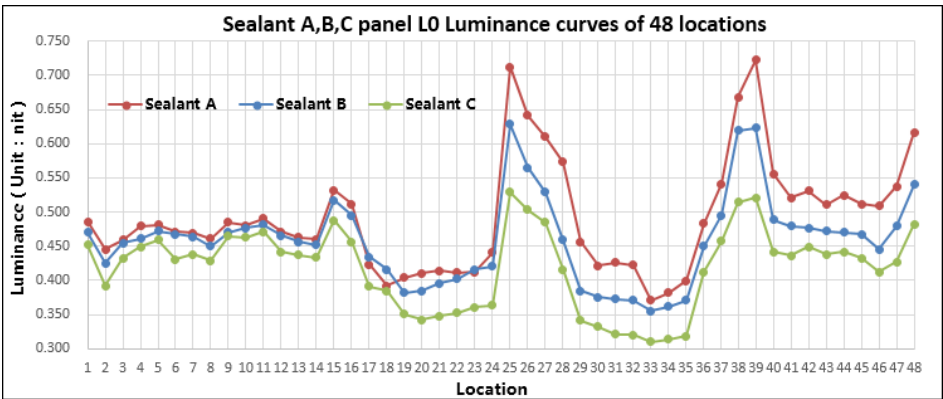


图 3 三种封框胶的面板 48 个区域暗态下的亮度曲线
Fig.3 L0 luminance curve of the three sealant on 48 locations

Item	Sealant A	Sealant B	Sealant C
Loc 15 L0 Lum.	0.532nit	0.518nit	0.488nit
Loc 25 L0 Lum.	0.712nit	0.628nit	0.529nit
Loc 39 L0 Lum.	0.722nit	0.623nit	0.521nit
Loc 48 L0 Lum.	0.616nit	0.540nit	0.521nit

表 1 三种封框胶在 15,25,39 和 48 区的暗态亮度
Table.1 L0 luminance of the three sealant on location 15, 25, 39 and 48

3 分析与讨论

液晶屏玻璃基板在受到外力时，会产生双折射现象，玻璃的光学延迟量变大，从而会导致 L0 漏光的不良现象。根据玻璃光弹性理论，玻璃产生的光学延迟量和所收到的应力的关系式^[3~4]为：

$$R = Ct\sigma, \quad (1)$$

其中 R 为光学延迟量，C 为玻璃的光弹性系数，t 为玻璃厚度， σ 为玻璃受到的应力。三种杨氏模量封框胶制作的面板，C 和 t 完全相同，不同的地方是三种封框胶与玻璃接触的截面产生的应力 σ 各不相同。根据杨氏模量定义和胡克定律可知，杨氏模量越低，在受到外力作用时，拉伸形变就越大。为此进一步测试了三种杨氏模量封框胶模组屏的平坦度（图 4），封框胶 A,B,C 的平坦度分别为：0.2449,0.4142,0.5379。由此可见杨氏模量越低的封框胶模组屏在外力作用时，形变量越大（图 5），即封框胶 A,B,C 与玻璃组成的截面面积： $S(A) > S(B) > S(C)$ ，然而在同样的模组资材和模组工艺下，三种封框胶制作的模组屏受到的作用力几乎是一样的。即封框

胶 A,B,C 与玻璃组成的截面受到的力： $F(A) = F(B) = F(C)$ ，根据应力计算公式：

$$\sigma = F_N/S, \quad (2)$$

其中 σ 为截面应力， F_N 为作用力，S 为截面面积。那么，三种封框胶 A, B, C 所在的截面的产生应力大小为： $\sigma(A) > \sigma(B) > \sigma(C)$ 。结合玻璃光弹性公式（1）可得，玻璃产生的光学延迟量： $R(A) > R(B) > R(C)$ 。结合上述可知，杨氏模量低的封框胶在外力作用时形变越大，使得封框胶与玻璃基板组成的截面面积变得更大，这样局部的应力就越小，玻璃产生的应力 σ 越小，玻璃产生的光学延迟量 R 就越小，所以 L0 漏光越轻微。

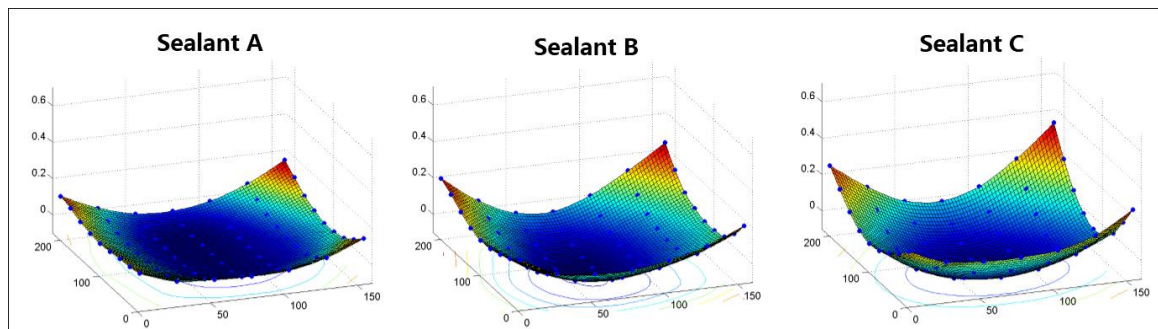


图 4 三种封框胶模组屏平坦度
Fig.4 Module panel flatness of the three sealant

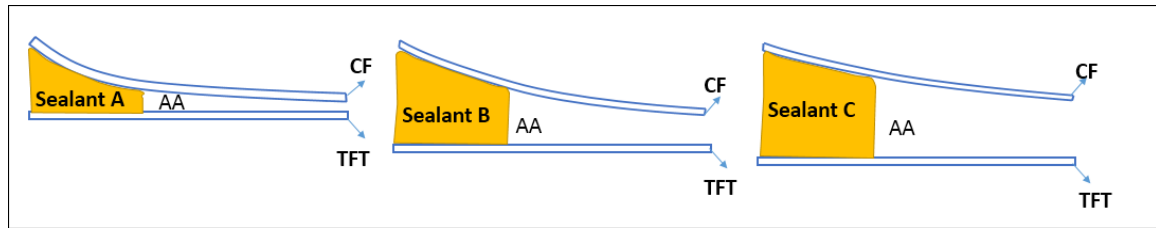


图 5 三种封框胶相同外力下载面形变示意图

Fig.5 Cross section deformation of the three sealant under same force

4 总结

本文研究和分析了封框胶杨氏模量对液晶面板 L0 漏光的影响，结果发现封框胶杨氏模量越低，L0 漏光越轻微。由于低杨氏模量的封框胶在受到外力作用时，可以起到吸收应力的作用，使得作用于玻璃面板的应力较高杨氏模量封框胶小，玻璃产生的光学延迟量就越小，从而起到改善 L0 漏光的效果。随着消费者对液晶面板画面品质的要求日益增高以及封框胶开发商技术的逐渐提升，会有更多低杨氏模量的封框胶被应用到液晶面板开发中，低杨氏模量封框胶是否对液晶面板有其他性能的影响，还需要面板研发人员的进一步研究和探索。

参考文献:

- [1] YANG Y F, KIMAN K, QIN G K, *et al.* Simulation and experimental study on light leakage in ADS mode LCDs [J].SID Symposium Digest of Technical Papers, 2014, 45(1): 1251-1254 .
- [2] 栗芳芳,等.摩擦配向工艺对 HADS 产品像素漏光的影响 [J].液晶与显示,2019,34(03):241-244
- LI F F, *et al.* Analysis of the Effect of Rubbing Process on Pixel Leakage of HADS [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2019, 34(03): 241-244. (in Chinese)
- [3] 冯伟,等.ADS TFT-LCD 漏光敏感性影响因素研究与改善 [J].液晶与显示,2018,33(12):989-995
- FENG W, *et al.* Research and improvement of influencing factors on ADS TFT-LCD light leakage sensitivity [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2019, 34(03): 241-244. (in Chinese)
- [4] YOU J, JIA Q, YANG Y F, *et al.* Improvement of dark state light leakage in ADS mode LCDs [J].SID Symposium Digest of Technical Papers, 2015, 46(1): 1544-1547.
- [5] 廖燕平, 宋勇志, 邵喜斌等.薄膜晶体管液晶显示器显示原理与设计[M].北京: 电子工业出版社, 2016
- LIAO Y P, SONG Y Z, SHAO X B. Display Principle and Design of TFT –LCD [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2016. (in Chinese)

PI-3

TV 产品周边渗光影响因素分析

胡杨、杨晓光、郭远辉、石侠、张维、黄晓宇、陈创、韩杰、高玉杰、廖燕平
(武汉京东方光电科技有限公司, 武汉, 430000, 10158817@boe.com.cn)

摘要: 目前市面上 TV 产品外观多采用无边框设计, 虽提升了产品美观性, 但在黑态下观察时, 背光经过面板下玻璃多次反射后漏出, 引起渗光现象, 影响产品品质。本文通过测量不同 TV 产品的渗光程度, 并结合理论分析, 分别确认了偏光片、玻璃磨边、金属排布密度对面板中渗光大小的影响, 研究结果对 TV 产品渗光改善有重要参考价值。

关键字: 液晶显示, 渗光, 周边设计

Research of factors affecting light Infiltrating of TV products

HU Yang, YANG Xiaoguang, GUO Yuanhui, SHI Xia, ZHANG Wei, HUANG Xiaoyu,
CHEN Chuang, HAN Jie, GAO Yujie, LIAO Yanping
(Wuhan BOE Optoelectronic Technology Co., Ltd, Wuhan, 430000, CHN,
10158817@boe.com.cn)

Abstract: At present, the appearance of TV products on the market mostly adopts a borderless design, which improves the aesthetics of the product, but when viewed in a dark state, the backlight leaks out after multiple reflections through the rear glass of the panel, causing peripheral light Infiltrating and affecting product quality. In this paper, by measuring the degree of light Infiltrating of different TV products and combined with theoretical analysis, the effects of polarizers, peripheral design of panel, and metal arrangement density on the amount of light infiltrating in the panel are respectively confirmed. The research results have important reference value for the improvement of light infiltrating of TV products.

Keywords: LCD, Light Infiltrating, Peripheral design

1. 引言

TFT-LCD是薄膜晶体管液晶显示器英文Thin film transistor-liquid crystal display字头的缩写。TFT-LCD技术是微电子技术 with 液晶显示器技术巧妙结合的一种技术, 具有轻薄、低辐射、节能环保等优点, 目前广泛的运用于TV产品。

随着消费者对TV产品外观的需求提升, 目前市面上TV产品多采用无边框设计, 虽提升了产品外观, 但在黑态下观看时, 背光发出的光线, 经过LCD下玻璃多次反射后从边缘漏出, 出现渗光不良, 本文分析了渗光产生的机理, 并测试了不同工艺条件对渗光大小的影响, 研究结果对TV产品渗光改善有重要参考价值。

2. 渗光产生机理

LCD显示器主要由LCD面板及背光源组成, 背光源发出的光经过面板下偏光片后进入液晶盒内, 液晶盒通过TFT开关控制液晶排布, 从而改变入射光的偏振态来控制出射光强度, 最终形成显示画面。但背光源发出的光并非完全垂直与LCD面板, 有部分光斜方向射出, 斜向的光线射入面板下玻璃后, 会在玻璃边界多次反射, 最终从玻璃边缘射出。由于无边框产品TV没有边框遮挡, 此出射光线在黑态下会被人眼观测到, 如图2.1所示。

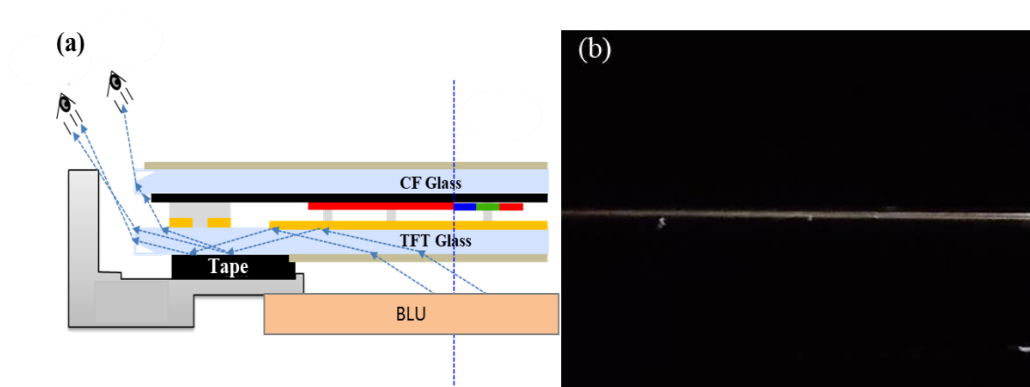


图2.1 (a)渗光产生机理; (b)实际现象;

Fig 2.1 (a)Mechanism of light infiltrating; (b) Phenomenon.

3. 渗光影响因素分析

本文分别选用了京东方（BOE）B17 及 B9 工厂生产的 75 及 65 寸不同工艺条件的面板进行渗光测试，测试手法如图 3.1 所示，将面板置于暗室，背光源点亮，面板不开电，将不同工艺条件面板同时放置于同一水平位置，人眼从侧面观察这两个面板的边缘渗光情况。

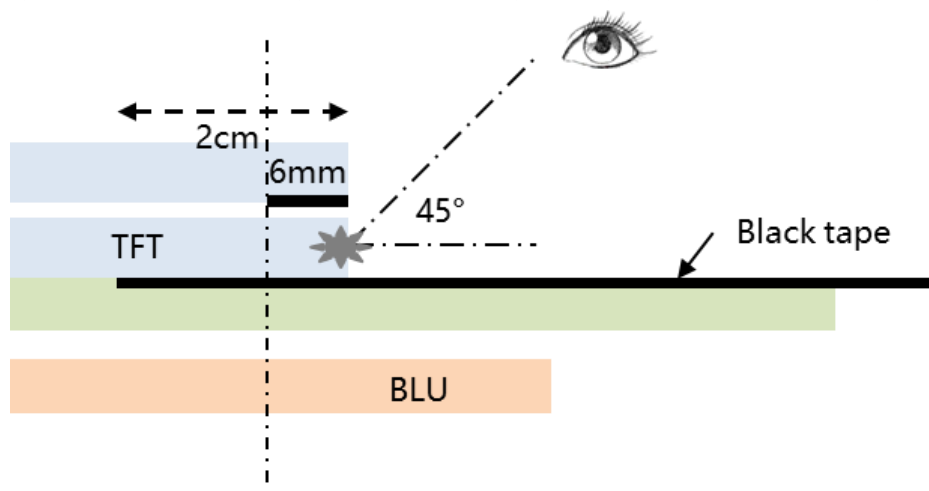


图3.1 测试方法

Fig 3.1 Test method

3.1 偏光片影响

本文分别选用 B17 75 120Hz LAP POL 和 Normal POL、内缩与非内缩 POL 以及 B9 75 60Hz Normal POL 产品进行了渗光测试，所选用的面板 POL 材料参数如表 3.1 所示，表 3.1 各面板材料参数。

ITEM	B17 75 120Hz E7E	B17 75 120Hz E7D	B17 75 120Hz M7D	B9 75 60Hz N9A
Material	LAP	Normal	Normal	Normal
CF Pol ~ glass edge	0.6 mm	0.6 mm	0.6 mm	0.6 mm
TFT Pol ~ glass edge	4.1 mm	4.1 mm	0.6 mm	0.6mm

表3.1 各面板偏光片参数

Table 3.1 Polarizer parameters of each panel

测量结果如图 2 所示，从图中可以看出 POL 材质对渗光大小无明显影响，同时 POL 内缩产品渗光优于非内缩产品。

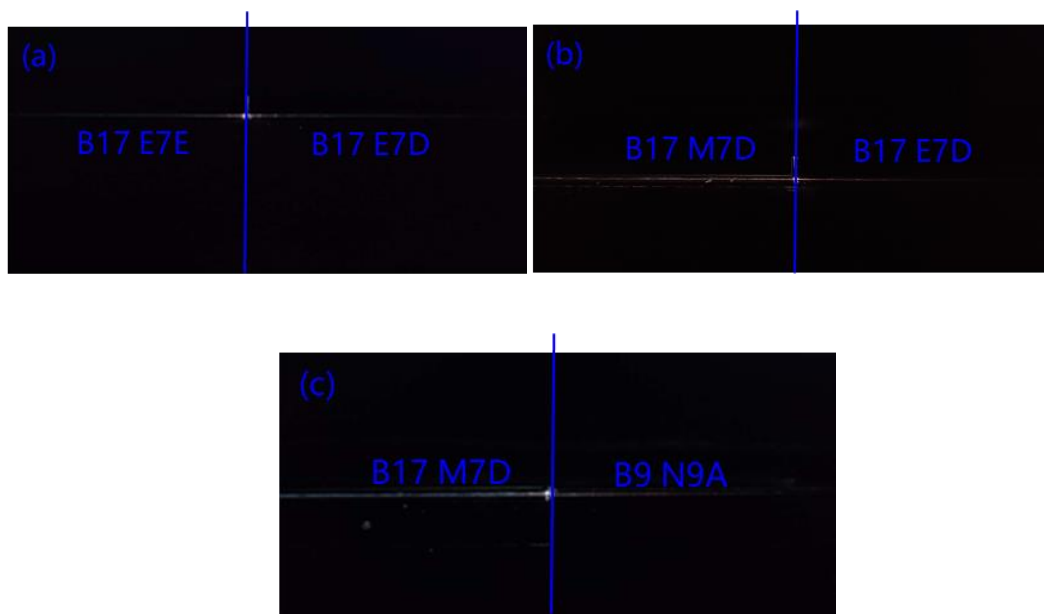


图 3.2 渗光测试结果 (a):B17 E7E/B17E7D; (b)B17 M7D/B17 E7D; (c)B17M7D/B9 N9A

Fig 3.2 Results of the light infiltrating test (a):B17 E7E/B17E7D; (b)B17 M7D/B17 E7D; (c)B17M7D/B9 N9A

3.2 磨边影响

渗光发生的根本原因为光线在 TFT Glass 内部发生的全反射，当 TFT Glass 无特殊处理时，渗光强度较大，但若对其进行斜角磨边，光效射入磨边区时入射角变小，此时大部分光线透射出玻璃，反射光线强度降低，有效降低了渗光强度，如图 3.3 所示：

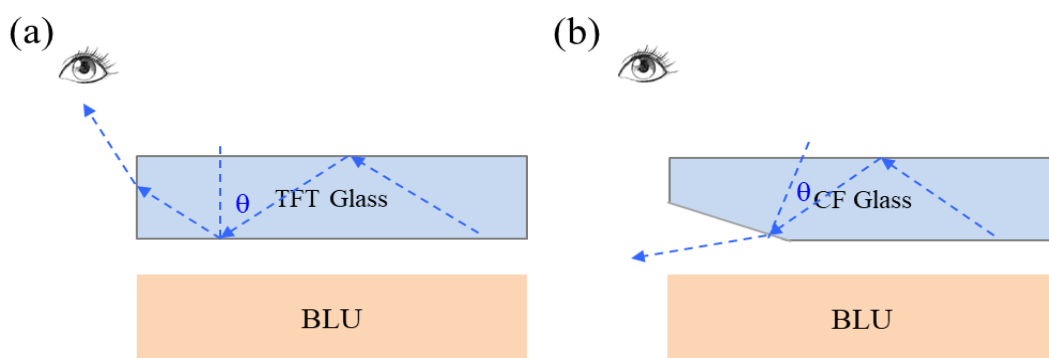


图 3.3 磨边前后光传播路径 (a)磨边前; (b)磨边后;

Fig 3.3 The path of light propagation (a)Before grinding; (a)After grinding.

斜角磨边的磨边量对渗光的影响较大，测量所选用的面板磨边参数如表 3.2 所示：

ITEM	B17 75 M7D Main	B17 75 M7D S1	B17 75 M7D S2
Grinding angle	30°	30°	-
Grinding amount	0.15mm	0.1mm	-

表3.2 各面板磨边参数

Table 3.2 Griding parameters of each panel

测量结果如图 3.4 所示，从图中可以看出斜角磨边产品渗光明显优于无磨边产品，且当磨边角度固定时，磨边量越大则渗光改善越佳。

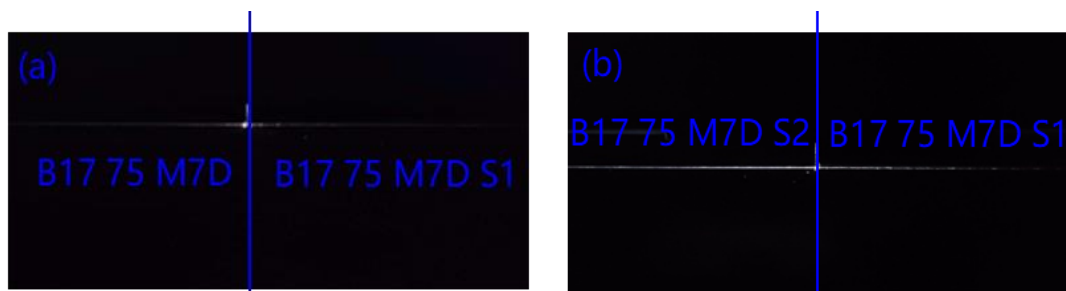


图3.4 渗光测试结果 (a):B17 75 M7D/B17 75 M7D S1; (b)B17 M7D S2/ B17 M7D S2

Fig 3.4 Results of the light infiltrating test (a) B17 75 M7D/B17 75 M7D S1;

(b) B17 M7D S2/ B17 M7D S2

3.3 Array 工艺影响

TFT Glass 上有大量金属 Panttern，金属会增加玻璃的反射系数，影响渗光强度，本文分别测试了不同金属 Pattern 密度面板的渗光强度，相应工艺参数如表 3.3 所示：

Item	B17 65 60Hz	B9 65 60Hz	B9 75 60Hz	B17 75 120Hz	B17 55 60Hz

Mental pattern					
density	18.2%	18.2%	14.6%	19.2%	16.8%
(Active area)					
Mental pattern					
density	58.8%	58.8%	56.3%	61.4%	64.5%
(Peripheral)					

表3.3 各面板金属图案密度
Table 3.3 Metal pattern density of each panel

测量结果如图 3.5 所示，从图中可以看出金属 Pattern 密度越大，则渗光越严重。

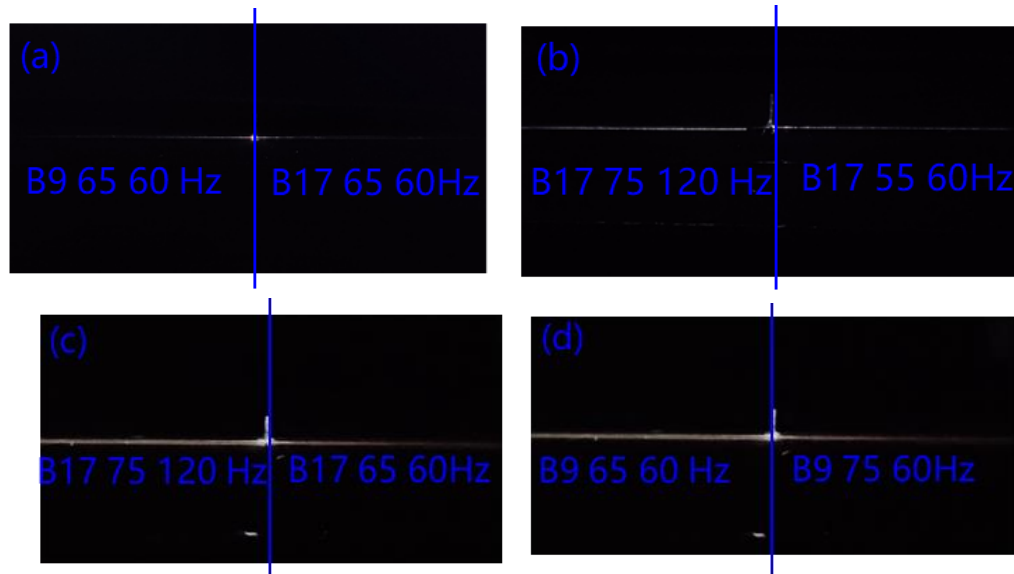


图3.5 渗光测试结果 (a):B9 65 60Hz/B17 65 60Hz; (b)B17 75 120Hz/ B17 55 60Hz;
(c) B17 75 120Hz/B17 65 60Hz; (b)B17 65 60Hz/ B9 75 60Hz;

Fig 3.5 Results of the light infiltrating test (a) B9 65 60Hz/B17 65 60Hz;(b) B17 75 120Hz/ B17 55 60Hz; (c) B17 75 120Hz/B17 65 60Hz; (b)B17 65 60Hz/ B9 75 60Hz;

4. 结论

本文通过对比测试了不同工艺条件下的 BOE TV 面板的渗光现象，分别从 POL 材质及尺寸、磨边工艺、Array 金属密度三个方面研究了影响渗光的主要因素。结果表明 POL 材质对渗光无影响但 POL 内缩可一定程度降低渗光；斜向磨边也可以降低渗光强度，且相同磨边角度下，磨边量越大，则改善效果越好；TFT glass 金属 Pattern 密度也对渗光影响较大，密度越大则渗光越强，且周边 Pattern 密度的影响大于 AA 区。渗光是无边框 LCD 产品无法避免的问题，本文通过实验对比，给出了不同工艺条件对渗光的影响，测试结果对后续 TV 产品设计时如何降低渗光不良有重要参考价值。

参考文献

- [1] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M].电子工业出版社，2011： 216-238.
- [2] 王菲菲,邵喜斌. 负性液晶在 ADS 广视角技术中的应用[J]. 液晶与显示,2016, 31 (8) :760-767.

对应 a-Si 制程 GOA 寿命评估中输出及去噪电压变化趋势研究

陈鹏*, 李恒滨, 杜化鲲, 王景棚, 马力, 张新霞

(合肥鑫晟光电科技有限公司, 安徽合肥, 230012, chenpenghf@boe.com.cn)

摘要: TFT-LCD 显示面板中使用 GOA (栅极驱动电路) 集成在阵列基板中, 大幅降低成本及提升显示品质。使用 GOA 方案, 其寿命及特性衰退评估极为重要, 多数仅考量单一恶劣条件下或是评价项目单一。本论文研究了基于 a-Si 特定 GOA 电路方案中, 基于不同高温条件下长时间, 产品驱动去噪驱动电压 (VDD) 及输出驱动电压 (VGH) 变化趋势。研究发现该 GOA 方案, 输出驱动电压 (VGH) 变化呈现随时间及高温逐渐衰退, 但去噪驱动电压 (VDD) 并非简单随时间衰退, 而呈现短时间达到衰退的峰值后逐渐趋于变好。通过薄膜晶体管 TFT 特性退化测试结果, 结合晶体管退化机理及模拟重现了去噪驱动电压 (VDD) 变化趋势, 验证了该 GOA 驱动电路拥有较长的使用寿命。**关键字:** 液晶显示器, 栅极驱动电路, 薄膜晶体管特性衰退, 去噪电压 VDD

A-Si GOA Output and De-noising Driving Voltage Trend Study In Lifetime Evaluation

CHEN Peng, LI Heng-bin, DU Hua-kun, WANG Jing-peng, MA Li, Zhang Xin-xia
(Hefei XinSheng Optoelectronics Technology Co. Ltd, Anhui Hefei, 230012, CHN,
chenpenghf@boe.com.cn)

Abstract: GOA is integrated into the array substrate in TFT-LCD display panel, which greatly reduces the cost and improves the quality of display. With GOA, life evaluation and characteristic recession evaluation are very important. Most of the evaluations only consider single conditions or single evaluation project. In this paper, the trend of product driving quality, such as de-noising driving voltage (VDD) and output driving voltage (VGH), under different high temperature conditions for a long time in a-Si GOA is studied. It is found that the output driving voltage (VGH) of the GOA decreases with time and high temperature, but the de-noising driving voltage (VDD) of the GOA does not simply decay with time, but tends to improve gradually after reaching the peak of the decay in a short time. In this paper, the test results of TFT characteristic, combined with the mechanism of transistor degradation and the simulation of the variation trend of denoising driving voltage (VDD), verify that the GOA driving circuit has a long life time at room temperature.

Keywords: TFT-LCD, GOA, TFT aging stress, VDD

1 引言

TFT-LCD 显示面板中由显示区域的显示矩阵像素和扫描及信号驱动电路组成。控制 TFT 栅极的称为扫描电极, 控制 TFT 漏端的称为信号电极。而在扫描电极上加上逐级扫描的高电平, 使该行的 TFT 同时导通, 与此同时, 通过信号电极将把对应行上所要显示的图像信号传输至显示矩阵像素^[1~2]。

扫描电极及信号驱动电路可以由 IC 提供相应信号, 但通过 TFT 薄膜晶体管的集成化设计, 可以实现扫描电极驱动电路集成到显示面板即 GOA (Gate On Array) 有源矩阵寻址技术。a-Si TFT 已经广泛应用于有源矩阵寻址 GOA 技术, 不仅包括 TFTLCD^[3]还有 X 射线探测图像显示系统^[4]等。因此其 GOA 的寿命评估及特性衰减研究也即为重要, TFT 在 V_g 应力下会发生阈值电压 V_{th} 的显著漂移, 并且相应 GOA 等效电路中的驱动电压也会呈现不同的变化趋势。

2 分析及结果

2.1 GOA 等效电路图及关键驱动信号

图 1 为 TFT-LCD Panel 有源矩阵寻址 GOA 等效电路结构示意图。从图中可以看出，其主要驱动信号为加载于 CLK 端子的矩阵波其高电平为输出驱动电压（VGH），以及加载于 VDDe 和 VDDo 端子的矩阵波其高电平为去噪驱动电压（VDD），VGH 及 VDD 初始电压为 20V。

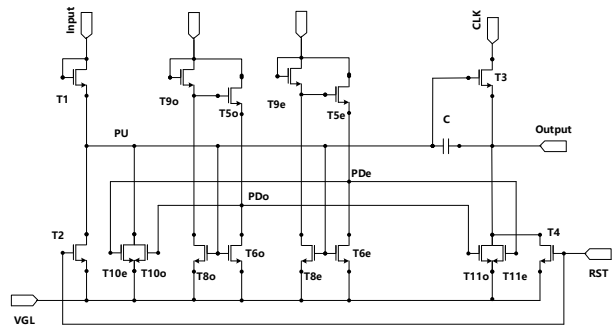


图 1 GOA 等效电路示意图
Fig.1 GOA Schematic

将显示屏置于高温环境并持续点亮，并在不同时间节点将显示屏取出在室温中进行测试。
测试步骤如下：

- Step1: 将显示屏从高温环境（以大型高温烘箱实现）中取出，待其冷却至室温。
- Step2: 将显示屏点亮，并调节 VGH 从 20V 向 0V 变化，直至画面异常，记录最小 VGH 电压。
- Step3: 将 VGH 电压恢复至 20V，调节 VDD 从 20V 向 0V 变化，直至显示屏画面异常，记录最小 VDD 电压。
- Step4: 恢复：VDD 为初始电压 20V，将显示屏重新放入高温环境并点亮，直至下一测试节点。

高温实验条件及监控时间节点如表 1

温度设置	监控时间节点（小时 hr）										样品数量
40℃	0	24	72	144	240	336	550	750	1000	1500	8
50℃	0	24	72	144	240	336	550	750	1000	1500	12
65℃	0	24	72	144	240	336	550	750	1000	1500	16

表 1 实验条件及检查节点
Tab.1 Temperature Setting and check point

2.2 不同温度条件下驱动信号变化趋势

40℃，50℃，65℃温度下 VGH 电压变化趋势如图 2，最小 VGH 电压随时间在开始阶段升高，并且逐渐达到稳定的状态，即与初始 VGH20V 设定的差距越来越小，后逐渐达到稳定。当经过极长时间后，最小 VGH 电压大于 20V 时，即达到该显示屏的使用寿命。

另外温度越高显示屏的 VGH 爬升越快，更早达到稳定状态。这与 a-Si TFT-LCD 之前寿命评价的结论相同，即温度越高会加速特性的衰退。

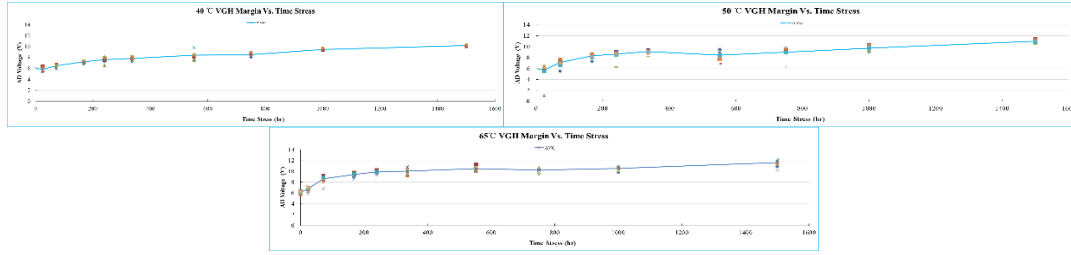


图 2 40/50/65°C VGH 电压变化趋势
Fig.2 40/50/65°C VGH voltage trend

40°C, 50°C, 65°C 温度下 VDD 电压变化趋势如图 3, 最小 VDD 电压在开始的短时间内 (24~144hr) 上升至峰值, 后随时间逐渐降低最终趋近于 0V (500hr 后), 即与初始 VDD20V 设定开始时间距离减小后距离逐渐加大。说明显示屏在较短的时间内达到了 VDD 最差的情况, 如果最小 VDD 电压的峰值不高于初始设定, 该显示屏不会显示异常, 其相关寿命将不受 VDD 电压影响, 而是呈现短时间达到衰退的峰值后逐渐趋于变好。并且温度越高, 最小 VDD 越快达到峰值并且快速变小。

VDD 的变化趋势是与 VGH 不同的, 并非与设定值差距逐渐变小呈现衰退, 这种现象研究在 GOA 寿命评价中研究较少, 本论文将结合薄膜晶体管 TFT 衰退机理及 GOA 电路模拟进行分析研究。

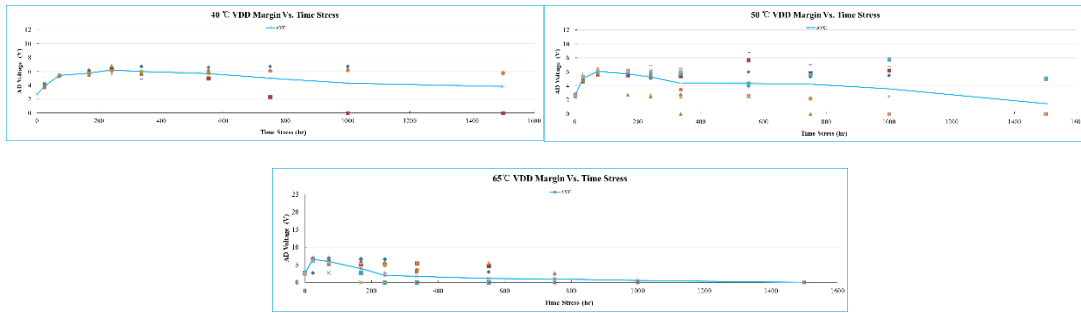


图 3 40/50/65°C VDD 电压变化趋势
Fig.3 40/50/65°C VDD voltage trend

2.3 TFT 特性衰减与驱动信号变化趋势匹配分析

2.3.1 不同时间阶段 TFT 特性衰减结果

GOA 电学特性如 VGH 及 VDD 的变化, 来源于其薄膜晶体管 TFT 的特性变化, 由于 GOA 有多个薄膜晶体管组成, 在其工作中的占空比 (Duty) 不一致, 且不同 GOA 等效电路中决定 GOA 电学特性的关键薄膜晶体管 TFT 是不同的。针对 VDD 在高温老化环境短时间 (24~120hr) 与长时间 (500hr 后) 状态的反转波动。将达到 24hr 及 500hr 时间节点显示屏取出后静置冷却至室温, 在常温下测量 GOA (图 1 中) 各个薄膜晶体管 TFT 输出特性曲线 I-V 曲线, 其阈值电压 V_{th} 结果如表 2。

TFT	$V_{th}[V]$				
	0h	24h	500h	Shift @24h	Shift @500h
T1	2.57	2.83	3.94	0.26	1.37
T2	2.50	3.47	4.03	0.97	1.53

T3	2.49	3.05	3.91	0.56	1.42
T4	2.49	3.66	3.82	1.17	1.33
T5	2.42	3.22	4.33	0.80	1.91
T6	2.43	4.28	4.33	1.85	1.9
T7	2.42	3.61	3.78	1.19	1.72
T8	2.40	4.21	4.13	1.81	1.73
T9	2.42	3.84	4.38	1.42	1.96
T10	2.46	6.83	4.03	4.37	1.57
T11	2.46	6.49	4.19	4.03	1.73
T13	2.48	3.96	3.93	1.48	1.81

表 2 不同时间节点薄膜晶体管阈值电压 V_{th}

Tab.2 TFT V_{th} base on different check point

本论文中图 1 所示的等效电路图中，M2(薄膜晶体管 T2)，M3(薄膜晶体管 T3)，M10(薄膜晶体管 T10)，M11(薄膜晶体管 T11)为关键薄膜晶体管 TFT。其阈值电压 V_{th} 漂移的结果来看，薄膜晶体管 T2 和 T3 的阈值电压 V_{th} 随处于高温老化中时间的增长呈现逐渐增大的趋势，而薄膜晶体管 T10 和 T11 的阈值电压 V_{th} 在短时达到极大值，随后在长时间后 V_{th} 却变小，其输出特性 IV 明显的体现了这种变化见图 4

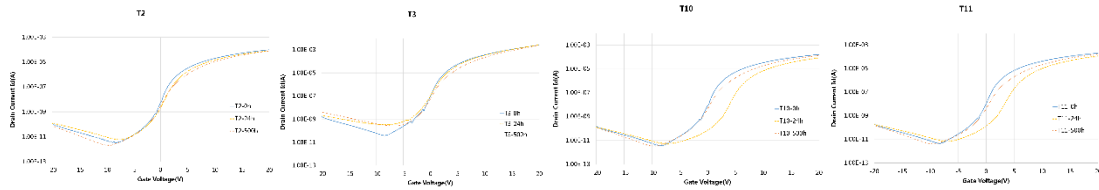


图 4 薄膜晶体管 T2 T3 T10 T11 输出特性曲线

Fig.4 TFT T2 T3 T10 T11 IV Curve

2.3.2 模拟分析

本文通过 SILVACO 的 Gateway 及 smartspice 等软件对 GOA 等效电路进行模拟分析，其中 Output 端输出波形的状态变化来表征 GOA 在经过高温老化环境后特性的变化。针对去噪驱动电压 (VDD) 的电压设置，模拟显示较高的 VDD 电压，Output 端输出波形后的噪声较低，随着 VDD 电压降低，其输出波形的噪声逐渐增大见表 3，模拟波形如图 5。通过对噪声大小评估，可以表征 VDD 电压对 GOA 特性的影响。

Output	VDD=20V	VDD=4V	VDD=0.5V
Noise (V)	0.2	0.3	1.2

表 3 不同 VDD 电压下的输出噪音

Tab.3 Noise base on different VDD

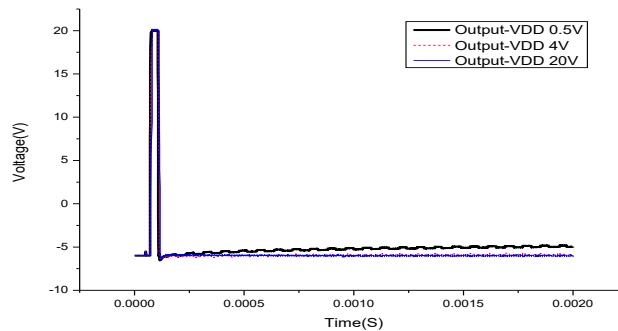


图 5 不同 VDD 电压下的输出波形

Fig.5 GOA output Waveform

将 GOA 中薄膜晶体管高温老化不同时间节点阈值电压变化根据实测结果放入模拟文件中，设置见表 4

TFT	Vth[V]		
	0h	24h	500h
T1	2.4	Vt0+0.3	Vt0+1.4
T2	2.4	Vt0+0.9	Vt0+1.4
T3	2.4	Vt0+0.5	Vt0+1.4
T4	2.4	Vt0+1.1	Vt0+1.4
T5	2.4	Vt0+0.8	Vt0+1.9
T6	2.4	Vt0+1.9	Vt0+1.9
T7	2.4	Vt0+1.5	Vt0+1.8
T8	2.4	Vt0+1.9	Vt0+1.9
T9	2.4	Vt0+1.4	Vt0+1.9
T10	2.4	Vt0+4.0	Vt0+1.7
T11	2.4	Vt0+4.0	Vt0+1.7
T13	2.4	Vt0+1.5	Vt0+1.8

表 4 薄膜晶体管阈值电压模拟设置

Tab.4 TFT Vth Setting

模拟结果显示，在相同的 VDD 电压下(VDD=0.5V)，高温老化短时间 24hr 输出波形噪声比初始大，但长时间 500hr 输出波形噪声小见表 4，波形如图 6.

Output VDD=0.5V	0	24hr	500hr
Noise (V)	1.2	1.4	0.4

表 5 不同老化时间的输出噪音

Tab.5 Noise base on different stress time

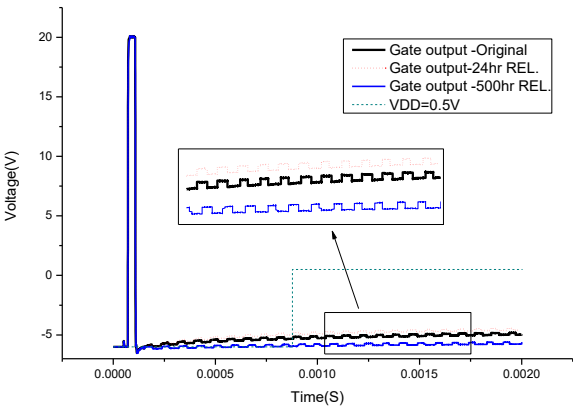


图 6 不同老化时间的输出波形

Fig.6 GOA output Waveform base on time stress

如果按照相同的噪声大小，VDD 电压设置呈现短时间较高，长时间变小见表 6，这与实际测量中 VDD 最小值的变化是一致的如图 7。说明 GOA 薄膜晶体 T10 和 T1，其阈值电压的漂移变化是导致 GOA 电路特性变化的根本原因。

Output Noise=0.4V	0	24hr	500hr
VDD (V)	4	7	0.5

表 6 不同老化时间下最小 VDD 电压模拟结果

Tab.6 Simulation VDD base on time stress

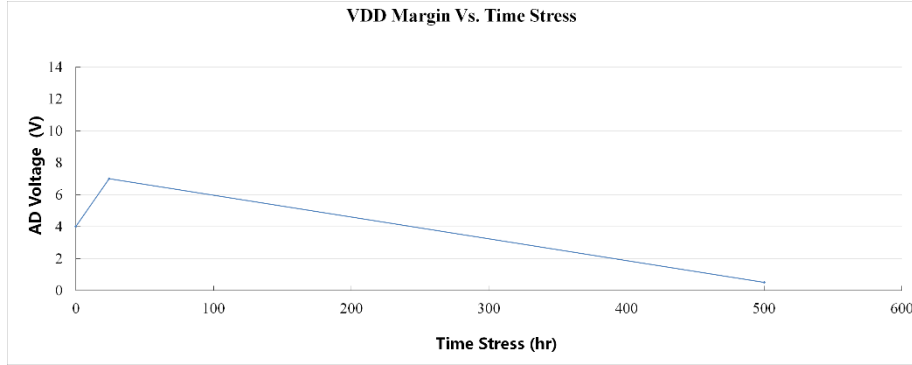


图 7 模拟 VDD 随时间变化趋势

Fig.7 Simulation VDD trend

2.3.3 不同电压设定重复性验证

为了验证 GOA 中薄膜晶体管的阈值电压漂移的重复性，将 VGH 及 VGL 电压设置增大为 28V。并将显示屏放入高温环境老化，在 24hr 及 500hr 时间节点取出测量 M2 (薄膜晶体管 T2)，M3 (薄膜晶体管 T3)，M10 (薄膜晶体管 T10)，M11 (薄膜晶体管 T11) 的输出特性曲线，其变化趋势与之前验证结果相同见表 7

	TFTVth[V]				
	0h	24h	500h	Shift 24h	Shift 500h
T2	2.97	5.08	5.36	2.11	2.39
T3	2.63	5.50	6.21	2.87	3.58
T10	2.58	13.56	11.93	10.98	9.35
T11	2.46	13.02	11.96	10.56	9.50

表 2 高电压下不同时间节点薄膜晶体管阈值电压 Vth

Tab.2 TFT Vth base on different check point under high voltage

2.4 TFT 特性衰减机理推导及变化趋势分析

从以上验证结果证明 GOA 中晶体管的阈值漂移是影响其特性的根本因素，引起该漂移主要有两个物理机制：发生在栅绝缘层 SiNx 中的电荷俘获(charge trapping)^[5-6]和发生在 a-Si 沟道层的缺陷态的产生(state creation, 包括带尾态和深能级缺陷态)^[7-8]。Charge trapping 主要是引起器件转移曲线的平移，平移的方向则与 Vg 应力的正负相同。本文中发现的在高温老化环境中，最小 VDD 变化趋势呈现短时间到达峰值，后续长时间老化逐渐变小，并且温度越高达到峰值的所需时间越短，主要原因为 GOA 中 T10 及 T1 薄膜晶体管在高温老化中短时间阈值电压漂移至最大值，后续长时间阈值电压漂移变小。薄膜晶体 a-Si 沟道层的缺陷态的产生一部分来源于 Si 键的断裂，在高温老化环境中加速了缺陷态的产生，所以导致越高温度可使最小 VDD 达到峰值的时间越短，同时由于 a-Si 沟道层的缺陷态峰值后，置于常温环境中 Si 键的恢复减少了缺陷态，从而薄膜晶体管的阈值电压得到了恢复。

3 结论

本文论证了 GOA 电路中的薄膜晶体管在高温老化环境中, 其阈值电压 V_{th} 漂移量随老化时间先增大后减小是导致 GOA 输出特性中噪驱动电压 (VDD) 并非简单随时间衰退, 而是呈现短时间达到衰退的峰值后逐渐趋于变好。从而验证了本文中提到的 GOA 等效电路有着较长寿命。

参考文献:

- [1] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社, 2011: 110-115.
- [2] 王阳元, 多晶硅薄膜及其在集成电路中的应用[M], 科学出版社, 2006:130-150
- [3] 黄中哲 等.AMLCD 中考虑 a-Si:H TFT VT 偏移的闪烁模型[J].Device & Materials Reliability IEEE Transactions on, 2003, 3(4):184-190.
- [4]Safavian N , Lai J , Rowlands J , et al. Threshold voltage shift compensated active pixel sensor array for digital X-ray imaging in a-Si technology[J]. Electronics Letters, 2005, 41(7):411.
- [5] Frank R. Libach . Steady state and pulsed bias stress induced degradation in amorphous silicon thin film transistors for active-matrix liquid crystal displays[C]. International Electron Devices Meeting. IEEE, 1993:681-684
- [6] Powell M J , Berkel C V , Hughes J R . Time and temperature dependence of instability mechanisms in amorphous silicon thin-film transistors[J]. Applied Physics Letters, 1989, 54(14):1323-1325.
- [7]Shur M , Hack M . Physics of amorphous silicon based alloy field-effect transistors[J]. Journal of Applied Physics, 1984, 55(10):3831-3842.
- [8] 郑晃忠 等.液晶显示器非晶硅薄膜晶体管在直流和交流应力下的可靠性[C]. International Conference on Solid-state & Integrated Circuit Technology. IEEE, 1998:834-837

HADS 产品暗态画面不均现象分析与改善

王彪*, 向康, 陆相晚, 栗芳芳, 彭洪勇, 薛松, 张跃, 郭威, 张敏

(合肥鑫晟光电科技有限公司, 合肥市, 230012)

(wangbiao_105@boe.com.cn*, xiangkang@boe.com.cn, luxiangwan@boe.com.cn,
lifangfang@boe.com.cn, penghongyong@boe.com.cn, xuesong@boe.com.cn,
zhangyuehf@boe.com.cn, guoweihf@boe.com.cn, minzhang@boe.com.cn)

摘要: 将暗态 L₀ 画面量化为 PB、TB、PCR 及 S 等 4 个指标, 从 Panel 和 T_{LCM} 两个状态对暗态画面不均产生的机理及影响因素展开分析。分析表明: 暗态画面不均主要与产品最终状态所受的应力应变有关; Panel 周边局部所受应力越小, 周边对比度越好; Aging 工艺能够有效释放产品内应力, 提升面内均一性; 模组状态平坦度越小, L₀ 画面的均一性越好。通过选择合适的封框胶隔垫物尺寸、玻璃种类及 Pol 差速条件、对 BLU 平坦度进行管控, 有效改善了 HADS 产品的暗态不均现象, 提升了产品的画面品质和显示效果。

关键字: HADS, 暗态均一性, 应力, 平坦度

Research and Improvement of Dark Uniformity on HADS Product

Wang Biao*, Xiang Kang, Lu Xiangwan, Li Fangfang, Peng Hongyong, Xue Song, Zhang Yue, Guo Wei, Zhang Min,

(Hefei Xinsheng Optoelectronics Technology Co., LTD, Hefei, 230012)

(wangbiao_105@boe.com.cn*, xiangkang@boe.com.cn, luxiangwan@boe.com.cn,
lifangfang@boe.com.cn, penghongyong@boe.com.cn, xuesong@boe.com.cn,
zhangyuehf@boe.com.cn, guoweihf@boe.com.cn, minzhang@boe.com.cn)

Abstract: L₀ pattern is defined and quantified as PB, TB, PCR, S, and the mechanism and influencing factors of this defect are analyzed from panel and module level. The result shows that: The dark uniformity issue is mainly related to the stress and strain of the final state of product. The smaller the local stress around the panel, the better the peripheral contrast. Aging process can effectively release the internal stress of product, which can improve the pattern quality. The better flatness of T_{LCM}, the better uniformity we can get. Selecting the proper size of the sealant column spacer, glass and the Pol attach speed, strengthening control of BLU flatness can effectively improve the dark uniformity of TFT-LCD product.

Key words: HADS, Dark Uniformity, Stress, Flatness

1.引言

薄膜晶体管液晶显示器 (TFT-LCD) 经过数十年的发展, 已成为当下最受欢迎的显示技术, 在人们日常生活中扮演着非常重要的角色, 而且面板市场竞争日益激烈^[1]。HADS(High Trans Advanced Dimension Switch)是一种具有高透过率的高级超维场转换技术, 与传统的 TN 模式相比, 其具有高开口率、高分辨率、超大视角等特点, 被广泛应用在画质要求高的中小尺寸上^[1]。但由于其水平电场的排布方式, 更容易在暗态画面下出现边缘漏光及整体画面均一性差等问题, 这也对液晶面板的设计和制造工艺提出了更高的要求。暗态画面不均又称 L₀ 漏光, 如图 1(右)所示, 液晶显示屏在受到外力挤压或按压动作时会由于玻璃自身的光弹性

产生相位差形成漏光，因为玻璃的光程差和液晶的各向异性作用，这种不良在 HADS 常黑显示模式上会被放大，漏光区域越大，画质影响越明显^[2-3]。摩擦配向工艺由于面内隔垫物的存在，会产生配向弱区导致像素漏光，而光配向工艺能够避免这种微观漏光现象^[4]。为了改善 HADS 产品暗态画面均一性差的问题，本文以京东方某款光配向 TPC(Tablet PC, 平板电脑)产品暗态均一性差为例，对 Panel 暗态画面的影响因素进行分析并加以改善。

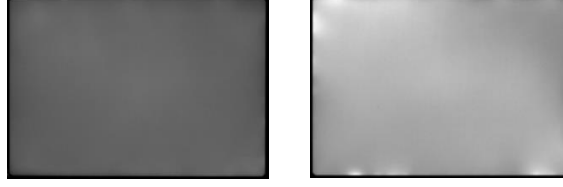


图 1. 暗态画面对比:良品(左)与不良品(右)

Fig1. Dark Pattern Comparison: OK Sample(Left) and NG Sample(Right)

2.分析方法介绍

针对暗态画面均一性量测，本文采用光学测试系统进行数据采集，其测试系统组成如图 2 所示。在暗箱中点亮测试样品 L₀ 画面，光学测试系统会测试有效显示区域（Active Area, AA）的整体亮度。如图 3 所示，该系统将 AA 区划分成 48 块区域及 4800 点，每一块区域被均分为 10*10 的矩阵，并通过计算机处理将暗态画面均一性量化为 4 个指标：周边亮度（PB）、整体亮度（TB）、周边对比度（PCR），综合评价（S）。

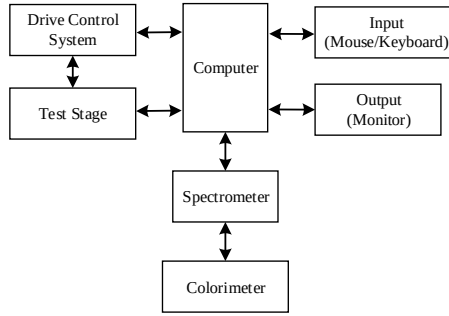


图 2.光学测试系统组成

Fig2. Optical test system diagram

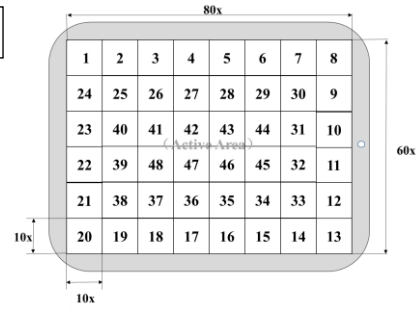


图 3. 画面区域划分

Fig3. Active area division

周边亮度（Peripheral Brightness, PB）：在 L₀ 暗态画面下对 Panel 周边 24 个区域亮度的评估，Spec<70;

$$PB = \sum_{i=1}^{100} I_a * |(\log \frac{I_a}{I_b+c})| \quad (1)$$

整体亮度（Total Brightness, TB）：在 L₀ 暗态画面对 Panel 整体亮度的评估，Spec<150;

$$TB = \sum_{i=1}^{4800} I_a * |(\log \frac{I_a}{I_b+d})| \quad (2)$$

I_b 表示面内 4800(60*80)个测试点中偏小的 70%的中值，I_a > I_b，c 和 d 均为常数。

周边对比度（Peripheral Contrast Ratio, PCR）：在 L₀ 暗态画面下对 Panel 周边 24 个区域亮暗差异程度的评估，Spec<0.1;

$$PCR = \sqrt{\sum_{i=1}^{100} (\log \frac{I_a}{n(I_{ne}+f)})^2} \quad (3)$$

I_{ne} 表示相邻区域光强的均值，f 为常数;

综合评价 S 是对周边亮度及周边对比度的加权，作为评价暗态画面均一性的量化指标，Spec<30;

$$S = 450 * PCR + 0.1 * PB - (100 - (450 * PCR + 0.1 * PB)) * 0.3 \quad (4)$$

通过这 4 个指标能够整体反映出 L₀ 画面整体品质，量化液晶显示屏在 TLCM 状态下暗态画面漏光区域的大小及漏光的强度。它们的值越大，代表暗态画面漏光越明显。

3.影响因素分析

该 TPC 产品在开发阶段暗态画面不均不良高发，不良率为 6.6%。如图 1 所示，左侧为良品的暗态画面，画面均一性较好，边缘无明显的漏光现象；右侧为不良样品，漏光现象明显且范围较大，多集中在于左上角及右下角，且多为周边对比度大于 0.1。通过数据分析，NG 位置主要集中对应的 1 区（Loc1）、13 区（Loc13），如图 4 所示，这几个区域平均值较高，说明 Panel 本身在这几个位置较为敏感。从图 5 的平坦度对比来看，不良品在周边 L1、L13 区翘曲异常，局部受力不均，说明样品平坦度与 Panel 暗态画面不均存在一定相关性。

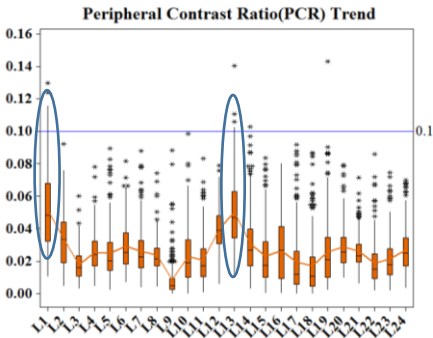


图 4. Panel 周边对比度趋势图

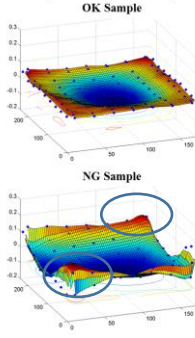


图 5. 良品与不良品平坦度对比

Fig4. Panel peripheral contrast ratio trend Fig5. Flatness comparison between ok and ng sample

根据光弹性理论，玻璃如果受到外力作用，在受力点就会产生相位延迟量，而相位延迟量 R 与多个因素有关^[3]，

$$R = Ct\sigma \quad (5)$$

其中, C 为玻璃的光弹性系数, t 为玻璃的厚度, σ 为玻璃所受的应力。

玻璃所受的应力越少、玻璃的光弹性系数越小、降低玻璃的厚度均能够减小玻璃的相位延迟量，从而减轻应力造成暗态画面的漏光。Panel 单体在理想状态下面内亮度是均一的，但是由于 TFT-LCD 生产工序较多及生产工艺的波动、设备的局限性等因素，都有可能影响液晶分子偏转导致亮度不均。根据生产经验，影响 Panel 自身应力的因素有封框胶隔垫物尺寸、玻璃种类等，这些都有可能对 Panel 周边产生应力集中，造成周边 L₀ 漏光。而液晶屏和背光源组成液晶模组（Touch LCD Module, TLCM）后，Pol 贴附速度、老化试验（Aging）以及背光源差异等都可能对 TLCM 本身造成应力集中，影响暗态画面均一性。

4.结果与讨论

为了验证应力应变对暗态均一性的影响，本文采用控制变量法进行相关验证，对封框胶隔垫物尺寸、玻璃种类、Pol 贴附速度、Aging 工艺、BLU 展开单一变量的研究。

4.1 封框胶隔垫物尺寸

隔垫物(Column Spacer)散布在封框胶内，对 Panel 的盒厚起到支撑作用，能够增强封框胶的抗压能力，隔垫物会直接影响对 Panel 周边的盒厚^[5-6]。图 6 为不同隔垫物尺寸条件下，

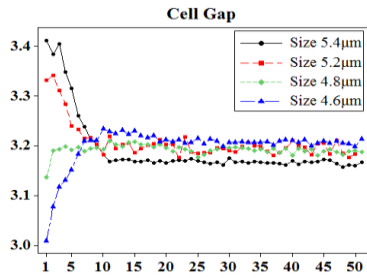


图 6.不同隔垫物尺寸下 Panel 盒厚对比

Fig.6 Cell gap comparison of column

Item	Spec	Size 4.6	Size 4.8	Size 5.2	Size 5.4
S	0~30	16.75	8.31	10.60	15.60
PCR	0~0.1	0.073	0.063	0.068	0.071
PB	0~70	31.135	11.219	6.297	31.278
TB	0~150	47.42	14.36	8.07	48.62

表 1. 封框胶隔垫物尺寸对暗态均一性影响对比.

Tab.1 Dark uniformity comparison of column spacer

Panel 边缘盒厚的变化趋势。从图中可以看出，在保持液晶量一定时，当隔垫物尺寸偏大时，其对 Panel 的支撑作用就越强，周边的玻璃基板就会被翘起，必然会导致面内隔垫物受压增强，周边就有可能出现发白的状况。反之，周边盒厚减小，面内盒厚增加，会导致周边发暗。

从表 1 可以看出，隔垫物尺寸为 4.8um 时，PCR 值最优，说明周边亮暗差异不明显；隔垫物尺寸 5.2um 的 PB 及 TB 值最低，说明整个面内亮度较为均一。当隔垫物尺寸继续减小至 4.6um 或增加至 5.4um 时，PB 及 TB 均有大幅上升的趋势，与盒厚的规律基本一致。

4.2 玻璃种类

Properties	1#Glass	2#Glass	3#Glass	4#Glass
Density/g/ cm3	2.55	2.38	2.52	2.59
Young's Modulus/Gpa	83	73.6	81	85
Photoelastic Coefficient /mm/cm/Mpa	28	33	28	27

表 2. 四种 Glass 关键特性参数对比

Tab.2 Critical characteristic parameter of four glasses

Item	Spec	1# Glass	2# Glass	3# Glass	4# Glass
S	0~30	0.30	10.40	1.03	1.93
PCR	0~0.1	0.051	0.065	0.052	0.053
PB	0~70	3.601	18.235	4.712	7.106
TB	0~150	3.601	25.171	4.837	7.106

表 3. 四种玻璃的暗态均一性对比

Tab.3 Dark uniformity comparison of different glasses

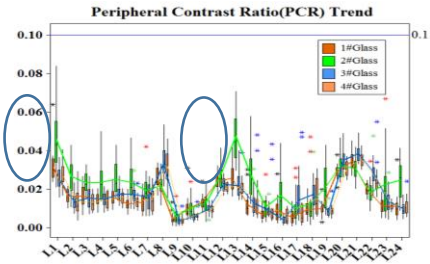


图 7. 四种玻璃的周边对比度趋势对比

Fig.7 Panel peripheral contrast ratio trend

在玻璃基板轻薄化的趋势下，玻璃自身的强度、平坦度、起伏度和表面粗糙度都会对曝光精度、Cell Gap 产生影响。为验证玻璃种类对暗态漏光的影响，选取 1# Glass、2# Glass、3# Glass、2# Glass 四种玻璃，其关键特性参数见表 2。表 3 是暗态画面光学测试结果，可以看出，1# Glass、4# Glass、3# Glass 三种玻璃的光弹性系数近乎相同，且均小于 2# Glass 的

光弹性系数，其暗态画面综合表现均优于较 2# Glass，且 1# Glass 玻璃综合表现最优。同时对比周边亮暗差异趋势，见图 7，2# Glass 玻璃在 Loc1、Loc13 区域较高，所以选取光弹性系数较低的玻璃对暗态均一性改善具有一定的帮助。

4.3 Pol 贴附速度

根据光弹性理论，玻璃的漏光量与所受的应力呈正相关，即可以通过降低 Panel 的形变量来改善 Panel 暗态漏光的敏感性。由于 TFT 侧 Pol 和 CF 侧 Pol 的含水率存在差异，在偏光片受热后，TFT 和 CF 侧 Pol 的收缩程度也不同，这样就会造成 Panel 呈现不同的形状。本文 CF Pol 贴附速度为 200.0mm/s, 设置 TFT Pol 贴附速度 199.9mm/s、200.0mm/s、200.1mm/s, 200.2mm/s 四档来验证 Pol 差速的影响。如图 8 所示，对比了贴 Pol 后各差速条件下 Panel 的平坦度，可以看出 199.9mm/s 和 200.0mm/s 差速下的 Panel 平坦度呈现不同程度的 Cap 翘，200.1mm/s 下趋于平坦，200.2mm/s 条件下则呈现为严重的 Cup 翘，模组状态的平坦度也呈现出相同的规律。而从表 4 的光学测试结果可知，当 TFT 侧贴附为 200.1mm/s 时，S、PCR、TB 均为最优条件。由此可以推测，CF 与 TFT Pol 的贴附速度对 Panel 的光学结果存在一定的影响，TFT 侧 Pol 贴附速度为 200.1mm/s 时，Panel 整体最为平坦且光学结果最优。

4.4 Aging 工艺

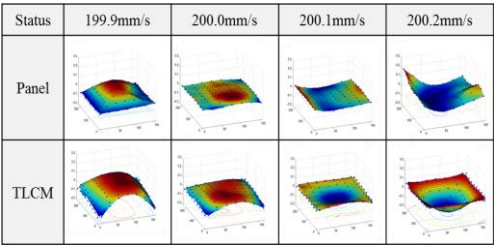


图 8. Pol 差速对平坦度的影响

Fig.8 Flatness comparison among different pol attach speed

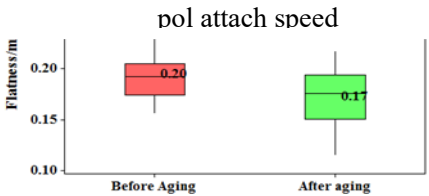


图 9. Aging 前后平坦度变化

Fig9. Flatness before and after Aging

Item	Spec	199.9	200.0	200.1	200.2
S	0~30	9.84	9.25	6.93	11.00
PCR	0~0.1	0.067	0.066	0.062	0.069
PB	0~70	4.944	4.925	5.106	4.883
TB	0~500	19.27	26.78	14.26	30.50

表 4. 不同 Pol 差速下的暗态均一性对比

Tab.4 Dark uniformity comparison of different pol attach speed

PCR	0~0.1	0.058	0.059
PB	0~200	42.986	22.618
TB	0~500	56.09	30.12

表 5. Aging 前后暗态均一性差异对比

Tab.5 Dark uniformity comparison before and after Aging

Aging 俗称老化试验，不仅可以对样品进行可靠性测试，而且能很好地释放内应力，一定程度上降低 TLCM 在制程过程中产生的形变。为验证 Aging 对暗态画面的影响，本文对比了同一批样品在 Aging 前后的平坦度变化。从图 9 可以看出，Aging 后平坦度均值由 0.20mm 降低至 0.17mm.，整体表面趋于平坦。相应的暗态画面测试结果如表 5，可以看出 PCR 的值无变化，TB 和 PB 下降了 50%，说明 Aging 工艺对周边亮暗差异无明显的影响，但是对 L₀画面整体的暗态画面均一性起到了明显提升的作用，与平坦度降低相一致。

4.5 BLU 差异

平板电脑类背光源由金属底板、塑料胶框、灯条、反射片、导光板、扩散片、棱镜片等组成，不同模具所生产的胶框、金属底板和导光板搭配会对 BLU 的光学产生影响。表 6 是不同模具 BLU 对应的模组暗态画面测试结果，可以看出 5#BLU 对应的模组光学结果最好，同一批次 Panel 在搭配不同模具生产的背光时，暗态画面均一性表现出极大的差异。从图 10 中可以看出，3#BLU 对应的模组暗态画面均一性表现波动较大。BLU 进行周边平坦度的量

测如图 11 所示，3#BLU 比其他 BLU 的周边平坦度稳定性差，说明其 BLU 模具间平坦度存在差异，且与 BLU 周边对比度结果相一致，说明 BLU 平坦度对 TLCM 的光学起到关键作用，可以通过加强对 BLU 来料的平坦度管控来提升 TLCM 产品的画面品质。

Item	Spec	1#BLU	2#BLU	3#BLU	4#BLU	5#BLU
S	0~30	11.34	8.02	16.61	2.86	0.06
PCR	0~0.1	0.062	0.059	0.065	0.054	0.050
PB	0~200	39.012	26.951	66.075	9.757	1.758
TB	0~500	62.09	45.84	121.61	17.93	1.97

表 6. 不同 BLU 模具对应的暗态均匀性对比
Tab.6 Dark uniformity comparison of different BLU modes

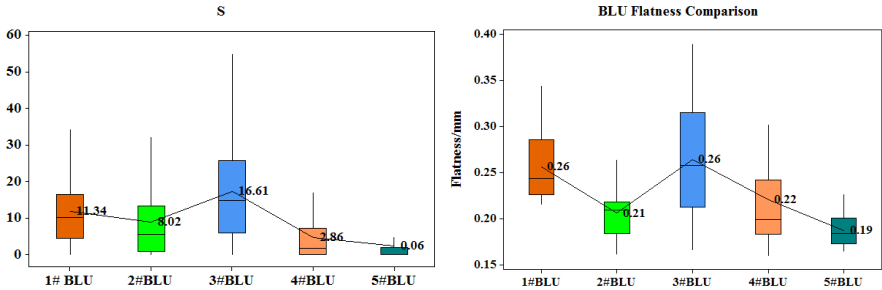


图 10. 综合评价 S 对比. 图 11. 不同 BLU 模具下来料平坦度差异对比

Fig.10 Comprehensive evaluation Comparison Fig.11 BLU Flatness comparison

5. 结论

通过将暗态画面不均现象转化为 4 个量化指标，展开对 HADS 产品暗态画面不均的实验研究。分析表明：暗态画面不均主要与 Panel 的应力和产生的形变有关，BLU 平坦度在模组产品的画面品质上起到关键作用。通过选取合适的隔垫物尺寸、玻璃类型、合适的 PoI 贴附速度及加强 BLU 来料平坦度管控等能够有效降低 Panel 整体平坦度和局部应力，配合 Aging 工艺能够有效释放 TLCM 的组装应力，对暗态整体画面不均有明显的改善效果。通过以上优化措施，该产品暗态画面相关不良由 6.6%降低至 0.05%以内，极大提升了产品的画面品质和竞争力。

参考文献:

[1] 罗丽平,负向南,金基用.TFT-LCD 生产及发展概况[J].现代显示,2012(03):31-38.
[2] 郑箫逸,袁帅,崔晓鹏,等.TFT-LCD HADS 显示模式下黑白 Mura 机理研究及设计优化[J].液晶与显示,2019,34(03):261-266.
[3] 冯伟,张然,梁恒镇,等.TFT-LCD 漏光敏感性影响因素研究与改善[J].液晶与显示,2018,33(12):989-995.
[4] Yang Y , Kiman K , Qin G , et al. P - 71: Simulation and Experimental Study on Light Leakage in ADS Mode LCDs[C]// John Wiley & Sons, Ltd. 2015:1251-1254
[5] 栗芳芳,汪弋,陆相晚,等.摩擦配向工艺对 HADS 产品像素漏光的影响分析[J].液晶与显示,2019,34(03): 241-244.
[6] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011: 45-47.

PI-6

纯色技术在液晶显示中的应用

查宝、温雷、陆志涛、崔巍、姚江波、张聪洸

(TCL 华星光电技术有限公司, 深圳, 518132, E-mail:zhabao@tcl.com)

摘要: 目前普通的液晶显示器都是采用的 YAG 背光, 其含黄橙光部分, 此外, 红色和绿色彩膜滤光片在此波段(黄橙光)存在重叠的区域, 从而导致红光和绿光纯度不够, 使得一般的液晶显示器的色域不高, 本文通过研究能够吸收黄橙光(560~610 nm)的光纳米材料, 其具有较窄的半峰全宽; 研究发现纯色技术搭配普通的 YAG 背光时, 会导致白点偏蓝, 通过适当的添加红色和绿色荧光粉, 可以改善白点偏蓝的问题, 进一步搭配 28 吋液晶显示屏, 其色域可以达到 DCI-P3 99%。

关键字: 纯色技术, 广色域, 液晶显示, DCI-P3

Application Of Pure Color Technology In Liquid Crystal Display

Zha Bao, Wen Lei, Lu Zhitao, Cui Wei, Yao Jiangbo, Zhang Conglong

(TCL China Star Optoelectronics Technology Co., LTD, Shenzhen, 518132, CHN, zhabao@tcl.com)

Abstract: Currently, LCD (liquid crystal display) is becoming more and more prevalent while the color gamut with conventional white LED (WLED) light is pretty hard to meet the requirements of consumers, due to the conventional WLED backlight consists of blue LED chip, and its excites YAG phosphors to give off yellow light. On the other hand, the overlapped neon color area between red and green color filter, which deteriorates green and red color purities. Therefore, it would be necessary to adopt nano materials absorb the neon light with wavelength range from 560 nm to 610nm, and can broaden the color gamut of LCD. In this paper, a nano organic dye, which can absorb the neon light with narrower full width at half maximum (FWHM), was investigated and used in LCD. On the other hand, small amounts of red and green fluorescent dyes was added to the YAG phosphors as the backlight, the LCD can achieve the white balance. Ultimately, we successfully make a pure color technology LCD, and its color gamut is enhanced to exceed 99 % coverage ratio of DCI-P3 in CIE1976.

Keywords: Pure color, Wide color gamut, LCD, DCI-P3

1. 引言

眼睛是人类感知外界最重要的感觉器官, 通过视觉可以获得 80% 以上的外界信息, 而显示器是传递这些信息的直接媒介, 而液晶显示器所能传递的颜色信息量也就决定了人们获得的信息量。色域值越大, 代表这显示器可以呈现出的颜色就更加的丰富, 色彩越艳丽, 而被眼睛感受到的信息也就越多。

而液晶显示技术是非自发光, 需要依靠背光源来显示图文信息。目前大部分背光模组都是使用蓝色 LED 芯片去激发黄色荧光粉混合制成的白光 LED, 这种白光 LED 在长波段的色彩呈现能力偏弱, 特别是在 550~600nm 波段的存在而导致绿色和红色的纯色不够, 此外, 彩膜滤光片在此波段存在重叠的区域, 从而导致透过面板形成的只有 65%~75% NTSC 左右的较小色域。

目前市场上的主流液晶电视的色域基本上在 70% NTSC 左右, 现行的显示设备的发展历程也是一个在追逐色域提升的过程, 即提升显示器件的色彩再现能力的过程。目前提升色域的方式主要有两种: 其一, 采用四原色或者更多原色体系来取代目前的三原色体系, 可以实现色域的提升, 且可提升光源的利用率。多色显示相对于传统的三原色显示, 具有广色域、

高亮度和广视角等诸多优势，一直在学术界和 LCD 显示界都有着广泛的研究很应用^[1,2]。

其次，影响显示器色域的一个关键因素是背光源，目前的主流产品普遍采用白光 LED 作为背光源，而常用高色域覆盖率的白光一般又由蓝光芯片+绿色荧光粉+红色荧光粉实现，结合白光透过 CF 的原理可知，高色域覆盖率实现的关键在于绿色、红色荧光粉的选择，且重点影响因素为绿色、红色荧光粉的物性参数（峰值、半波宽）与 CF 的匹配。下表为不同体系 LED 荧光粉的峰值波长、半波宽参数，结合 LED 行业荧光粉量产及应用状况，目前实现高色域覆盖率最高的为 KSF 背光，KSF 背光是蓝色 LED 搭配绿色荧光粉 β -SiAlON，红色荧光粉为氟化物。由于 KSF 荧光粉的超窄半波宽光谱特征，使得其光谱在经过液晶面板时也能够有很高的色纯度，从而大大地提高了三原色三角形的面积，可以将色域覆盖率 NTSC 提升到 87%。但是氟化物荧光粉存在不耐湿、不耐高温的特点，目前，对于这些缺陷只能通过 coating 技术来延缓湿度、温度对粉体的破坏，无法彻底解决。所以氟化物在应用的过程中需匹配气密性、散热性好的材料，特别是支架与封装胶水的选择，且氟化物不可应用在温度高于 150℃ 的环境中。Kakinuma K 研究了采用 RGB 三原色 LED 芯片，可实现色域 105% NTSC，但是由于绿色 LED 芯片的效率低及三原色芯片的电流、温度和寿命都不一致，这些都是制约着三原色 LED 芯片背光的发展瓶颈。量子点具有半峰高度(FWHM<40nm)的特点，是显示广色域显示的极佳材料，但是由于量子点一般含有重金属 Cd 元素，对人体及环境都存在一定的危害性，是制约着其广泛应用的一个重要因素，与此同时，无 Cd 量子点的也得到了快速的发展，但无 Cd 量子点的效率低，其半峰高度相对含 Cd 的较宽。

随着显示技术的发展，人们对显示器件的要求越来越高，比如，高的色彩再现能力、节能和柔性等。目前，家用电视机、手机以及各种户外显示设备的色域覆盖率较低（72%），这些基本上都是中低端产品。具有广色域的产品（DCI-P3 99%）一般都时高端产品，可见，增加显示设备的色彩饱和度，显示鲜艳而真实的画面，追求更高更真实的画质是显示行业发展的一个趋势。本文主要针对目前白色 LED 背光源的液晶显示器中黄橙光部分，特别是在 550~600nm 波段光的存在而导致绿色和红色的纯色不够，此外，彩膜滤光片在此波段存在重叠的区域，从而导致透过液晶显示器的色彩纯度不够。通过研究能够吸收黄橙光（560~610 nm）的光纳米材料，其具有较窄的半峰全宽；研究发现纯色技术搭配普通的 YAG 背光时，会导致白点偏蓝，通过适当的添加红色和绿色荧光粉，可以改善白点偏蓝的问题，进一步搭配 28 吋液晶显示屏，其色域可以达到 DCI-P3 99%。

2. 纯色技术在液晶显示中的应用

2.1 光纳米材料

针 550~600nm 的不纯光，可以选用一些光纳米材料进行吸收，从而实现对液晶显示器中的绿色和红色进行提纯，进而可以实现色域提升。要吸收波长在 550~600nm 的光，可以选用光纳米材料来实现，本文中所选择的有机吸收染料（N-cut dye），其紫外-可见吸收谱如图 1 所示，其吸收峰主要集中在黄橙光区域，且具有半峰宽较窄等特点，可以满足研究需求。

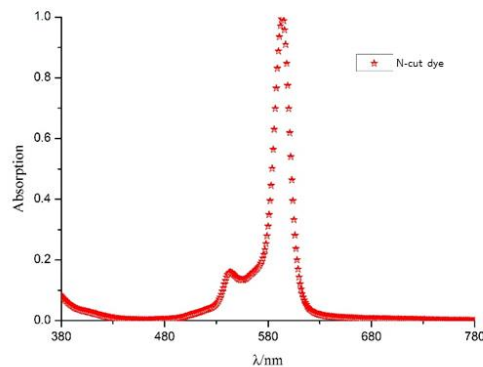


图 1. N-cut dye 在乙醇溶剂中的紫外-可见吸收谱。

2.2 纯色技术偏光片

N-cut dye 在黄橙光区域（550~610nm）具有很好的吸收效果，通过将 N-cut dye 分散在压敏胶（PSA 胶）里制备出具有纯色技术的光学膜片，而目前液晶显示中的偏光片和显示面板的玻璃之间的贴合主要是通过压敏胶的作用，为了充分利用纯色技术，及尽可能的减小因纯色技术带来的成本上升，这样可以得到纯色技术偏光片，通过将偏光片贴合在液晶显示面板上，实现对液晶显示器中黄橙光的吸收，从而使得绿光和红光的提纯。

将 N-cut dye 溶解并分散在压敏胶中，置于偏光片之中，这样就可以得到具有纯色技术的偏光片，其制备流程如图 2 所示。首先 N-cut dye 均匀分散在亚敏胶（PSA）之中，其次，在偏光片的制备流程中，在 PVA 膜层上下复合 TAC 膜层之后，进过涂 PSA 胶膜层时，将常用的 PSA 胶中加入适当比例的 N-cut dye，搅拌分散均匀，随着偏光片的工艺进行复合离型膜，然后经过裁剪，最后偏贴于液晶显示屏上。

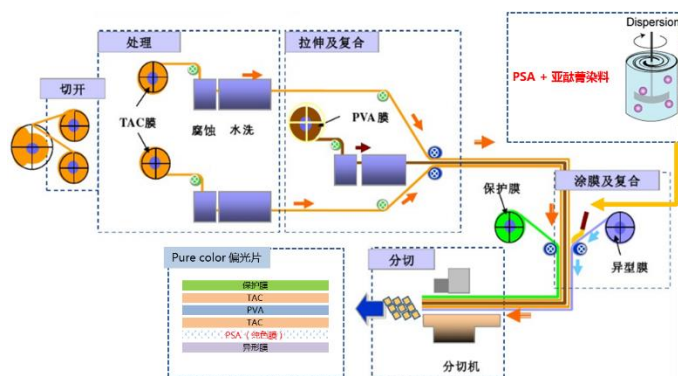


图 2. 纯色技术偏光片的制备流程。

2.3 纯色技术偏光片在液晶显示中的应用

普通的 YAG 背光搭配纯色技术的液晶显示屏时，其量测的评估参数如表 1 所示，而 YAG 背光搭配液晶显示屏作为同步对比，结果发现采用纯色技术的液晶显示屏的 DCI 可以达到 99%，而普通的 YAG 背光，其 DCI 规格只能到底 DCI 79%，很明显纯色技术膜片有助于 DCI 色域规格的达成。其分别对应的色点在 CIE 1976 坐标系中的表现如图 3 所示，很明显可以看出搭配纯色技术的液晶显示器的色点更接近 DCI 色域规格的色点，特别是红色和绿色的色点。纯色技术主要是吸收背光源中的黄橙光，而提纯红光和绿光的色彩纯度，与此同时，红光和绿光的亮度也随之下下降，毫无疑问会影响液晶显示器的白色平衡点，从表 1 中

可以看出，YAG+纯色技术的白点 (W_x 0.253; W_y 0.260)，相较于 YAG 背光的白点 (W_x 0.281; W_y 0.281) 偏蓝很多，这样在显示器显示白色画面时，纯色技术的显示器会呈现淡蓝色，因此，为了使显示画面更平衡，需要将背光做一下调整，提升红光和绿光的穿透，使得纯色技术的白点往黄色的方向移动，这样有利于改善纯色技术显示的白点问题。

表 1 纯色技术在液晶显示中的色彩评估

	Rx	Ry	Gx	Gy	Bx	By	Wx	Wy	NTSC	DCI
DCI Target	0.496	0.526	0.099	0.578	0.175	0.158	0.28	0.29		100%
YAG	0.454	0.531	0.129	0.573	0.176	0.165	0.281	0.281	75.1%	79%
YAG+纯色技术	0.684	0.313	0.262	0.677	0.15	0.06	0.253	0.26	95.1%	99%

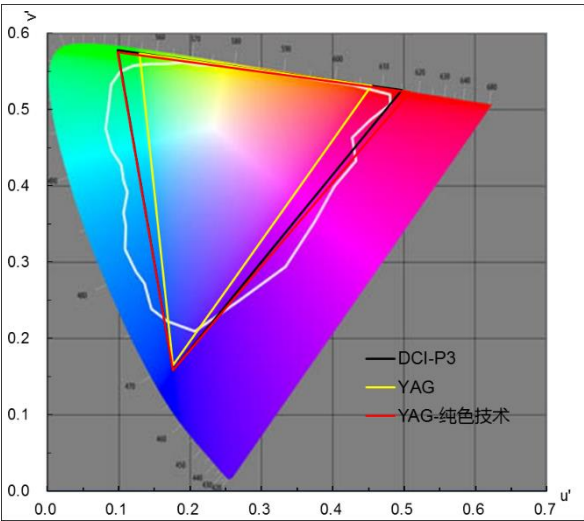


图 3. YAG 背光和 YAG 背光搭配纯色技术的 LCD 在 1976 坐标系中的色域

2.3.1 纯色技术背光的调整

针对纯色技术显示的白点偏蓝的问题，主要是通过背光进行微调来调整。YAG 背光主要是采用蓝色 LED 激发 YAG 粉发出的黄光相混合成白光，而调整方案主要是在 YAG 粉中添加适量的绿色荧光粉和红色荧光粉，这样可以提升纯色显示中的绿光和红光的亮度，白点就可以达到目标值，在 YAG 粉中掺杂少量的绿色荧光粉和红色荧光粉背光与 YAG 背光的频谱对比如图 4 所示。

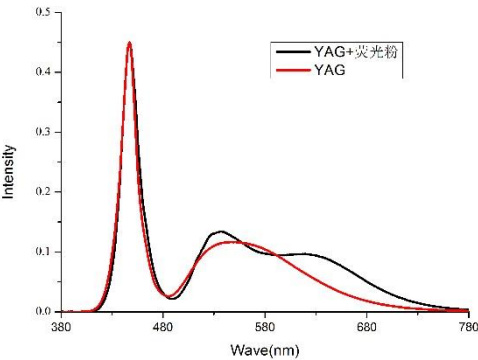


图 4. YAG 背光和纯色技术搭配的 YAG 背光频谱

针对纯色技术显示的白点偏蓝的问题，在普通的 YAG 背光基础上添加少量的红色和绿

色荧光粉即可以调整，当调整后的 YAG 背光搭配纯色技术的显示屏时，其评估的色度表现及白点如表 5-2 所示。调整后的白点（Wx 0.265; Wy 0.276）可以满足液晶显示屏的需求。

表 2 调整后的 YAG 背光搭配纯色技术显示屏的色彩评估

	Rx	Ry	Gx	Gy	Bx	By	Wx	Wy	NTSC	DCI
DCI Target	0.496	0.526	0.099	0.578	0.175	0.158	0.28	0.29		100%
YAG	0.454	0.531	0.129	0.573	0.176	0.165	0.281	0.281	75.1%	79%
YAG+纯色技术	0.687	0.311	0.264	0.679	0.15	0.062	0.265	0.276	95.1%	99%

3. 纯色技术 DEMO

当采用调整后的 YAG 背光，搭配 28 吋的液晶显示屏，其光学表现如表 2 中 YAG+纯色技术所示，其点亮的画面如图 5 所示，很明显可见呈现的色彩更为丰富，相对普通的 YAG 背光显示，搭配具有纯色技术的液晶显示器的色域可以导到 DCI 99%，显而易见，具有广色域的纯色技术显示在色彩表现上明显优于普通的液晶显示，而在 DCI 色域规格下，纯色技术较量子点技术和 KSF 背光等具有综合（色域、成本和功耗）的优势。



图 5. 28 吋纯色液晶显示器

参考文献:

[1] Teragawa M, et al. Review Paper: Multi-primary-color displays: The latest technologies and their benefits[J]. Journal of the Society for Information Display, 2012, 20(1):1-11.

[2] Tomizawa K, et al. Multi-primary-color LCD: Its characteristics and extended applications[J]. Journal of the Society for Information Display, 2011, 19(5):369-379.

防窥产品技术概述

李姣, 刘勇, 钱学强, 彭晓青, 王凯旋, 占红明, 陈希

(北京京东方显示技术有限公司, 北京, 102600, lijiao_104@boe.com)

摘要: 随着大数据信息时代的到来及显示屏的多领域应用, 个人隐私和商业机密等极易通过显示屏泄露, 具有窄视角显示特性的防窥显示屏可以有效的解决该问题。本文主要从介绍市场现有防窥产品出发, 综述现有防窥产品的技术方案原理、应用场景、相关优劣对比, 最后针对现有防窥技术现状及问题点对未来防窥技术研发和产品升级方向进行展望。

关键字: 信息泄露, 防窥, 视角可调

The overview of privacy product technology

LI Jiao, LIU Yong, QIAN Xueqiang, PENG Xiaoqing, WANG Kaixuan, ZHAN Hongming, CHEN Xi

(Beijing BOE Display Technology Co., Ltd., Beijing, 102600, CHN, lijiao_104@boe.com)

Abstract: With the advent of the era of big data information and the multi-field application of display screens, personal privacy and commercial secrets are easily leaked through the display screen. A privacy display with narrow viewing angle display characteristics can effectively solve this problem. This article mainly starts from introducing the existing anti-peep products in the market, and summarizes the technical solution principles, application scenarios, and related advantages and disadvantages of existing anti-peep products. Finally, according to the current situation and problems of the existing anti-peep technology, the future direction of anti-peep technology research and development and product upgrades are prospected.

Keywords: Information leakage, Anti-peep, Adjustable viewing angle

1. 引言

随着经济的发展和科学技术的进步, 显示屏成为人们信息获取和共享的载体。早期显示屏主要朝着广视角方向发展去共享信息^[1-3], 然而随着信息的多样化一些个人隐私或者商业机密也会通过显示屏幕被人眼或无处不在的摄像头所窃取。因此防止信息泄露的防窥技术也不断发展^[4-5]。最早期的防窥产品是 3M 公司的防窥膜, 由于防窥膜固定光栅结构显示屏幕只能处于窄视角一种状态, 后续[6-8]在宽窄视角可切换的显示结构上进行了深度的研究。本文主要梳理了市场现有防窥产品的技术方向, 主要分为以下三类: ①利用百叶窗遮光的原理实现防窥, 防窥的角度可根据百叶窗宽度调整; ②降低大视角的对比度让人眼无法辨清显示内容; ③通过对背光膜材折射率的调整使背光大视角的光线折射到中心视角, 降低侧视角亮度。另外, 本文通过对现有技术方案的问题点进行对比, 最后对未来防窥技术的发展方向进行了展望。

2. 现有防窥产品介绍

2.1 百叶窗防窥膜

百叶窗防窥膜由美国 3M 公司最早推出, 且具有良好防窥效果。该产品采用独特的微精光学技术, 将百叶窗结构做成微米级别的光栅结构, 结构如图 1 所示。将该结构贴于屏幕上, 可以控制视角在 60 度以内, 仅正对屏幕的人可以看清内容, 而如果从左、右视角超过 30 度的方向观看屏幕, 看到的漆黑一片, 具有显著的防窥效果。该结构可用于商务差旅, 公共场所(如咖啡厅), 办公室(如财务, 人事部门), 其他(个人应用)等保护信息的产品。另外, 该防窥膜的大视角发黑效果也被用在高端车载显示屏, 防窥膜可消除车载显示屏在前挡风玻璃上的反射成像, 避免夜间行车时的显示器反光干扰; 不贴防窥膜的车载显示屏会有如图 2(1)中所示的夜间前挡风玻

璃成像问题，贴上防窥膜后效果如图 2（2）所示，可以极大改善车载屏幕在挡风玻璃投影，提高夜间行驶的安全度。

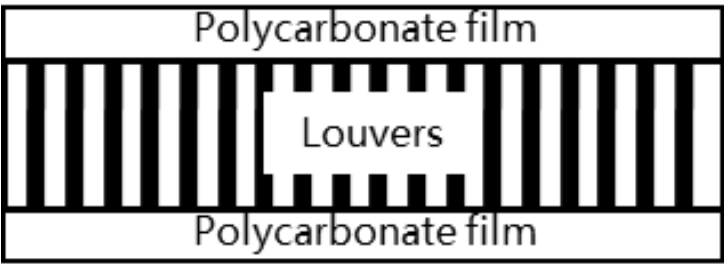


图 1 防窥膜结构
Fig.1 The structure of privacy film

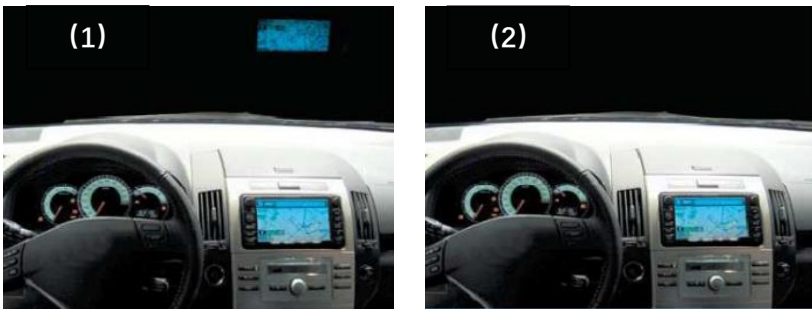


图 2（1）车载显示屏无防窥膜挡风玻璃视图；（2）车载显示屏带防窥膜挡风玻璃视图
图 Fig.2 （1） The windshield view of the car display without privacy film；
（2） The windshield view of the car display with privacy film

防窥膜因其良好的防窥效果被广泛应用，但大多显示产品如监视器，笔记本等仅在特定场合需要防窥，大部分使用时间更希望显示屏幕具有良好的宽视角特性。另外由于防窥膜的贴附会带来厚度的增加和亮度的损失（人眼疲劳），一种亮度可调且宽视角和窄视角的可切换的薄型化的显示屏幕被人们所需要。

2.2 一种利用聚合物液晶+防窥膜实现宽窄视角可切换的显示装置

防窥膜常规使用多为悬挂或贴在屏幕外侧，为合理利用防窥膜的收窄光线作用和聚合物分散液晶（PDLC, polymer dispersed liquid crystal）的光打散作用实现宽视角切换，设计如图 3 所示的显示装置。常规的液晶显示屏幕由背光和显示面板组成，该结构则在背光和显示面板之间增加防窥膜和 PDLC 两种膜材，防窥膜可对背光的光线进行收窄，PDLC 可以通过电场控制光线的传播方向。

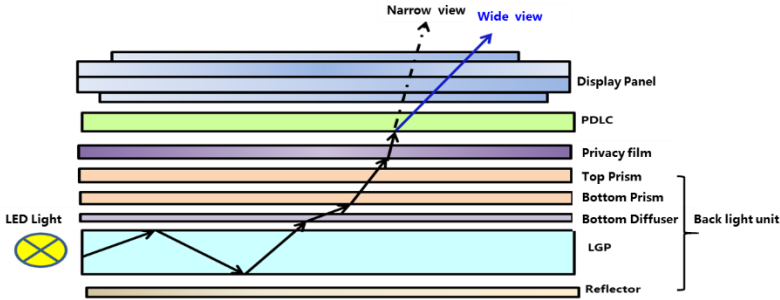


图 3 防窥膜+聚合物液晶的宽窄视角可切换显示结构
Fig.3 The display structure with wide and narrow viewing angle switchable achieved by privacy film and polymer dispersed liquid crystal

PDLC 是由两片 ITO 导电膜及中间夹有的聚合单体与液晶混合物，通过固化形成高分子与液晶复合材料制备而成。PDLC 工作原理如图 4 所示，在复合材料中，高分子形成三维网络结构，液晶分子填充在高分子形成的三维网络结构的网眼中；当不对复合材料施加电场时，在高分子网络的作用下液晶分子的指向呈无规则分布，薄膜呈强烈光散射状态，如图 4（1）所示；对复合材料施加电场时，液晶分子的长轴平行于电场排列薄膜呈透明状态可在电场的作用下有序排列，为透明态，如图 4（2）所示；对于该显示装置，当 PDLC 加电时，显示屏幕为窄视角状态；当 PDLC 不加电时，显示屏为宽视角状态。

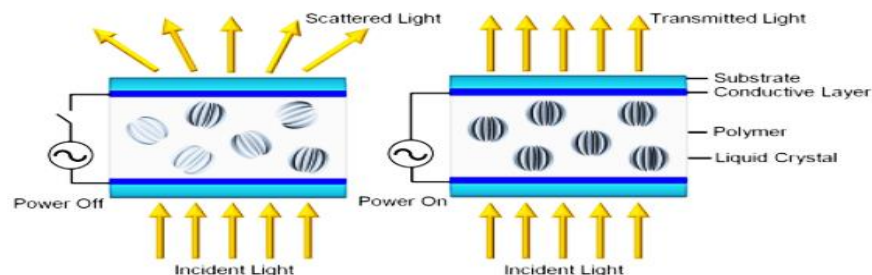


图 4 PDLC 工作原理：（1）PDLC 不加电状态；（2）PDLC 加电状态
Fig.4 The working principle of PDLC: （1） PDLC is powered off;(2) PDLC is powered on

该宽窄视角切换显示结构解决了单一使用防窥膜的窄视角弊端，但由于防窥膜的光栅结构及 PDLC 层会导致该结构较常规显示结构透过率有约 50%的光线损失，该装置的功耗会相较常规显示产品会提升一倍，同时防窥膜和 PDLC 两层膜材会增加显示产品的整体厚度。该装置多用于固定式可插电源且对厚度要求不高的监视器等产品，对于移动电子产品如笔记本电脑，平板电脑，手机来说会极大的影响续航和重量，是一种不可采用的防窥方案。

2.3 一种降低侧视角对比度的防窥方案

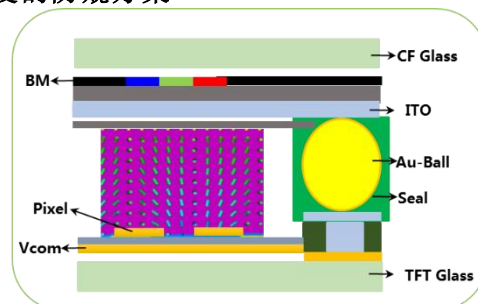


图 5 侧视角对比度降低防窥显示结构
Fig.5 The privacy display structure with side viewing angle contrast reduced

通过外加膜层的防窥方法都会在一定程度上增加显示屏幕的厚度，该结构仅通过在常规液晶盒内增加一层 400Å ITO 电极实现防窥，对显示屏幕的厚度和重量基本无影响。对于常规的宽视角 IPS 显示屏幕，位于 TFT 玻璃上面的像素电极和公共电极形成水平电场，通过控制电场强弱改变盒内液晶的面内转动角度来实现不同的显示画面。该结构的防窥原理利用了 TN 显示模式的窄视角特性，在常规 IPS 显示结构的 CF 玻璃上增加一层 ITO 导电层，ITO 与 TFT 玻璃上的像素电极和公共电极间的压差形成同 TN 显示模式的竖向电场，盒内的液晶同时受到水平电场和竖向电场的作用，液晶面内旋转进行画面显示，液晶竖向旋转导致同 TN 模式的侧视角漏光，侧视角对比度大幅降低，人眼无法识别画面显示的内容，达到防窥的效果。

该结构在功耗和重量方面都极具优势，对产品类型没有限制，但从侧视角观测时，人眼看到的屏幕是一片发亮的效果，相较防窥膜的发黑效果略显逊色。

2.4 一种基于准直背光的宽窄视角可切换装置

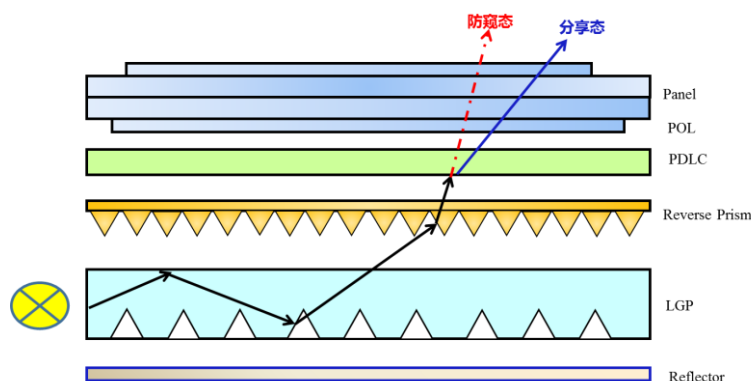


图 6 窄视角背光防窥显示结构

Fig.6 The privacy display structure of narrow viewing angle backlight

对于高端笔记本产品，由于便携式及时尚外观的需求，附加防窥功能时整体厚度不能增加太大，2.2 节所述的防窥结构由于需要在背光和显示面板之间增加防窥膜片和 PDLC 两层结构来实现宽窄视角可切换，且防窥膜片带来功耗的提升，所以不被笔记本用户所接受。本节中的方案结构如图 6 所示，该结构较常规显示装置主要是在背光和显示面板之间仅增加一层 PDLC 膜层，可一定程度降低整个显示装置的厚度。该结构采用一种特殊的窄视角的背光来实现防窥，该背光通过逆棱镜的折射使大视角的光线向中心视角汇聚，大视角的光线减少亮度降低实现防窥，同时中心视角的光线增多，也一定程度上降低功耗。对于宽视角显示的实现，则利用如 2.2 节中所述 PDLC 不加电状态的散射作用实现。

该结构在一定程度上可实现防窥具有宽窄视角可切换功能，但由于窄视角背光收光效果不如防窥膜效果，整个结构的防窥效果相较防窥膜仍有一定差距。

2.5 现有防窥产品技术方案对比

对于 2.1~2.4 节所述防窥产品技术方案，从防窥效果、观感、宽窄视角可切换、厚度、功耗、适用产品进行对比分析，表 1 所示给出了各个技术方案的横向对比效果。

表 1 各防窥方案对比

项目	防窥膜	防窥膜+ 聚合物液晶	IPS CF+ITO	准直背光+PDLC
防窥效果	优	优	差	中
防窥视角方向	左右防窥	左右防窥	左右防窥	左右和上下防窥
观感	大视角发黑	大视角发黑	大视角发白	大视角发黑
视角可调	否	是	是	是
厚度	适中	厚	薄	适中
功耗	高	高	低	低
适用产品	取款机等固定式 防窥产品	监视器	笔记本电脑	笔记本电脑

从防窥效果来看，目前防窥膜产品还是处于领先的优势。新出现的准直背光由于对光线的收窄与防窥膜有一定差距，防窥效果待进一步提升。但准直背光可从左右和上下两个视角防窥，这也是未来防窥产品的发展方向。

从观感来看 2.3 节中 IPS CF 玻璃上增加 ITO 的方案大视角发白，对于常规发黑的防窥视觉认知，该方案被人们的接受度比较低。

从视角可调节角度看，固定式防窥结构目前主要是比较成熟的防窥膜，对于视角可调的防窥产品防窥技术和大视角调节技术不同方向均有发展。

从厚度来看,除 IPS 在 CF 玻璃增加 ITO 的技术外,其他方案均会有一定厚度增加,对于目前追求轻薄的手机和平板产品,一直没有合适的防窥技术应用其上。

从功耗来看,由于防窥膜产品对光线有一定的阻挡作用,防窥膜方案的功耗都比较高。这种方案对于携带式产品如手机、平板、笔记本都不被接受。目前用于笔记本产品的 IPS CF+ITO 方案和准直背光+PDLC 在功耗方面具有较大的优势。

综上,现有防窥技术方案都存在一些问题,复合超薄、低功耗、多向防窥、视角可切换特性的防窥技术有待进一步研发。

3. 总结与展望

信息化时代的到来使防窥显示技术成为高端显示的主流,市面现有防窥产品主要体现在防窥膜固定式防窥(银行取款机或触控平板)、监视器的可切换防窥、高端笔记本的可切换防窥,但防窥功能的加入会使产品在厚度或功耗或画质都有一定的损失。未来防窥产品会朝着薄型化、低功耗、高画质、高亮度发展。另外,目前防窥产品效果主要体现在左右视角防窥,根据多视角防窥的需求未来发展方向为四向防窥(左右视角与上下视角均防窥)、Z 向防窥(不仅上下和左右视角不可见,站在主要观测者身后的人也不可见)。对于车载显示屏则存在指向式防窥的发展方向,位于汽车中心位置的显示屏内容仅副驾驶座可见,正驾驶座的司机防窥,起到安全行驶的作用。整体而言,防窥显示产品不断进入市场给人们生活、工作带来安全与便利,防窥新技术的开发及产品的升级也尤为迫切。

参考文献:

- [1]马新利,黄子强. FFS 宽视角技术的发展[J].光电子技术. 2006. 19(1):8-13.
- [2]车春城.广视角 FFS 技术 CELL 研究与设计[D].成都:电子科技大学. 2007.
- [3] Binglin Su,Kang Wang,et al.A Wide-view Angle Design for Vehicle Display Interface with Improving Performance [C]. IDW. 2017:278-281.
- [4]Michael, G, Robinson, et al. Switchable Privacy Display Design and Optimisation[J]. Sid International Symposium Digest of Technology Papers, 2018.
- [5]Graham, J, Woodgate,et al. Intelligent Backlight Technology Developments for Uniformity, Privacy & 3D operation[J]. Sid International Symposium Digest of Technology Papers, 2015.
- [6]陈寅伟, 闫桂新, 楚明磊,等. 基于双层屏幕的防窥可切换显示技术[J]. 液晶与显示, 2019, 34(12):1155-1160.
- [7]朱梦青, FFS 模式液晶显示的宽窄视角切换技术研究[D].上海交通大学, 2018.
- [8] Kim M S, Lim Y J, Yoon S K, et al. A controllable viewing angle LCD with an optically isotropic liquid crystal[J]. J.Phys. D: Appl. Phys., 2010, 43(14): 1-6.

ADS 显示的本征模式对色偏影响分析

季林涛*, 王菲菲, 王凯旋, 占红明, 陈希

(北京京东方显示技术有限公司, 北京, 100176, jilintao@boe.com.cn)

摘要: ADS 显示的本征模式 (O mode 或者 E mode) 对面板的色偏存在影响, 但未有从偏振态的角度深入研究不同本征模式对色偏影响的机理。本文通过邦加球模拟, 研究了不同本征模式斜视角下偏振态的变化, 分析了偏振态的变化量和色偏的关系。研究表明, 斜视角下不同本征模式偏振态的变化量越小, 同等条件下斜视角下色偏越好。与实际情况相符; 同时, 我们也依此提出了一种新的利用偏振态的变化初步预估色偏的方法。

关键字: 色偏, 偏振态, 本征模式

Analysis of the influence of intrinsic mode of ADS display on color shift

Ji Lintao, WANG Feifei, WANG Kaixuan, ZHAN Hongming, CHEN Xi

(Beijing BOE Display Technology Co.,Ltd, Beijing, 100176, CHN, jilintao@boe.com.cn)

Abstract: The intrinsic modes (O mode or E mode) of ADS display has an impact on the color shift of the panel, but there is no in-depth study of the mechanism of the influence of different intrinsic modes on the color shift from the angle of polarization. In this paper, through Poincare sphere simulation, the polarization state changes under different intrinsic modes oblique viewing angles are studied, and the relationship between the polarization state change and the color shift is analyzed. Studies have shown that the smaller the change in the polarization state of different intrinsic modes under the oblique viewing angle, the better the color shift under the oblique viewing angle under the same conditions. It is consistent with the actual situation; in addition, we also propose a new method for preliminary estimation of color shift based on the change of polarization state.

Keywords: color shift, polarization, intrinsic mode

1. 引言

ADS (Advanced Supper Dimension Switch) 以其视角宽, CR 较高等优势成为当前市场显示模式的主流之一^[1-4]。近年来, 消费市场对面板的要求已经不仅仅满足于视角和 CR, 对于面板的色偏也提出了越来越高的要求。对于 ADS 面板的偏光片, 存在两种本征模式, 一般定义偏振光入射方向与下层液晶轴向平行时为 E-mode (extraordinary-ray mode), 垂直为 O-mode (ordinary-ray mode)^[5]。有研究表明, 偏光片的本征模式 (O mode 或 E mode) 能够影响 ADS 模式的色偏^[6-7], 但未有从偏振态角度深入研究不同本征模式对色偏影响的机理。

本文通过邦加球模拟, 研究了 ADS 面板不同本征模式下, 斜视角经过下 POL 和 LC 的光的偏振态随视角的变化量, 并分析了偏振态的变化量和色偏的关系。同时, 我们提出了一种新的通过不同视角偏振态变化的大小初步判断色偏好或者差的方法。

2. ADS 模式斜入射偏振态变化

为分析不同视角偏振态的变化, 采用邦加球模拟, 选取方位角 45/135° (135/225°和 45/135°相当, 故在此不做讨论), 极化角 0/40/80°, 经过下 POL 和 LC 后 RGB 光的偏振态分布, 取 S_1S_3 平面分析, 每种光的三个点分别代表极化角 0/40/80°时在邦加球上的点在 S_1S_3 平面上的投影)。模拟结果如图 1 所示, 其中紫色

圆圈为 O mode 条件下偏振态随视角变化范围，青色圆圈为 E mode 条件下偏振态随视角变化范围，从图中可以看出，O/E mode 的差异导致光线经过下 POL 和 LC 后的偏振态存在差异，并且 O mode L0 状态下偏振态随视角变化量小，E mode L255 状态下偏振态随视角变化量小。

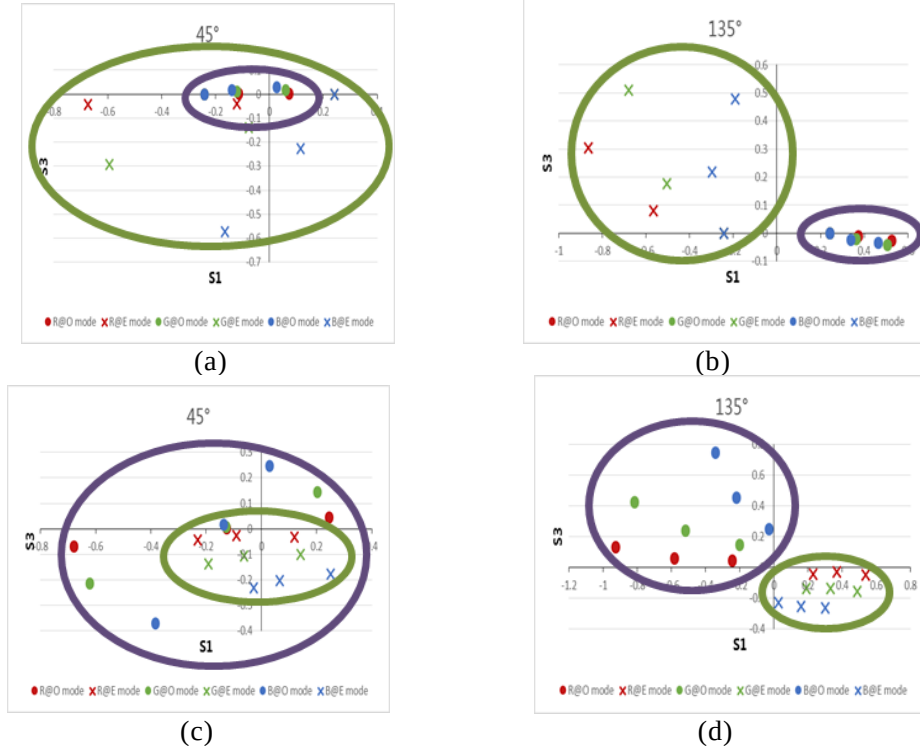


图 1：不同视角下 RGB 光在邦加球上的位置分布
(a)(b)为 L0 状态；(c)(d)为 L255 状态

Figure 1: The position distribution of RGB light on the Poincare Sphere at different view angles

(a)(b)@L0; (c)(d)@L255

3. 偏振态变化量对光强及色偏影响

分析任意拥有倾斜角 β 和椭圆度 ϵ 的偏振光（如图 2，线偏光为 E_x 或 $E_y=0$ 的特殊情况），其可以分解为两个相互垂直的光波分量 E_x 和 E_y ，振幅分别为 a 和 b ，则此偏振光经过上 POL 透过轴的光强 I ，为 E_x 和 E_y 在 POL 透过轴上的投影 x 和 y 之和。理论上 O/E mode 差异不影响经过 LC 后的光强，只改变偏振态，因此令经过 LC 后光强为 1 ($a^2+b^2=1$) 则经过上 POL 后出射光强为

$$I = a^2 \sin^2 \beta + b^2 \cos^2 \beta = \frac{1}{1+\epsilon^2} \sin^2 \beta + \frac{\epsilon^2}{1+\epsilon^2} \cos^2 \beta \quad (1)$$

其中，椭圆率 $\epsilon=b/a$

由 (1) 可知，偏振光变化越小 ($\Delta\beta \rightarrow 0, \Delta\epsilon \rightarrow 0$)，光强变化越小 ($\Delta I \rightarrow 0$)

对于不同视角，RGB 光强的变化 (R/G/B 的变化) 导致三色光混合后色坐标及光强的变化 (色坐标计算方法如式 (2))，进而导致了色偏，若 $\Delta R \& \Delta G \& \Delta B \rightarrow 0$, $\Delta r \& \Delta g \& \Delta b \rightarrow 0$ ，体现在色度图 (r, g) 上则色坐标偏移量 $\rightarrow 0$

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad (2)$$

$$g = \frac{G}{R+G+B}$$

$$b = \frac{B}{R+G+B} = 1 - r - g$$

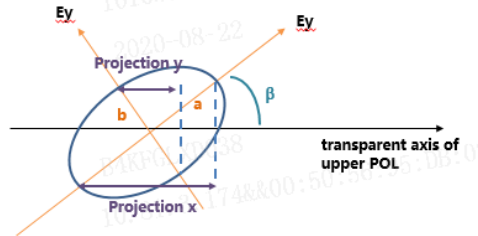


图 2：偏振光经过上 POL 示意图

Figure 2: Schematic diagram of polarized light passing through the upper POL

因此，由于 O mode L0 状态偏振态随视角变化小，E mode L255 状态偏振态随视角变化小，推断实际 O mode L0 状态色偏好，E mode L255 状态色偏好；

4. 实测结果对比

目前业界 mobile 产品客户多关注 L255 状态的色偏；TV 客户多关注 L0 的色偏。业内判断色偏的基准，有目视和测试 $\Delta u'v'$ 两种。O/E mode 目视效果如图 2 所示，对于 L255 状态@mobile，O mode 斜视角发蓝紫更明显，色偏较差，E mode 色偏更好；对于 L0 状态@TV，E mode 斜视角发黄更明显，色偏较差；O mode 色偏更好，与前文结论一致。 $\Delta u'v'$ 测试结果如图 3 所示，测试结果显示，L255 状态下，O mode 小于 E mode；L0 状态下，E mode 小于 O mode

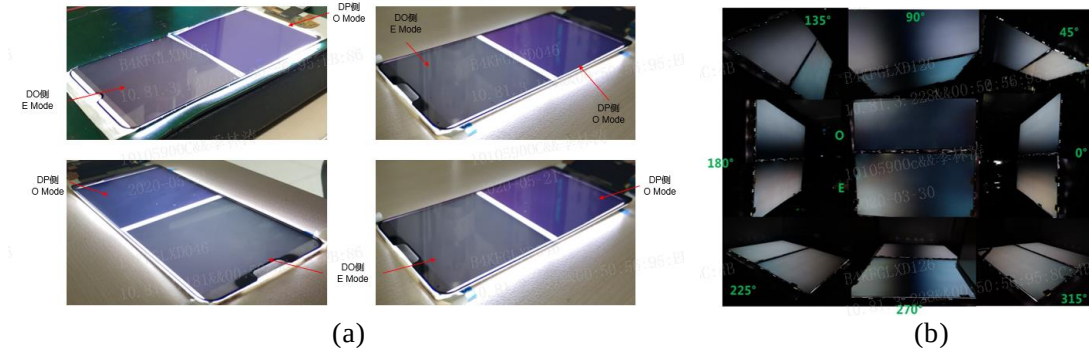


图 2：O/E mode 色偏对比图

(a) 为 mobile@L255；(b) 为 TV@L0^[8]

Figure 2: O/E mode color shift comparison chart

(a): mobile@L255；(b): TV@L0

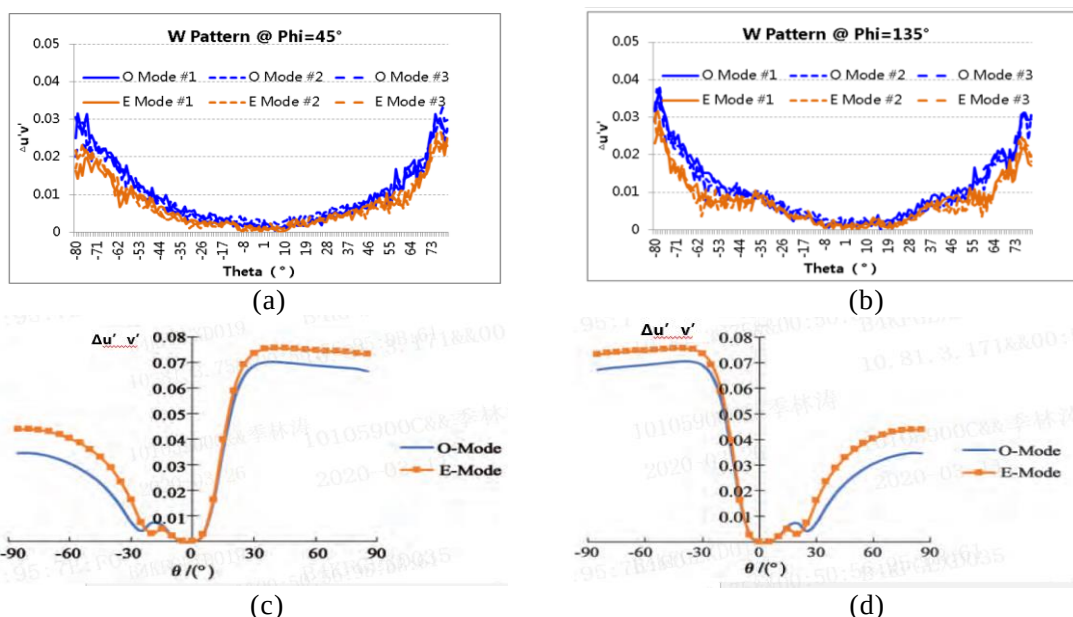


图 3: O/E mode $\Delta u'v'$ 对比图

(a) (b) 为 mobile@L255; (c)(d) 为 TV@L0

Figure 3: O/E mode $\Delta u'v'$ comparison chart

(a)(b): mobile@L255; (c)(d): TV@L0

5. 结论

本文通过邦加球模拟,研究了 ADS 面板不同本征模式下,斜视角经过下 POL 和 LC 的光的偏振态随视角的变化量,研究表明,不同本征模式偏振态随视角变化量存在差异,且 L0 状态下 O mode 偏振态变化量小, L255 状态下 E mode 偏振态变化量小;文章分析了偏振态随视角的变化量与色偏的关系,理论分析可得偏振态随视角的变化量越小,则同等条件下色偏越好;亦即 L0 状态下 O mode 好于 E mode, L255 状态下 E mode 好于 O mode;通过实际 L0 和 L255 状态下的不同本征模式贴 POL 确认,理论与实际相符,同时,我们依此提出了一种新的通过不同视角偏振态变化的大小初步判断色偏好或者差的方法。

参考文献:

- [1]邵喜斌,吴声,郭建新.负性双折射膜补偿的扭曲向列液晶显示器的视角[J]. 液晶与显示, 1996, 000(003):165.
- [2]Takeda A , Kataoka S ,Sasaki T , et al. A Super-High Image Quality MVA-LCD by New Rubbing-Less Technology[J]. Ieice Technical Report Electronic Information Displays, 1998, 29(1):1077-1080
- [3] Lu R , Wu S T , Lee S H . Reducing the color shift of a multidomain vertical alignment liquid crystal display using dual threshold voltages[J]. Applied Physics Letters, 2008, 92(5):051114-051114-3.
- [4]罗粟, 詹长安. CRT 与 LCD 技术的视觉刺激显示性能评价[J]. 液晶与显示, 2017(11):91-99.
- [5] Takano H , Suzuki S , Hatoh H . Cell design of gray-scale thin-film-transistor-driven liquid crystal displays.[J]. Ibm Journal of Research & Development, 2010, 36(1):23-42.
- [6]Kim T H , Kim B S , Park W S . Optical Compensation of IPS-LCD for Symmetric-High-Contrast at Off-Axis Oblique View[J]. 2016,29(3):175:180

- [7]马红梅, 孙玉宝. 蓝相液晶的旋光特性与消除[J]. 液晶与显示, 2018, 33(002):101-108.
- [8]宋聪, 林丽锋, 宋文亮, et al. ADS 类面板色偏关键影响因素[J]. 液晶与显示, 2019, 034(004):361-365.

一种改善反射式 LCD 反射率的方法

马新利*, 赵伟, 钟璇, 王菲菲, 王凯旋, 占红明, 陈希, 薛海林, 邵喜斌

(京东方科技集团股份有限公司, 北京, 100176, maxinli@boe.com.cn)

摘要: 反射式 LCD 由于功耗低、对人眼伤害小等特点, 近来受到人们更多的关注, 反射率是反射式 LCD 的一个重要技术指标。通过对比模拟和测试结果我们找到了一种可以模拟反射式 LCD 反射率的方法。利用反射率的光学模拟方法可以方便地对 MRS 的结构和排布进行优化设计并通过优化得到了最佳的 MRS 设计方案。该方案可以使反射式 LCD 获得更高的反射率。

关键字: 反射式 LCD, 反射率, MRS 形貌

A Method to Improve Reflectivity of Reflective LCD

MA Xinli, ZHAO Wei, ZHONG Xuan, WANG Feifei, WANG Kaixuan, ZHAN Hongming, CHEN Xi, XUE Hailin, SHAO Xibin

(BOE Technology Group Co., Ltd., Beijing, 100176, maxinli@boe.com.cn)

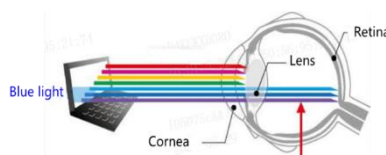
Abstract: Reflective LCDs have received more and more attention recently due to their low power consumption and more eye-friendly features. Reflectivity is an important technical indicator of reflective LCD. Through the comparison of the measurement results and the simulation results of the reflectivity, we have found an optical simulation method which can be applied to the reflectivity simulation of reflective LCD. The design of MRS can be optimized conveniently by the simulation method, and the best MRS design parameters were obtained. The optimized design of MRS may cause the RLCD high reflectivity.

Keywords: Reflective LCD, Reflectivity, MRS Morphology

1. 介绍

透射式 LCD 高亮背光中的蓝光具有极高的能量, 能够穿透眼睛的晶状体直达视网膜, 尤其儿童的晶状体清澈透明, 更容易对视网膜造成伤害, 时间长了甚至会导致黄斑病、白内障等, 如图一所示。由于蓝光的波长短, 聚焦点并不是落在视网膜中心位置, 而是离视网膜更靠前一点的位置。要想看清楚, 眼球会长时间处于紧张状态, 容易引起视疲劳。长时间的视觉疲劳, 可能引起近视、复视、注意力无法集中等症状。透射式 LCD 具有的高功耗的缺点不利于在便携式电子产品中的应用。

近年来由于反射式显示用环境光做光源, 人眼观看不存在不舒适的感觉, 且功耗低, 因此反射式显示在电子纸、电子标牌、电子书、智能手表等产品中的应用逐渐引起了业界的极大兴趣, 目前主流的反射式显示是反射式 LCD 和电泳显示^[1]。电泳显示很难实现彩色显示和动态画面, 反射式 LCD 可以比较容易的实现这些功能^[2]。

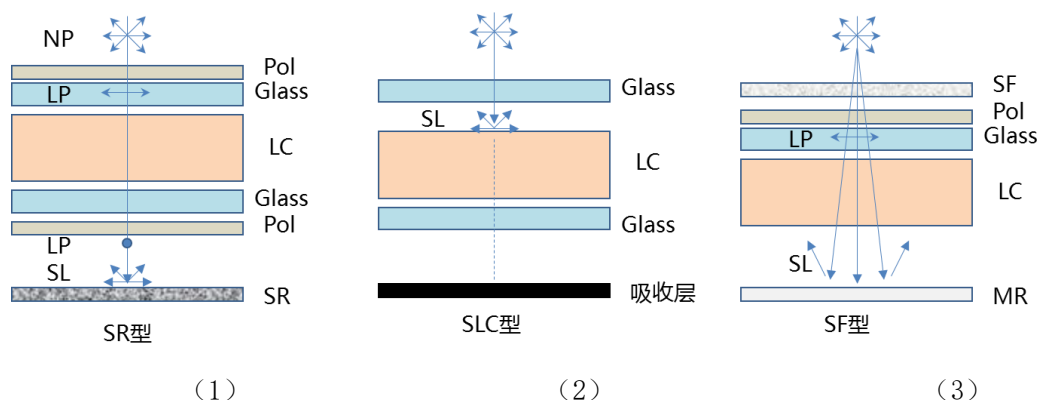


图一 蓝光穿透人眼晶状体抵达视网膜

Figure 1. Blue light penetrates the lens of the human eyes and reaches the retina

反射型 LCD 利用外部光做光源，为了增大其视角便于观察者看到显示图像，需要把点光源转化为面光源，把点光源转化为面光源的实现方法主要有三种：1. 在液晶面板的背后设置漫反射板（SR 型）；2. 对液晶本身赋予散射特性的方法（SLC 型）；3. 在液晶入射面上设置散射膜的方法（SF 型）^[3]。如图二所示。

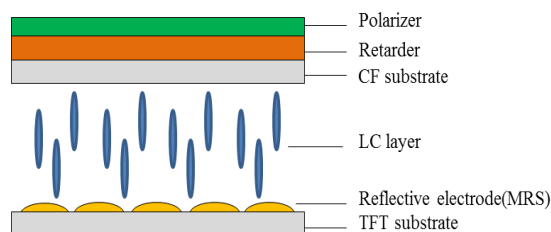
SR 型目前常用的实现方法是在 TFT 玻璃基板上制作凹凸的微反射结构（MRS）来实现对光源的发散^[4]。反射率是反射式 LCD 的一个重要的技术指标，对于 SR 型反射式 LCD 其正方向的反射率大小跟 MRS 的形貌有



图二. (a) SR型反射式LCD; (b)SLC型反射式LCD; (c) SF型反射式LCD

Figure 2. (a) SR type of RLCD; (b) SLC type of RLCD; (c) SF type of RLCD.

关，为了能够预判所设计的使用 MRS 的反射式 LCD 的反射率，我们利用光学模拟软件对其反射率进行了光学模拟，本文主要给出了使用 MRS 的反射式 LCD 反射率的模拟方法，基于模拟结果对 MRS 的设计进行了相应的优化。



图三 反射式 LCD 的结构

Figure 3. The structure of reflective LCD.

2. 模组结构

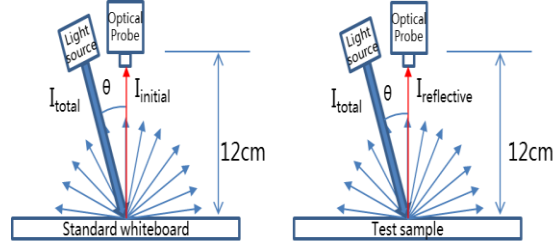
我们制作的 SR 型反射式 LCD，其结构如图二所示，液晶的显示模式采用了 MTN 模式，上下基板取向层的摩擦方向成 70 度夹角，液晶的 TFT 基板上利用树脂制作了凹凸形状的微结构，在其上面蒸镀一层 AL 或 Ag 作为反射电极，这样就完成了 MRS 的制作。由于反射电极的凹凸形貌，它发散照射到 TFT 基板上的环境光来为 LCD 面板显示提供光源，发散的光线反射到人眼当中，使人看到显示画面。

反射式 LCD 正视角的反射率跟反射式 LCD 各层的膜材有关，特别是反射电极的材料和 MRS 的设计有关系。若反射式 LCD 的 TFT 基板 MRS 的反射率高时，相应的反射式 LCD 模组的反射率也会比较高，为了提高反射式 LCD 正视角的反射率，需要对 MRS 的形貌进行优化设计。

针对这个特点我们利用 Light tools 对 TFT 基板反射层的反射率进行了模拟，基于 TFT 基板的反射率模拟结果来判断反射式 LCD 模组反射率的大小变化趋势

3. 建模:

1) 反射率测试方法:



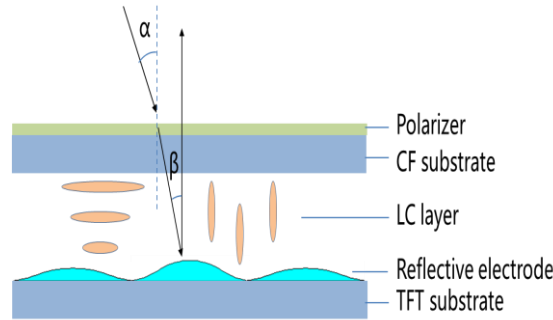
图四 反射式 LCD 模组的测试装置

Figure 4. Test equipment for reflectivity of Reflective LCD module.

反射式 LCD 模组反射率的测试装置如图四所示, 包括准直光源、测试探头、标准白板和样品。其中光源的入射角 θ 为 30 度, 样品的反射率可以利用测试样品和标准白板光强的比值来计算得出, 如式 (1), 其中 $R_{\text{prototype}}$ 为所测样品的反射率, R_s 为标准白板的反射率, 其大小为 98%。考虑到玻璃基板、偏光片、液晶等膜材的折射率不同于空气, 当入射的光线, 到达 TFT 基板上时, 入射角会从 30 度变为 20 度 (如图五所示), 所以我们测试 TFT 基板反射率时, 光源的入射角 θ 采用了 20 度, 如图五所示。

$$R_{\text{prototype}} = \frac{I_p}{I_s} \times R_s \quad (1)$$

按照上述方法我们测试了制作的反射式 LCD 样品的 TFT 基板反射率, 并通过对比 TFT 基板反射层的反射率的模拟结果跟实测试结果来确定我们的模拟方法是否可行;



图五 光从空气进入 LCD 时入射角的变化

Figure 5. The change of incident angle while light enter into reflective LCD from air.

根据前面 TFT 基板的测试方法, 利用 light tools 进行建模, 即光源的入射方向跟竖直方向的夹角为 20 度, 样品表面距离接收器的距离为 12cm, 光源采用平行光源, 光源为 D65 标准光源, 照射到样品上的光斑大小为 7mm*7mm, 标准白板的表面散射为朗伯散射, 样品的表面的散射为高斯散射。

样品 TFT 基板的 MRS 形貌根据样品的实际形貌建模。

4. 结果:

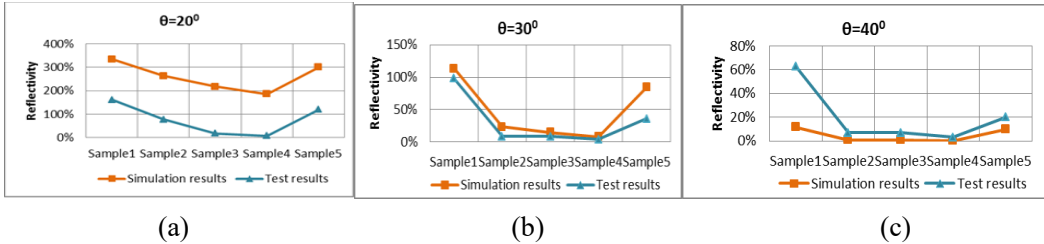
1) 模拟可行性验证:

为了验证模拟方法的可行性我们准备了五个样品, 分别对其进行测试和模拟, 从两方面对模拟和测试结果进行了对比:

保持光学探头接收角度 0 度不变, 改变光源的入射角度 θ ; 我们分别测试了光源入射角度为 20 度、30 度和 40 度情形下的五个样品的反射率, 并对相应的情形进行了建模

和模拟，结果如图六所示。

从上面的五个样品的测试和模拟的比较结果来看，利用 light tools 模拟 MRS 得到的反射率，跟样品反射率的实际测试结果的大小变化趋势相同，所以所述的模拟方法可以用来预判反射式 LCD 的反射率。



图六 在不同入射角下样品的反射率: (a) $\theta=20^\circ$; (b) $\theta=30^\circ$; (c) $\theta=40^\circ$.

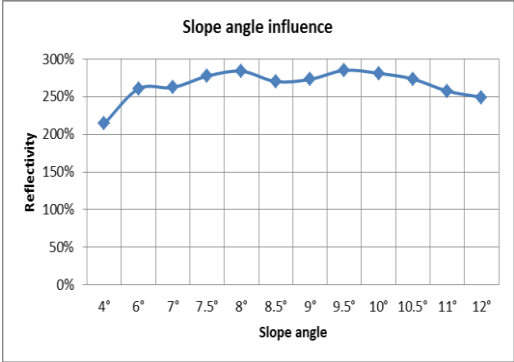
Figure 6. The reflectivity of samples under different incident angle: (a) $\theta=20^\circ$; (b) $\theta=30^\circ$; (c) $\theta=40^\circ$.

2) 优化设计:

基于上面的模拟参数设置，应用 light Tools 我们对反射式 LCD 的 MRS 的设计进行了优化:

a) MRS 的坡角影响:

MRS 的坡角定义为 MRS 中点处坡面切线跟水平线的夹角, 在 pitch 为 $18\mu\text{m}$ 、排布方式为马赛克、MRS 的半径为 $9\mu\text{m}$ ，MRS 形貌为凸起的条件下；对有不同坡角的 MRS 的 TFT 基板的反射率进行了模拟，模拟结果如图七所示，



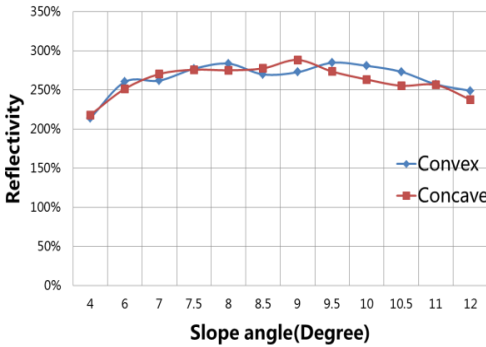
图七 坡角的优化

Figure 7. The slope angle optimization.

从模拟结果可以看出坡角为 9.5° 时的 MRS 反射率较高

b) MRS 形貌的影响:

模拟条件为 1. MRS 排布为马赛克； 2. pitch: $18\mu\text{m}$ ； 3. MRS 半径: $9\mu\text{m}$ ；在不同坡角的情形下分别对凹和凸两种形貌的反射率进行了比较。模拟结果如图八所示:



图八 反射率和 MRS 形貌的关系

Figure8. The relationship between reflectivity and morphology of MRS.

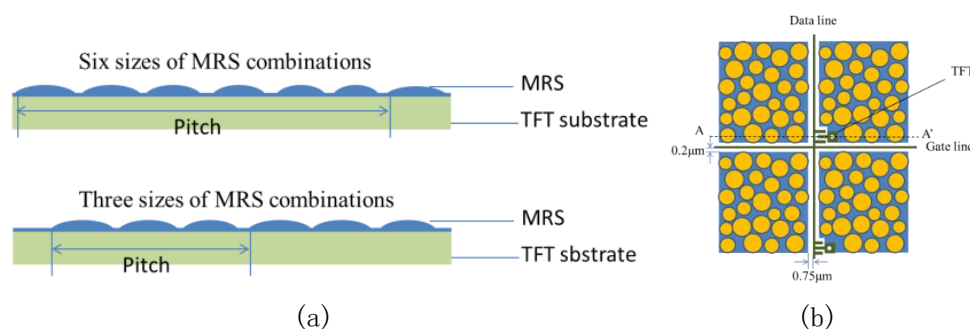
从模拟结果可以看出：1. MRS 形貌变化时，反射率也会有相应的变化；2. 凹坑和凸起对应的反射率略有差异，但无规律；3. Pitch 为 $18\mu\text{m}$ 坡角 9.5° 时，凸起的反射率略高。

c) 大小组合：大小均一，排列规则的 MRS 设计容易导致横纹不良的发生，为了克服横纹不良的发生我们采用了如图九所示的不同大小的 MRS 组合，MRS 的排列采用单个像素内无序的排列，对于 MRS 大小不同的组合造成的反射率的影响也进行了相应的模拟，模拟结果如表一所示：

表一

Item	Pitch	MRS size(μm)	Spaces between MRSs (μm)	Reflectivity	Reflectivity fluctuation
Six sizes of MRS combinations	$20\mu\text{m}$	13~18	7~2	241%	2.16%
		14~19	6~1	246%	
		15~20	5~0	251%	
Three sizes of MRS combinations	$20\mu\text{m}$	15/16/17	5/4/3	247%	2.39%
		16/17/18	4/3/2	250%	
		17/18/19	3/2/1	259%	

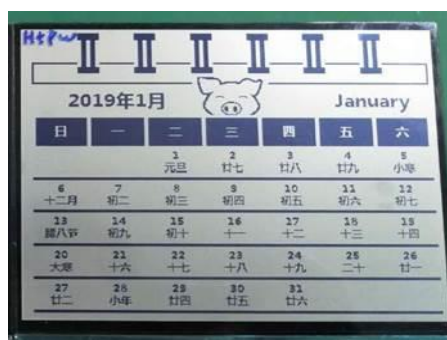
从模拟结果可以看出：6 种大小不同的 MRS 组合时，反射率的波动性比 3 种大小不同的 MRS 组合的反射率的波动性低 10%，这样制作的不同产品的反射率差异受工艺波动的影响更小。



图九 不同大小的 MRS 组合和排列

Figure 9. Combination and arrangement of different sizes of MRS.

5. 实验：



图十 2.13”反射式 LCD 样品

Figure 10. (a)The photograph of 2.13 inch prototype.

我们利用上述 MRS 的优化设计方法制作了 2.13inch 的反射式 LCD，坡角为 9.7° ，形貌为凸起，马赛克排列，pitch 为 $18\mu\text{m}$ ，图十给出了我们制作的反射式模组样品。

TFT 基板的反射率可以达到 169%，跟之前制作的样品相比反射率提高了 35%。

6. 结论：

根据反射式 LCD 的反射率随 TFT 基板反射率增大的特点，我们找到了一种模拟有 MRS 的反射式 LCD 反射率的方法，即利用 light tools 对有 MRS 的反射式 LCD 的 TFT 基板的反射率进行模拟，基于 TFT 基板反射率的变化趋势来确定反射式 LCD 的反射率变化趋势。利用此模拟方法对 MRS 的形貌进行了优化，得到了反射率最佳 MRS 设计，即 MRS 的 pitch 为 18 μm 、坡角为 9.5 度，排布方式为单个像素内无规则排布，几种大小不同 MRS 组合且间距为 0 μm 。

参考文献：

- [1] Chien-Hua Chen et al., “Colorful Active-Matrix Reflective Display by Using Proprietary Surface Anchoring Liquid Crystal and High Performance Front-Light Module,” SID’18 DIGEST, 48.4, p.637-639(2018)
- [2] Hiroyuki Hakoi et al., “High-Performance and Low-Power Full Color Reflective LCD for New Applications,” SID’19 DIGEST, 20.4, p.279-282(2019)
- [3] T.Uchida, “Reflective LCDs for Low-Power Systems,” SID’1996 DIGEST, 5.1, p.31-34(1996)
- [4] kälil käläntär, “Front lighting Reflective Display and Enhancing Image using Optical Noise Filtering-Multilayer LGP,” SID’15 DIGEST, 32.4, p.472-475(2015)

a-Si: H TFT 阈值电压漂移改善及其机理

郭瑞花, 洪永泰, 林鸿涛, 王琳琳, 韩皓, 王丹, 陈希

(北京京东方显示技术有限公司, 北京, 100176, guoruihua@boe.com.cn)

摘要: 本文系统研究了 a-Si: H TFT 在长时间栅极偏压下阈值电压发生漂移的改善措施, 并分析其机理。通过降低 GI(GH)的成膜功率, 形成富氮薄膜 G-SiN_x:H ($x > 1.33$), 导致 SiN_x 带隙增加, 薄膜缺陷态密度减小, 栅极偏压下 G-SiN 俘获的前沟道电子减少, 需要较小的栅极电压来补偿这些被俘获的电子, 导致需要较小的栅极电压实现器件的开启状态, V_{th} Shift 减小; 同时进行 N+a-Si 三层沉积, 用以弥补 GH 膜层致密化带来的 Ion 下降。该方法可有效改善长时间栅偏压下阈值电压漂移, 进而改善低温启动不良。

关键字: 阈值电压, 栅极绝缘层, a-Si

The improvement and mechanisms for a-Si : H-TFT Threshold Voltage Shift

GUO Ruihua, HONG Yongtai, LIN Hongtao, WANG Linlin, HAN Hao, WANG Dan, CHEN Xi

(Beijing BOE Display Technology Co.Ltd., Beijing, 100176, CHN, guoruihua@boe.com.cn)

Abstract: In this paper, the improvement measures of threshold voltage drift of a-Si: H TFT under long time gate bias voltage are systematically studied, and its mechanism is analyzed. By reducing the deposition power of GI (GH), the nitrogen rich film of SiN_x:H ($x > 1.33$) was formed, which leads to the increase of SiN_x band gap and then the decrease of defect density of States, In the case of gate bias, the front channel electrons captured by G-SiN are reduced, and a smaller gate voltage is needed to compensate for these trapped electrons, resulting in the decrease of V_{th} shift; At the same time, N + a-Si with three-layer can compensate for the ion drop caused by the densification of GH film. This method can effectively improve the threshold voltage drift of a-Si: H TFT under long time gate bias, and then improve the bad results of TFT at low temperature start-up after HTO.

Keywords: Threshold Voltage Shift, Gate insulator, a-Si

1、引言

非晶硅薄膜晶体管液晶显示器 (a-Si TFT LCD) 以其大容量、高清晰度和高品质全彩色视频显示, 在显示技术领域得到广泛应用; a-Si TFT 作为阵列的开关元件, 其良好的性能对 LCD 的显示质量具有至关重要的作用^[1]。TFT 开关关键特性参数包括开态电流 I_{on} 、漏电流 I_{off} 、阈值电压 V_{th} 等。其中, 长时间栅偏压下阈值电压会发生漂移是 a-Si : H-TFT 一个最重要的不稳定性因素^[2], 例如 HTO (High temperature test) 1000hr 测试后投入-20℃发生低温启动不良。

2、实验

本实验采用四种不同条件的 GI 和 N+ a-Si 制作阵列基板, 用应用材料公司 (AKT) PECVD 沉积非金属膜层。确定 MP 条件获得样品 Ref., 该条件下 a-Si TFT 在长时间栅偏压

下阈值电压会发生大的漂移，HTO 1000hr 测试后投入-20℃会发生低温启动不良；在 Ref. 条件的基础上，将栅极绝缘层 FGI (高速沉积的栅极绝缘层：GH) 的沉积功率由 22.7KW 降低为 16KW，即 Split1，获得 FGI 致密化样品 S1；在 Split1 的基础上，将 N+a-Si 由一层沉积增加为三层沉积，即 Split2，获得 FGI 致密化和 N+ a-Si 三层样品 S2；在 Split2 的基础上，将有源层 Multi(GH)的沉积功率由 22.7KW 降低为 18KW，即 Split3，获得 FGI&Mutil(GH) 致密化和 N+ a-Si 三层样品 S3。具体实验条件见表 1。随后对四种样品进行如下测试：P-BTPS (Bias Thermal Photo Stress) (Gate+27V, 5000nit, 50℃, 15hr)、Ion (Vg=15V) 和 HTO 1000hr 后的低温启动测试。

Split		Ref.	Split 1	Split 2	Split 3
FGI (GH)	Power	22.7KW	16KW	16KW	16KW
	Thickness	2500Å	2500Å	2500Å	2500Å
	Gas	MP	MP	MP	MP
Multi (GH)	Power	22.7KW	22.7KW	22.7KW	18KW
	Thickness	1000Å	1000Å	1000Å	1000Å
	Gas	MP	MP	MP	MP
Multi (GL)	Gas	MP	MP	MP	MP
N+a-Si		1 layer	1 layer	3 layers	3 layers

表 1 样品的不同实验条件

Table.1 Different experimental conditions of samples

3、结果与讨论

分别取样品 Ref.、S1、S2、S3 进行 P-BTPS (Gate+27V, 5000nit, 50℃, 15hr) 测试，获得四种样品在栅极偏压下随时间的 Vth Shift 曲线图。

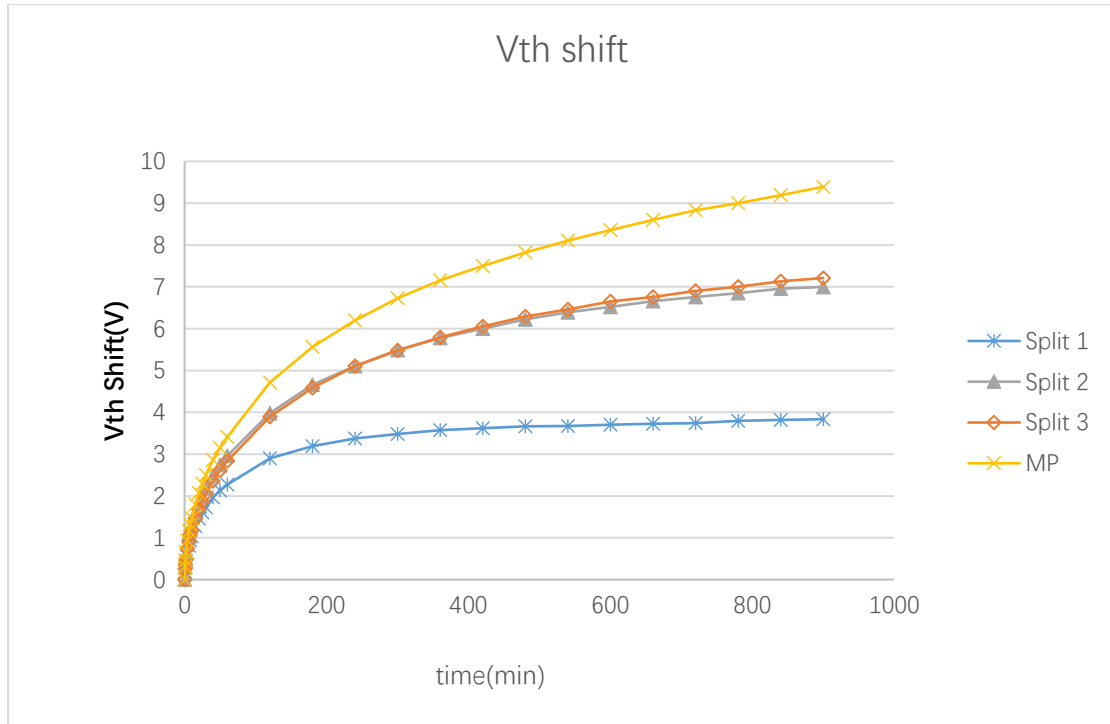


图 1. P-BTPS 后不同样品发生 Vth Shift 随时间变化的曲线图

Fig.1. Vth shift curves of different samples after P-BTPS

图 1 是 P-BTPS 后不同样品的 Vth Shift 曲线图。GI 致密化样品 S1、S2、S3 的 Vth shift 为 3.8V、6.2V、3.4V，均小于 Ref.样品的 Vth shift 9.4V，且 FGI 致密化样品 S1 Vth shift 在~6hr 达到饱和，而 Ref.样品的 Vth shift 饱和时间大于 15hr。因此，降低 GI(GH)的成膜功率，可提高 GI 致密性，进而有效减小 Vth shift。这是因为 P-BTPS 测试时，前沟道电子被 G-SiN 陷阱俘获，需要部分的栅极电压来补偿这些被俘获的电子，导致需要更大的栅极电压才能实现器件的开启状态，Vth 正向漂移^[3-4]。因此降低 GI (GH) 的成膜功率，富氮薄膜 G-SiNx:H ($x > 1.33$)，SiNx 带隙增加，薄膜缺陷态密度降低，栅极偏压下 G-SiN 俘获的前沟道电子减少，需要较小的栅极电压来补偿这些被俘获的电子，导致需要较小的栅极电压实现器件的开启状态，Vth Shift 减小。

Split	Ref.	Split 1	Split 2	Split 3
Ion (Å)	6.15	5.58	5.99	5.90
Ion Uniformity	90%	81%	87%	79%

表 2. P-BTPS 后不同样品的 Ion 测试值

Table.2 Ion of different samples after P-BTPS

分别取样品 Ref.、S1、S2、S3 TFT 特性测试，获得四种样品的 Ion ($V_g=15V$)，如表 2，为 P-BTPS 后不同样品的 Ion 测试值。表中成膜 Power 均下降的样品 S1、S2 和 S3 的 Ion 分别为 5.58A、5.99A、5.90A，均小于 Ref. 的 6.15A，可知将 GI 膜层致密化后，TFT Ion 会降低，这是因为 GH 沉积功率降低后，Si-H 键比例降低，电学性能变差^[5]。但 N+a-Si 单层成膜的样品 S1 Ion 较样品 MP 下降 9.3%； N+a-Si 三层成膜的样品 S2 和 S3

Ion 下降程度较少，下降幅度分别为 2.6%，4%。这是因为 N+a-Si 分层沉积，离子浓度梯度增加，载流子浓度的变化缓和，跨越势垒相对越容易可以降低欧姆接触电阻，Ion 提升 [6-7]。

Item	Bad results of different samples at low temperature start-up after HTO			
	1000hr	1500hr	2000hr	3000hr
Ref.	0/4	0/3	2/3	-
S1	0/4	1/3	2/2	-
S2	0/4	0/4	0/4	0/4
S3	0/4	0/4	0/4	0/4

表 3. P-BTPS 后不同样品的 HTO 后低温启动不良结果

Table.3 After P-BTPS, Bad results of different samples at low temperature start-up after HTO

每种样品选取四个小样进行 HTO，随后进行低温（-20℃）启动测试，表 3.为 P-BTPS 后不同样品的 HTO 后低温启动不良结果。样品 Ref.在 2000hr 时有两个小样出现低温启动不良，这是由于 V_{th} 漂移导致 Ion 下降引起；样品 S1 在 1500hr 有一个小样出现低温启动不良，这是由于 FGI 致密化后的 Ion 下降引起启动不良；S2 与 S3 均无低温启动不良出现，可见 S2 和 S3 的信赖性结果和 TFT Ion 特性均满足产品需求。

综上 FGI&Mutil (GH) 致密化和 N+ a-Si 三层样品 S3 的 V_{th} 为 3.4V，Ion 仅下降 4%，且 Ion Uniformity 最好，为 79%。因此选择 Split3 作为控制阈值电压漂移，进行低温启动不良的改善措施。

四、结论

通过将 GI(GH)的成膜功率由 22.7KW 降低为 16KW，Multi(GH)的成膜功率由 22.7KW 降低为 18KW，形成富氮薄膜 G-SiNx:H ($x > 1.33$)，SiNx 带隙增加，薄膜缺陷态密度减小，栅极偏压下 G-SiN 俘获的前沟道电子减少，需要较小的栅极电压来补偿这些被俘获的电子，导致需要较小的栅极电压实现器件的开启状态， V_{th} 正向漂移减少；同时进行 N+a-Si 三层沉积，用以弥补 GH 膜层致密化带来的 Ion 下降。所得样品的 V_{th} 为 3.4V，Ion 仅下降 4%，且 Ion Uniformity 达到 79%，且无低温启动不良。因此该方法可有效改善长时间栅偏压下阈值电压漂移，进而改善低温启动不良。

参考文献：

- [1] 闫方亮, 沈世妃, 侯智, 等. a-Si 厚度对 TFT 开关特性的影响[J]. 现代显示, 2011; 26 (126): 23-26
- [2] 刘金娥, 廖燕平, 荆海, 等. a-Si:H-TFT 阈值电压漂移机理及其在驱动 OLED 显示中的补偿设计[J]. 液晶与显示, 2006; 21 (5): 491-495
- [3] M.J.Powell, C.Vanberkel, I.D.French, et al. Bias Dependence of Instability Mechanisims

- in Amorphous-Silicon Thin-Film Transistors [J]. Applied Physics Letters. 1987; 51 (16):1242-1244
- [4] M.J.Powell. The Physics of Amorphous-Silicon Thin-Film Transistors [J]. IEEE Transactions on Electron Devices. 1989; 36 (12): 2753-2763
- [5] 李 婧, 张金中, 谢振宇, 等. SiN_x: H 薄膜沉积条件变更对 TFT 特性的影响[J]. 液晶与显示, 2013; 28 (4): 547-551
- [6] 刘志彪.磷酸系刻蚀液对 Cu/Mo 薄膜刻蚀性能的基础研究[D].浙江工业大学 2020
- [7] 马群刚.TFT-LCD 原比例与设计[M].北京: 电子工业出版社, 2011; 36-38

Chiral Induced Liquid Crystals

Zhikang Zhu, Miao Luo, Yuxiang Luo, and Jiangang Lu*

(National Engineering Lab for TFT-LCD materials and Technologies, and Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, P. R. China)

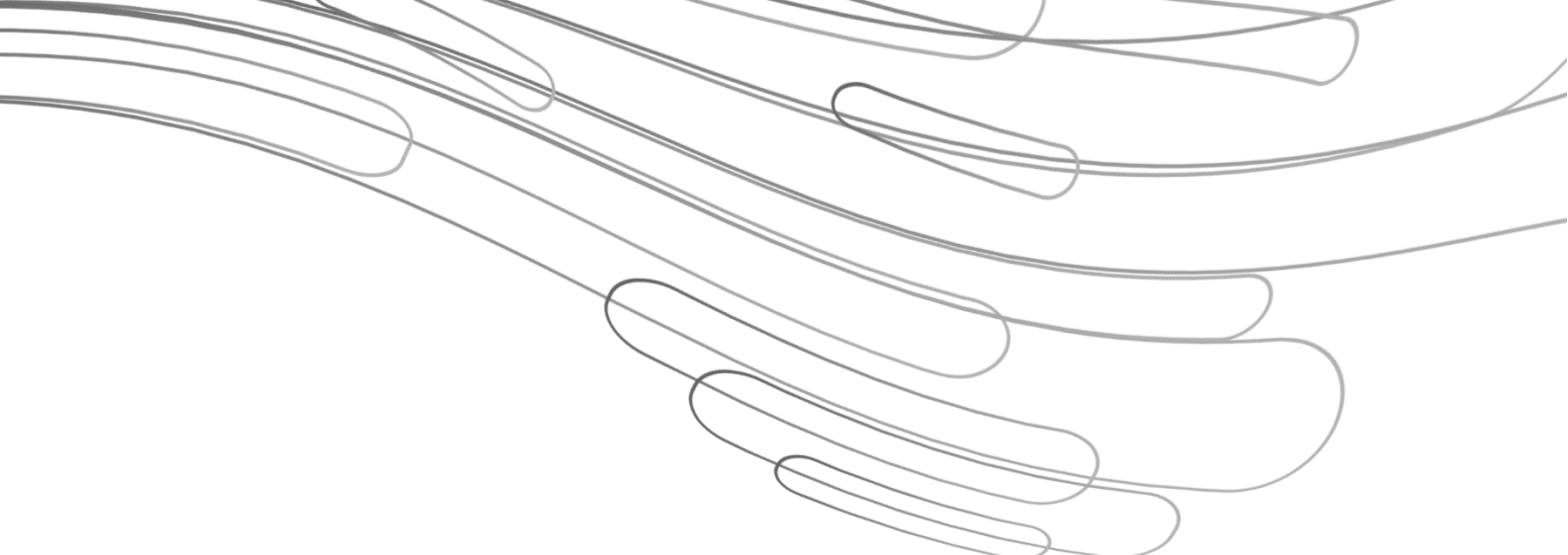
Abstract: Chiral induced liquid crystals show potential for application in photoelectric and photonic devices due to their interesting features including self-assembly structure, fast response time, and coexistence of twist structures and defects. After the temperature range of blue phase liquid crystal (BPLC) has been broaden to more than 60 °C by introduction of polymer networks into the declinations, there are several issues should be solved before the wide applications of polymer stabilized- blue phase liquid crystal (PS-BPLC): high operation voltage, hysteresis, and residual birefringence ^[1-3]. Several researches in reducing operation voltage, improving response time, and suppressing hysteresis are presented in this article which include reactive diluent doping, conductive polymer doping, and chiral polymer networks ^[4-5]. Meanwhile, a reconstruction process of both BPLC and sphere phase liquid crystal (SPLC) is discussed ^[6] and several applications of the templated BPLC and SPLC are demonstrated. ^[7-9]

Acknowledgment

This work was sponsored by National Natural Science Foundation of China under Grant 61727808 and Grant 61775135.

参考文献:

- [1] K. M. Chen, S. Gauza, H. Xianyu, and S. T. Wu, *J. Disp. Technol.*, 6(8), 318 (2010).
- [2] Y. Li, Y. Chen, J. Sun, S. T. Wu, S. H. Liu, P. J. Hsieh, K. L. Cheng, J. W. Shiu, *Appl. Phys. Lett.* 99(18), 181126 (2011).
- [3] J. Yan, S. T. Wu, *J. Disp. Technol.* 7(9), 478 (2011).
- [4] J. L. Zhu, S. B. Ni, Y. Song, E. W. Zhong, Y. J. Wang, C. P. Chen, Z. C. Ye, G. F. He, D. Q. Wu, X. L. Song, J. G. Lu, and Y. Su, *Appl. Phys. Lett.*, 101, 071104 (2013).
- [5] S. Ni, H. Li, S. Li, J. Zhu, J. Tan, X. Sun, C. Chen, G. He, D. Wu, K. Lee, C. Lo, A. Lien, J. Lu, and Y. Su, *J. of Mat. Chem. C*, 2 (9), 1730 (2014).
- [6] D.-C. Hu, W.-H. Li, X.-W. Chen, X.-L. Ma, Y.-J. Lee, and J.-G. Lu, *Jour. Soc. for Info. Disp.*, 24(10), 593 (2016).
- [7] J. Tan, Y. Song, J.-L. Zhu, S.-B. Ni, Y.-J. Wang, X.-Y. Sun, J.-G. Lu, Bo-Ru Yang, and H.-P. D. Shieh, *J. Disp. Technol.*, 10 (2), 157 (2014).
- [8] Z. Chen, D. Hu, X. Chen, D. Zeng, Y. Lee, X. Chen, and J. Lu, *Nanomaterials*, 7(11), 392 (2017)
- [9] S. Zha, H.. Zhang, C.. Sun, Y. Feng, and J. Lu, “Multi-Wavelength Filters of Templated Blue Phase Liquid Crystal,” *Crystals*, 9, 451, 2019



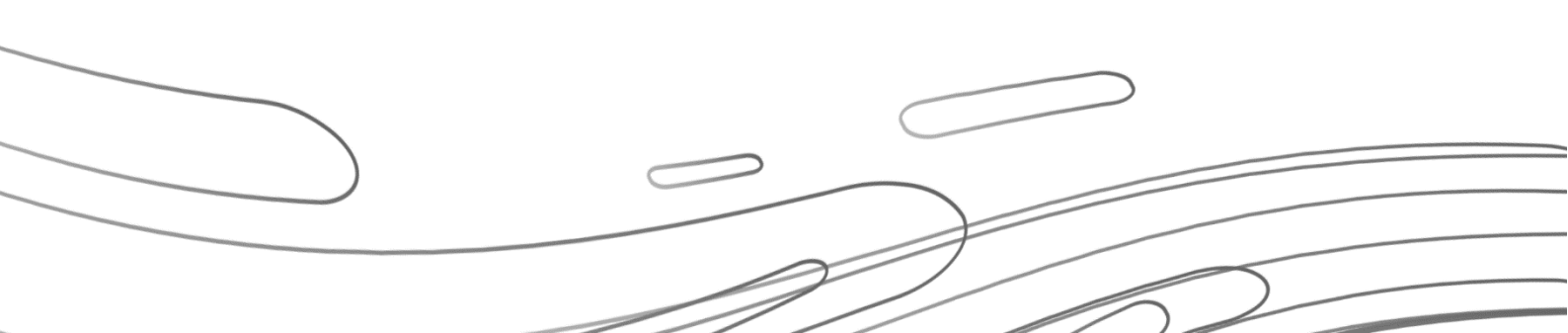
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第二章

有机发光显示 (OLED)



PII-1

有关硅基 OLED 微显示器关键电路的研究

杜国辉

(广东工业大学, 广州, 510006, 2893837963@qq.com)

摘要: 硅基有机发光二极管 (OLED) 微显示器是有机发光二极管生产到单晶硅片的全新显示技术, 具有集成化与快速响应等优势, 吸引研究者的高度兴趣。本文就硅基 OLED 微显示器关键电路分析研究, 提出 800x600 像素分辨率驱动方案, 依照陷阱电荷限制电流理论构建硅基 OLED 等效电路模型。该模型有电阻、电容与二极管, 借助 HSPICE 软件仿真。相比传统 OLED 等效电路模型, 电流误差减小 18.0%, 结果表明创建的硅基 OLED 等效电路模型和实验测量数据一致性良好, 精准体现 OLED 的 V-I 特性, 像素驱动电路仿真结果精确性得到显著提升。

关键字: 硅基 OLED 微显示器, OLED 等效电路模型, 像素驱动电路, 显示驱动系统

Research on key Circuits of Silicon Based OLED Microdisplay

DU Guohui

(Guangdong University of Technology, Guangzhou, 510006, CHN, 2893837963@qq.com)

Abstract: Silicon based organic light-emitting diode (OLED) microdisplay is a brand new display technology for production of organic light-emitting diode (OLED) into single crystal silicon chip. There are the certain advantages of integration and fast response speed, etc. So it Attracts the high interest of researchers. The key circuit of silicon based OLED microdisplay is analyzed and studied in this paper. According to the theory of trapped charge limiting current, the equivalent circuit model of silicon based OLED is constructed. In the model, there are resistance, capacitance and diode, which are simulated by HSPICE software. Compared with the traditional OLED equivalent circuit model, the current error is reduced by 18.0%. The simulation results show that the silicon based OLED equivalent circuit model and the experimental measurement data have good consistency, which can accurately reflect the V-I characteristics of OLED. And the accuracy of pixel driving circuit simulation results can be significantly improved.

Keywords: silicon based OLED microdisplay, OLED equivalent circuit model, pixel-driving circuit; display-driving system

高刷新频率 AMOLED 显示研究

朱晖、李威龙、卢慧玲、张九占、胡思明

(维信诺科技股份有限公司, 昆山, 215300, zhuhui@visionox.com)

摘要: AMOLED 显示器件在移动显示领域的应用愈加广泛。高端显示对于 AMOLED 显示器的刷新频率要求越来越高。刷新频率越高, 人眼越不容易感受到屏幕闪烁, 长时间使用 AMOLED 显示器后, 眼睛的疲劳程度降低。本文提出了高刷新频率 AMOLED 显示器实现的若干中方法, 可以将 AMOLED 显示器的刷新频率, 由目前常规的 60Hz, 提高到 120Hz 以上, 并且没有显著降低 AMOLED 显示器件其他方面的特性。

关键字: 高刷新频率, AMOLED, 显示质量

Research on high refresh rate AMOLED display

ZHU Hui, LI Weilong, LU Huiling, ZHANG Jiuzhan, HU Siming

(Visionox Technology Inc., Kunshan, 215300, CHN, zhuhui@visionox.com)

Abstract: AMOLED display devices are widely used in the mobile display. High end displays require higher and higher refresh rate for AMOLED displays. The higher the refresh rate, the less likely it is for human eyes to feel the screen flicker. After using AMOLED display for a long time, the fatigue degree of eyes will be reduced. In this paper, several methods of realizing high refresh rate AMOLED display are proposed. The refresh frequency of AMOLED display can be increased from the current conventional 60Hz to 120Hz or above, and other characteristics of AMOLED display device are not significantly reduced.

Keywords: high refresh rate, AMOLED, Display quality

PII-3

针对 AMOLED Gamma 调试时间缩减方法的研究

韩光光

(维信诺科技股份有限公司, 廊坊, 065700, hangg@visionox.com)

摘要: 随着 AMOLED 产品的逐渐成熟, AMOLED 产品的需求量逐渐增多。为了提高产品的产能, 缩减 Gamma 调试时间是至关重要的。针对现在 AMOLED Gamma 产品, 目前采用 CA410+外同步方法, EM 区间采用 INT 模式 (2 帧 1 采集), TT 时间较长, 本文提出了一种基于外部矫正 TE 模块来保证所有模组 TE 的一致性, 采用 CA410+外部 TE 校准方案, EM 区间就可以采用 Manual 模式 (1 帧 1 采集), 在保证 gamma 效果的同时大幅缩减 Gamma 调试时间的方法。较以往 CA410+TE 外同步调试方法, 可以大大缩减 Gamma 调试时间, 同时保证 Gamma 调节精度。

关键字: AMOLED, Gamma 调试时间, TE 校准模块

Research on reducing Gamma debugging time of AMOLED

HAN Guangguang

(Visionox Technology Inc., Langfang, 065700, CHN, hangg@visionox.com)

Abstract: With the gradual maturity of AMOLED products, the demand for AMOLED products is gradually increasing. In order to improve the production capacity, reducing gamma debugging time is very important. For AMOLED products, the current method of external synchronization combined with CA410 is adopted for gamma debugging, which adopts int mode for EM section (2 frames for 1 acquisition), and tact time is relatively long. In this paper, a method based on external correction TE module is proposed to ensure the TE consistency of all modules. With CA410 and external TE calibration module, manual mode (1 frame 1 acquisition) can be adopted in EM section to ensure gamma effect and greatly reduce gamma debugging time. Compared with the previous method of external synchronization combined with CA410, the gamma debugging time can be greatly reduced and the gamma adjustment accuracy can be perfectly guaranteed.

Keywords: AMOLED, Gamma Debugging Time, TE Calibration Module

PII-4

高色纯度窄谱带有机电致发光材料

王悦

(季华实验室, 佛山, 528000, yuewang@jlu.edu.cn)

摘要: 我们提出了基于前线分子轨道工程原理的窄谱带发光材料设计合成策略, 基于该策略我们可以非常有效地赋予具有共振结构、窄谱带发光特性的发光分子扭曲电荷转移激发态结构特征; 基于该思路可以设计合成出发射波长处于绿光及红光区域的窄谱带发光材料。

关键字: 热活化延迟荧光, 窄谱带发光

Narrowband electroluminescent materials with high color purity

WANG Yue

(Ji Hua Laboratory, Foshan, 528000, CHN, yuewang@jlu.edu.cn)

Abstract: In this contribution, we proposed a unique molecular design idea of frontier molecular orbital engineering (FMOE) for constructing highly efficient TADF emitters with narrow luminescent spectrum profile, which can be employed to develop high performance EL material with high color purity. By precisely introducing an auxiliary donor group to the HOMO distributed carbon atom of a MR skeleton, the resulted molecule was endowed with twisted D–A structure. Therefore, we demonstrated a unique way for constructing molecular architecture with both of D–A and MR characteristics. The perfect combination between twisted D–A structure and MR skeleton provide an efficient methodology to develop TADF materials with emission maxima at longer wavelength region and narrowband feature.

Keywords: TADF, Narrowband Emission

OLED 电视防残影的方法 付华东

(深圳创维-RGB 电子有限公司, 深圳, 518000, fuhudong@skyworth.com)

摘要: OLED (Organic Light Emitting Display) 显示技术具有自发光特性, 当有电流通过时, 这些有机材料就会发光。OLED 的对比度更高、视角也更广。目前 OLED 显示屏已在电视、手机等显示设备当中得到了广泛的应用。但是 OLED 显示屏也有它自身的缺陷, 当较长时间停留在静止画面或不完全静止画面时将会产生残影。本文从 OLED 电视的各种应用场景出发, 通过一系列的防残影技术进行处理, 解决了 OLED 电视“烧屏”的问题, 提高了 OLED 屏体的使用寿命, 具有广泛的应用价值。

关键字: OLED, 残影, 烧屏

The method of preventing the shadow of OLED TV

FU Huadong

(Shenzhen SKYWORTH, Shenzhen, 518000, CHN, fuhudong@skyworth.com)

Abstract: OLED (organic light emitting display) display technology has the characteristics of self luminescence. When there is an electric current passing through, these organic materials will emit light. OLED has higher contrast and wider perspective. At present, OLED display has been widely used in TV, mobile phone and other display devices. However, OLED display also has its own defects, when it stays in the still picture or incomplete static picture for a long time, it will produce residual image. Starting from various application scenarios of OLED TV, this paper solves the problem of "screen burning" of OLED TV through a series of anti shadowing technology, which improves the service life of OLED screen, and has wide application value.

Keywords: OLED, Shadow, Burning screen

一、引言

OLED (Organic Light-Emitting Diode, 有机发光二极管) 电视是一种不需要背光源的有机自发光电视, 与普通 LED 电视相比, OLED 电视具有高对比度、高动态响应时间、播放运动画面不拖尾、极致轻薄等优势。但是 OLED 电视也有它自身的缺陷, 由于它是每个像素自由发光, 当较长时间停留在静止画面或不完全静止画面时将会产生残影, 俗称烧屏, 这种残影现象如果严重将是不可逆的, 屏端将无法通过补偿进行修复。

本文针对各种场景采用了不同的解决方案, 能够有效地降低 OLED 屏体发生残影的故障率, 在保证用户正常使用 OLED 屏体的同时, 延长 OLED 屏体的使用寿命。有助于 OLED 电视的推广使用, 具有广泛的应用价值。

二、屏保规划及显示策略

1、针对 OLED 电视机, 不使用运营后台推送的广告屏保, 而是预先存储特定的屏保动画。由于像素点发光亮度较高时更容易出现残影, 使用特定屏保动画为黑色背景, 使得屏保的大部分画面的像素点亮度非常低, 尽量减少了残影出现的概率, 也大大降低了 OLED 屏的显示压力。当 OLED 电视没有联网时, 屏保为黑色背景和动态 OLED 字样; 当 OLED 电视联网时, 屏保为黑色背景和动态时钟字样。

2、OLED 电视机取消掉屏保时间设置入口, 统一将默认时间设置为较短的预定时间, 如 1 分钟。在播放本地媒体时, 视频播放器、音乐播放器以及在线影视正常播放时, 不使用屏保, 暂停播放时则按照上述方式显示预先存储的屏保动画。播放幻灯片时无屏保, 其余情况

均按照上述方式显示预先存储的屏保动画。

三、各模块减小OLED屏体损耗措施以及显示屏保要求

1、当在播放本地媒体或者其它通道时，出现的菜单栏也是占用发光的像素点的，例如视频播放器菜单栏、音乐播放器菜单栏、图片播放器底部菜单栏等。当用户没有对其进行操作时，菜单栏所占用的像素点亮度也是一直不变的。因此需要对菜单栏进行检测，当检测到用户在 8 秒内没有对菜单栏进行操作时，则控制菜单栏消失在显示画面中。

2、用户在影视中心使用小窗口播放时，一般需要对小窗口外的显示画面进行操作，而用户不操作的时候，小窗口外的显示画面则长时间处于同一亮度，增大了 OLED 屏出现残影的概率。因此当 OLED 屏处于小窗口播放状态时，检测在 30 秒时间内用户是否进行了操作，若进行了操作动作，则保持小窗口播放状态不变；若没有进行操作动作，则将小窗口状态变为全屏播放，因为 OLED 屏在全屏播放视频时，其上的大多数像素点的亮度都是改变的，因此减少了 OLED 屏的残影出现概率。

3、预先存储频道台标模板，并在 OLED 屏上划分出台标区域。截取台标区域的显示画面并与预先存储的频道台标模板进行匹配。当台标区域的显示画面中的频道标识与频道台标模板匹配成功时，将台标区域的亮度降低至预设阈值。当电视机处于 ATV/DTV 通道时，每个频道都有特定的频道标识，而频道标识在显示画面中的图案及位置是保持不变的，因此其亮度过高的话，很容易造成台标区域所在的像素点出现残影现象。预先存储频道台标模板，并在 OLED 屏上划分出台标区域，一般为左上角区域，也有部分为右上角区域。在 OLED 屏显示画面时，截取台标区域的显示画面，并与预存的频道台标模板进行匹配，当匹配成功时，对台标区域增加半透明的遮罩，对台标区域对应的像素点的亮度进行降低。

4、检测到 OLED 电视整屏 UI 界面在预定时间内未发生改变，则每隔一预定时间（如 60 秒）循环播放预设的屏保动画。对于整屏 UI 静止画面场景，如主页、应用商城、设置、开机引导等其它 app 的非视频播放界面，若 60 秒内用户没有进行操作，则启动 OLED 智能屏保程序，根据上述方式显示对应的屏保动画。用户在观看视频时进行了暂停操作，此时用户并不会观看电视，视频处于暂停状态下，画面是静态的，若画面亮度过高，那么 OLED 屏上的像素点长时间处于高亮度状态，则会增大出现残影的概率，此时将当前画面亮度调整为原来的 50%。

5、检测 OLED 屏上的显示画面是否发生变化可通过对比画面的灰度直方图来实现。当视频画面静止时，灰度直方图各阶的值基本不变或变化很小。分析两幅画面的 32 阶直方图，当两幅画面相相似度越高时，两幅图像的灰度直方图各阶的值也越接近。另外之所以加上时间长度去限定，是因为存在一种情况，如平均亮度是 1, 2, 3, 4, 5 这种缓慢增涨，而连续两幅画面的直方图又很接近时，就不能简单的把接近当成相同。每隔三分钟做静态画面检测，如果检测到当前通道的画面和前 3 分钟的画面内容完全一样，就认为当前通道的画面为静态画面。针对静态画面场景，OLED 电视整体屏幕亮度降低 50%。

6、在动态视频下静态内容调整是对一些视频中有长时间静态画面的部分所采取的一种防烧屏措施，使用智能分层技术，能够智能区分静态的背景以及动态的主角，来调整静态背景局部亮度以及画质，从而降低烧屏概率。

7、针对一些画面波动不大的电视剧或综艺节目等动态画面，画面中只有一部分图像波动较大，但其余部分变化较小，但又不能当成静止画面来处理，长时间播放这种片源还是有很大概率产生残影。通过将 OLED 屏划分为若干小块区域，如第一区域、第二区域、第三区域等等，单独计算每个小块区域的显示画面是否出现变化。计算当前帧各个区域的第一平均亮度和上一帧每个区域的第二平均亮度之差的绝对值，其中绝对值表示的是每个区域的图像亮度变化的剧烈程度。该绝对值越大，表示图像亮度变化越大，越不容易产生残影；该绝对

值越小，表示图像亮度变化越小，越容易产生残影，因此需要对其进行亮度补偿，从而解决残影产生的可能性。若绝对值小于预设差值，则判断绝对值小于预设差值的持续时长是否对应大于或者等于预设时长（3 分钟）；若持续时长对应大于或者等于预设时长（3 分钟），则获取预设时长当前区域的平均亮度（即第一平均亮度），并判断当前区域对应的第一平均亮度是否大于预设亮度；若该区域对应的第一平均亮度大于预设亮度，则说明该区域长时间处于高亮度状态且变化很小，容易出现残影。每个区域均按照上述方式进行检测和调整。例如当第一区域符合上述条件时，则调整第一区域；当第二区域不符合上述条件时，则第二区域不进行调整。因此将第一平均亮度降低至预设亮度，实现了在 OLED 电视部分区域显示信号变化不明显时降低屏幕亮度，从而避免残影出现，进而提高了 OLED 屏体的使用寿命。

四、OLED屏体自身防残影策略

1、OLED上增加像素位移功能

根据屏体特性及能力，增加像素移动功能，让图像在一定区域内，每隔60秒移动一个像素，尽量保证每个像素点不会长时间处于同样的亮度和颜色。

2、增加ERROR/EVDD DET检测屏体的异常信号及操作策略

OLED 电视还可通过检测异常信号来保护屏体。第一：实时检测 OLED 屏是否产生 ERROR DET 信号，若检测到 ERROR DET 信号，则说明 OLED 屏有过温过流的风险，控制 OLED 屏自动关闭。当出现的次数达到预设阈值时，对 OLED 屏进行锁屏处理；第二：实时检测 OLED 屏是否产生 EVDD DET 信号，正常情况下应输出 24V 的检测信号，当电压低于 14V 时，屏体会输出低电平。当检测到 EVDD DET 信号为低电平时，控制 OLED 屏进入待机状态，再进行开机，即系统重启。

3、取消屏体HDR boost功能

取消屏体 HDR boost 功能，这是由于 HDR boost 功能打开后整个屏的亮度会很高，导致屏体寿命减小，部分图像下温度会过高，会有烧屏风险。

五、结语

从 OLED 技术诞生到现在，“烧屏”的问题一直存在，本文针对产生残影的各种场景采用了不同的解决方案，能够有效降低 OLED 屏体发生残影的故障率，在保证用户正常使用 OLED 屏体的同时，延长 OLED 屏体的使用寿命。有助于 OLED 电视的推广使用，具有广泛的应用价值。

参考文献：

- [1] 付舰航, 黄泰钧. 减少 OLED 显示面板残影的装置及方法.
- [2] 付星, 张帆. 一种消除 OLED 屏体显示残影的方法、存储介质及终端.

PII-6

OLED 中分子偶极矩对效率滚降影响的理论研究

林喜鸿^{1, (共同一作)}, 苏煜皓^{1, (共同一作)}, 肇理¹, 吴波¹, 刘飞龙^{1, *}, 邓勇², 王利², Reinder Coehoorn¹, 周国富^{1, 2}

(1. 广东省光信息材料与技术重点实验室及彩色动态电子纸显示技术研究所, 华南师范大学华南先进光电子研究院, 广东广州, 510006, feilongliu2008@gmail.com

2. 深圳市国华光电研究院, 广东深圳, 5181102)

摘要: 我们利用三维动力学蒙特卡罗 (3D KMC) 模拟研究分子偶极矩对一个高效率的典型磷光 OLED 性能的影响 (B. Sim et. al., ACS Appl. Mater. Interface 8, 33010 (2016))。该器件的电子传输层材料是 TPBi 分子, 有一个较大的偶极矩 (7 德拜)。TPBi 分子还有一个净取向, 部分分子会指向阴极。我们利用扩展包含了静电偶极矩效应的 3D KMC 模拟工具 Bumblebee 进行全器件的预测性理论模拟。我们发现分子偶极矩会显著影响器件效率滚降和激子分布剖面图的形状。当加入偶极矩时, 我们可以从理论上成功预测实验得到的电流密度-电压特性, EQE 滚降曲线和激子分布剖面图。

关键字: 有机发光二极管 OLED, 分子偶极矩, 效率滚降, 三维动力学蒙特卡罗

Theoretical study on the effect of molecular dipole moment on efficiency roll-off in OLEDs

LIN Xihong^{1, (co-1st author)}, SU Yuhao^{1, (co-1st author)}, NIAN Li¹, WU Bo¹, LIU Feilong^{1, *}, DENG Yong², WANG Li², Reinder COEHOORN¹, and ZHOU Guofu^{1, 2}

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Optical Information Materials and Technology & Institute of Electronic Paper Displays, South China Academy of Advanced Optoelectronics, South China Normal University, Guangzhou 510006, China, feilongliu2008@gmail.com

2. Academy of Shenzhen Guohua Optoelectronics, Shenzhen 518110, P. R. China)

Abstract: By utilizing three-dimensional kinetic Monte Carlo (3D KMC) simulation, we study the effect of a large (7 Debye) dipole moment of TPBi molecules (electron transport material) in an efficient prototypical phosphorescent OLED [B. Sim et. al., ACS Appl. Mater. Interface 8, 33010 (2016)]. TPBi molecules are known to have large static dipole moments with a net orientation pointing towards the cathode. We have performed full-device predictive simulation using the 3D KMC simulation tool Bumblebee including the effects of static dipole moments. Good agreement is reached between simulation and experimental results on current density-voltage characteristics, EQE roll-off curve and emission profiles. Including the TPBi dipole moment is crucial to correctly model the device performance.

Keywords: organic light-emitting diodes (OLEDs), efficiency roll-off, dipole moment, three-dimensional Kinetic Monte Carlo

一、背景介绍

近些年来, 三维动力学蒙特卡罗方法 (three-dimensional kinetic Monte Carlo, 3D KMC) 已被成功地应用于 OLED 的器件性能模拟研究。如磷光 OLED^[1, 2, 3, 4, 5] (organic light-

emitting diodes), 荧光 OLED^[6], 热致延迟荧光 OLED 和高荧光 OLED^[7]。3D-KMC 模拟为 OLED 运行提供了一个分子尺度和时间可分辨的视角。在模拟中, 系统状态随时间的演化随机地取决于每个分子是否存在不同类型的电荷和激子。因此我们可以视该模拟结果是纳米尺度上真实 OLED 性能的模拟。3D-KMC 模型考虑了分子的离散特点和分子的能量无序, 相对于传统的一维漂移-扩散连续模型, 能很好地描述电流密度和激子生成分布的不均匀性。

2013 年 Nature Materials 杂志报道了 Mesta 等人成功地在分子尺度下模拟一个多层白光 OLED 的电致发光过程, 运用蒙特卡罗法通过对器件中不同层的电荷动力学过程的模拟, 如电荷的注入和传输、激子的生成、扩散和辐射衰减等过程, 模拟得到的电流密度和激子分布剖面图与实验数据很吻合。该研究结果提供了关于辐射发光在器件何处发生和如何发生, 激子生成的分子尺度不均匀性, 效率损失过程和可能的器件降解原因等独特观点^[4]。2014 年 Eersel 应用 3D KMC 再现了典型磷光 OLED 器件的性能表现, 并研究了导致其随着电流密度的增大而出现效率滚降的原因。其研究结果表明三线态激子-极化子 (triplet-polaron quenching, TPQ) 是导致磷光 OLED 效率滚降的主要机制, 而不是我们通常所认为的主要是三线态激子-三线态激子湮灭 (triplet-triplet annihilation, TTA)^[3]。2016 年 Mesta 应用 3D KMC 模拟研究分析了一个多层混合白光 OLED (蓝色荧光发光材料、绿色和红色磷光发光材料) 随电流密度变化而变化的内量子效率 (internal quantum efficiency, IQE) 和色平衡特性, 与此同时研究了 TTA 和 TPQ 对外量子效率滚降的影响^[5]。

至今已有不少研究探讨了激子的 TTA 和 TPQ 过程对磷光 OLED 器件效率的影响^[3, 8, 9, 10]。如上所提及关于利用 3D KMC 的研究中, Eersel 和 Mesta 等人也研究了 TTA 和 TPQ 在 OLED 器件效率滚降中所起的作用^[3, 5, 11, 12]。然而尚未有关于有机小分子的静电偶极矩对 OLED 效率滚降影响的研究。在 OLED 器件中, 有机小分子的电偶极矩可能会导致电荷迁移率的降低, 并且在有净取向的情况下, 会改变有效内建电场和界面间的传输性能。且由于偶极子所产生的杂散电场, 激子更易解离。因此在本章中, 我们考虑了电荷偶极矩的影响, 利用扩展了的 3D KMC 软件工具模拟了一个典型的磷光 OLED 器件^[13]。该器件的电子传输层材料分子具有较大的静电偶极矩 (大约 7.0 德拜), 并有一个很小的但是很重要的净取向, 分子的正电部分指向阴极方向。我们分别模拟了没有考虑该材料分子的静电偶极矩和包含静电偶极矩的情况, 以此探究分子静电偶极矩的存在及其部分指向性会对 OLED 效率滚降有多大程度的影响, 以及在包括了这影响后, 3D KMC 模拟是否能提供和关于 Sim 等一系列详细实验发现所一致的器件性能描述^[14]。

二、器件结构和模型

我们运用 3D-KMC 模拟了一个典型的磷光 OLED 器件。Wang 和 Sim 等人先后已研究过该器件^[15, 16, 17]。该器件发光层 (emission layer, EML) 是黄绿发光材料 Ir(ppy)₂(acac) (bis[2-(2-pyridinyl-N)phenyl-C](acetylacetonato)-iridium(III)), 且掺杂了 CBP (4,4'-N,N'-dicarbazole-1,1'-biphenyl)。空穴传输层 (hole transport layer, HTL) 也由 CBP 构成, 这简化了器件的制作然而却能提高 20% 的 EQE^[15]; 电子传输层 (electron transport layer, ETL) 是由 TPBi 构成的。该器件的具体结构为 ITO/MoO₃ | 35 nm CBP | 15 nm CBP : 8 wt % Ir(ppy)₂(acac) | 65 nm TPBi | LiF/Al。

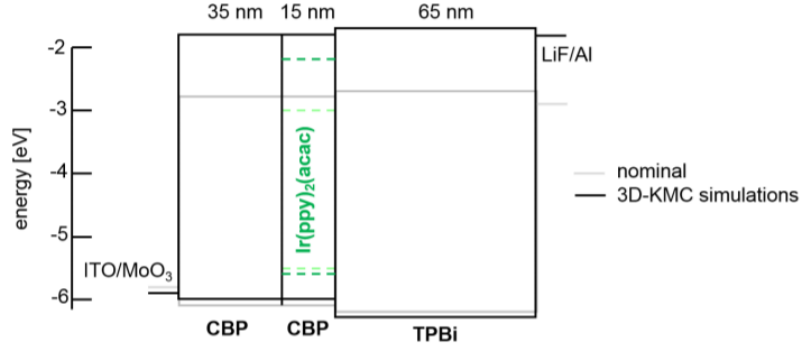


图 1 3D KMC 模拟的磷光 OLED 器件结构和能级示意图

FIG.1. Device structure and energy levels in 3D KMC simulation for a phosphorescent OLED

实验中所使用的模拟参数都是常规的模拟参数，其中格子参数 a 为 1 nm，相对介电常数 ϵ_r 为 3，波函数衰减长度 λ 为 0.3 nm，温度 T 为 300 K，三线态激子的高斯分布宽度 σ_T 为 0.05 eV，HOMO 和 LUMO 的高斯分布宽度 σ 为 0.10 eV，Förster 半径 R_F 为 3.5 nm，跃迁尝试频率 ν_0 为 $3.3 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ ，模拟的横向维度（ y 和 z ）为 50 nm×50 nm。

Table 1. List of parameters for materials used in simulation

表 1 用于 3D KMC 模拟的相关材料参数^[14]

Parameters	CBP	Ir (ppy) ₂ (acac)	TPBi
Radiative decay rate	$10^8 (0) \text{ s}^{-1}$	$0 (1136363) \text{ s}^{-1}$	$10^8 (0) \text{ s}^{-1}$
Non-radiative decay rate	$0 (10^5) \text{ s}^{-1}$	$0 (56465) \text{ s}^{-1}$	$0 (10^4) \text{ s}^{-1}$
Exciton energy E_s/E_T	3.6 eV/2.6 eV	2.9 eV/2.28 eV	3.0 eV/2.66 eV
Exciton binding energy $E_{s,b}/E_{T,b}$	0.7 eV/1.7 eV	0.5 eV/1.12 eV	1.5 eV/1.84 eV
HOMO	-1.8 eV	-2.2 eV	-1.7 eV
LUMO	-6.1 eV	-5.6 eV	-6.2 eV

三、 理论方法

在 3D KMC 中，OLED 的激子的生成和解离被模拟成特殊类型载流子的跃迁。激子的生成率由下式表示

$$\omega_{\text{gen}(i,j)} = \sqrt{\nu_{0,i}\nu_{0,j}} e^{-2R_{ij}/\lambda} \exp\left(-\frac{|\Delta E_{\text{gen},ij}| + \Delta E_{\text{gen},ij}}{2k_B T}\right), \quad (1)$$

其中 $\Delta E_{\text{gen},ij} = E_j - E_i - E_b$ ， E_b 为激子束缚能。

激子的解离率可表示为

$$\omega_{\text{D}(i,j)} = \sqrt{k_{D,i}k_{D,j}} e^{-2R_{ij}/\lambda} \exp\left(-\frac{|\Delta E_{\text{ex},ij}| + \Delta E_{\text{ex},ij}}{2k_B T}\right), \quad (2)$$

其中 $\Delta E_{\text{dis},ij} = E_j - E_i + E_b$, E_b 为激子束缚能。

OLED 器件的光物理过程, 包括辐射衰减, 非辐射衰减, 系间串越和反系间串越。这些能量转移的过程和激子的扩散过程都可以 Förster 和 Dexter 能量转移来表示。Förster 能量转移速率可表示为

$$\omega_{\text{F}(i,j)} = (\Gamma_{r,i} + \Gamma_{nr,i}) \left(\frac{R_{\text{F},ij}}{R_{ij}} \right)^6 \exp \left(- \frac{|\Delta E_{\text{ex},ij}| + \Delta E_{\text{ex},ij}}{2k_B T} \right), \quad (3)$$

其中 $\Gamma_{r,i}$ 和 $\Gamma_{nr,i}$ 分别为点 i 的辐射和非辐射衰减率, $R_{\text{F},ij}$ 为点 i 到点 j 转移的 Förster 半径, $\Delta E_{\text{ex},ij} = E_{\text{ex},j} - E_{\text{ex},i}$ 为点 i 和点 j 的激子能量差。

相似地, Dexter 能量转移速率可表示为

$$\omega_{\text{D}(i,j)} = \sqrt{k_{\text{D},i} k_{\text{D},j}} e^{-2R_{ij}/\lambda} \exp \left(- \frac{|\Delta E_{\text{ex},ij}| + \Delta E_{\text{ex},ij}}{2k_B T} \right), \quad (4)$$

其中 $k_{\text{D},x}$ 为材料点 x 的 Dexter 前因子。

激子还会和激子或极化子发生相互作用, 在 OLED 中比较重要的是 TTA 和 TPQ。发生 Förster 能量转移过程的 TTA (TPQ) 相互作用速率为

$$\omega_{\text{F,TTA(TPQ)}} = \tau^{-1} \left(\frac{R_{\text{F,TTA(TPQ)}}}{R} \right)^6, \quad (5)$$

其中 $R_{\text{F,TTA(TPQ)}}$ 为 TTA (TPQ) 的 Förster 半径。发生 Dexter 能量转移过程的 TTA (TPQ) 相互作用速率为

$$\omega_{\text{D,TTA(TPQ)}} = k_{\text{D,TTA(TPQ)}} \exp \left(- \frac{2R}{\lambda_{\text{ex}}} \right), \quad (6)$$

其中 $k_{\text{D,TTA(TPQ)}}$ 为 TTA (TPQ) 的 Dexter 前因子, λ_{ex} 为激子的波函数衰减长度。

在 OLED 中, 激子的相互作用过程除了 TTA 和 TPQ 之外, 还有单线态激子-单线态激子湮灭和单线态激子-极化子猝灭等相互作用, 但是单线态激子寿命短, 很快就衰减了, 所以这些相互作用过程几乎可以忽略。

本章应用软件工具 Bumblebee 进行 3D KMC 模拟时, 该软件已经扩展为包含特定材料大小的分子偶极矩以及其方向分布^[62]。

四、实验结果

我们用 3D KMC 方法对如图 1 所示的器件进行了模拟^[13]。相关的模拟参数设置见表 1。此外电荷的注入势垒为 0.2 eV。发生在 OLED 器件中发光材料 Ir(ppy)₂(acac) 分子的激子过程主要为 Förster 型的 TPQ 和 TTA。我们模拟了该器件在外加电压为 5 V, 6 V, 7 V, 9 V 和 11 V 时的运行情况。如图 2 所示, 黑色点为实验的电流密度-电压数据, 红色为 3D KMC 的模拟结果, 此时的模拟不包含分子静电偶极矩的影响。我们可以看到, 模拟得到的电流密度-电压特性曲线与实验数据有大致相同的增长趋势, 然而在较低电压 5-7 V 仍有着较大的

偏差。在包含了 TPBi 分子的静电偶极矩大小和分布的影响后，我们可以见到图 2 中蓝色曲线已经与实验结果相当一致了。这表明分子的静电偶极矩确实会影响载流子的迁移率，从而导致器件的电流密度发生变化。

我们还研究了分子偶极矩对该器件的 EQE 效率滚降的影响。如图 3 所示，不考虑电子传输层 TPBi 分子的静电偶极矩大小和分布，该器件模拟所得到的 EQE 比实验结果大很多，效率滚降的速度也比实验结果慢得多。但在模拟中包括了 TPBi 的分子偶极矩的影响效应后，模拟结果与实验结果是一致的。这说明分子偶极矩在 OLED 器件效率滚降中起着重要的作用。

模拟过程中我们使用了精确测量的辐射剖面图，这是由 Sim 和其合作者从测量层实验获得的^[14, 17, 18]。测量层实验是这样实施的：将红色的发光体材料 Ir(mphmq)₂(tmd) 以 5 wt % 的浓度每隔 5 nm 与磷光发光体材料 Ir(ppy)₂(acac) 共同沉积在 EML 宽为 0.5 nm 的区域。从测得的电致发光光谱我们由 Ir(mphmq)₂(tmd) 的峰值强度可以提取出 EML 的激子分布，也就是激子分布剖面图。如图 4 所示，在 3D KMC 模拟中，我们也可以获得相应的激子分布剖面图。通过将模拟结果与实验结果对比，我们可以相应地修改模拟参数以获得更接近器件实际性能的模拟结果。包括了分子偶极矩的 3D KMC 模拟得到的辐射剖面图中，辐射层中激子更靠近阴极方向。这和实验测量的辐射剖面图是一致的。辐射分布图较没有偶极矩时更靠近 EML 和 HTL 的界面，也说明了因为偶极矩的影响，更多的激子可能从辐射发光层进入到电子传输层以非辐射衰减方式损耗了，这导致 OLED 器件的效率滚降较忽略分子偶极矩时更为明显。模拟得到的不同电压下的激子分布剖面图大致一样，这和实验结果不一致。可能是因为用测量层方法来测量辐射发光剖面图的精度目前尚未明确有关。这些附加的发光体能俘获电荷，而且激子也可以通过 Förster 型偶极子-偶极子过程长距离转移激子，但我们尚不清楚它们是否能真实地反映磷光 Ir 发射体与位置相关的辐射。

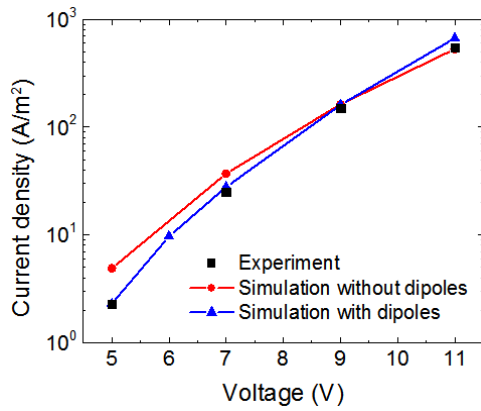


图 2 3D KMC 模拟和实验的电流密度-电压对比示意图

Fig.2. Current density in 3D KMC simulation and experiment as a function of voltage

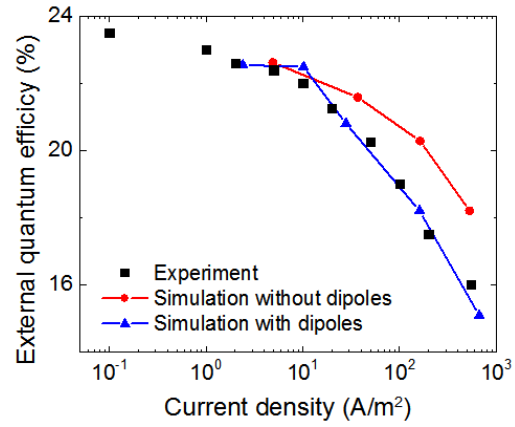


图 3 3D KMC 模拟和实验的 EQE 对比示意图

Fig.3. EQE in 3D KMC simulation and experiment as a function of current density

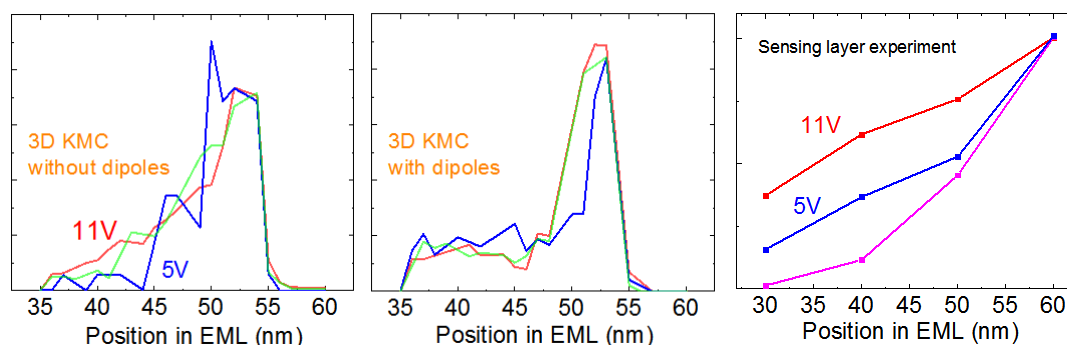


图 4 3D KMC 模拟和实验的辐射发光剖面图

Fig.4. Electroluminescence profile in 3D KMC simulation and experiment

五、 结论

我们利用 3D KMC 模拟研究了有机小分子静电偶极矩对 OLED 器件性能的影响。我们所研究的器件其电子传输层材料 TPBi 分子的静电偶极矩约为 7.0 德拜，且有 5% 的净取向。在包括了分子的静电偶极矩的影响后，3D KMC 模拟得到的电流密度-电压特性曲线与实验结果基本一致。而器件的 EQE 随电流密度的增加，其滚降的速率和实验结果相吻合。对比没有考虑分子静电偶极矩影响的模拟结果，我们发现偶极矩确实会影响器件的效率，使得效率滚降更快。且其辐射发光层的辐射分布图更接近测量层实验得到的结果。辐射分布图比原来更靠近 EML 与 HTL 界面，说明 TPBi 的偶极矩所产生的效应使得更多的激子从发光层进入电子传输层后以非辐射衰减方式损失掉，导致器件的效率下降。

总之，本章我们在考虑了分子偶极矩的影响后，用 3D KMC 模拟正确地提供了和实验所发现相一致的器件性能描述。

该研究由以下科研基金支持：国家重点研发计划项目 (2017YFB0404404)，广东省“珠江人才计划”引进领军人才计划项目（项目编号：00201504），广东省重点领域研发计划项目 (2019B010924005)，广州市科技计划 (2019050001)，国家高等学校学科创新引智计划 111 引智基地和国家绿色光电子国际联合研究中心。

参考文献:

- [1] Kordt P, van der Holst J J, Al Helwi M, et al. Modeling of organic light emitting diodes: From molecular to device properties [J]. Advanced Functional Materials, 2015, 25(13): 1955-71.
- [2] Coehoorn R, van Eersel H, Bobbert P, et al. Kinetic Monte Carlo study of the sensitivity of OLED efficiency and lifetime to materials parameters [J]. Advanced Functional Materials, 2015, 25(13): 2024-37.
- [3] Van Eersel H, Bobbert P, Janssen R, et al. Monte Carlo study of efficiency roll-off of phosphorescent organic light-emitting diodes: Evidence for dominant role of triplet-polaron quenching [J]. Applied Physics Letters, 2014, 105(14): 156_1.
- [4] Mesta M, Carvelli M, De Vries R J, et al. Molecular-scale simulation of electroluminescence in a multilayer white organic light-emitting diode [J]. Nature Materials, 2013, 12(7): 652-8.
- [5] Mesta M, Van Eersel H, Coehoorn R, et al. Kinetic Monte Carlo modeling of the efficiency roll-off in a multilayer white organic light-emitting device [J]. Applied Physics Letters, 2016, 108(13): 133301.

- [6] Shen Y, Giebink N C. Monte Carlo Simulations of Nanoscale Electrical Inhomogeneity in Organic Light-Emitting Diodes and Its Impact on Their Efficiency and Lifetime [J]. *Physical Review Applied*, 2015, 4(5): 054017.
- [7] Gottardi S, Barbry M, Coehoorn R, et al. Efficiency loss processes in hyperfluorescent OLEDs: A kinetic Monte Carlo study [J]. *Applied Physics Letters*, 2019, 114(7): 073301.
- [8] Baldo M A, Adachi C, Forrest S R. Transient analysis of organic electrophosphorescence. II. Transient analysis of triplet-triplet annihilation [J]. *Physical Review B*, 2000, 62(16): 10967.
- [9] Zang F, Sum T, Huan A, et al. Reduced efficiency roll-off in phosphorescent organic light emitting diodes at ultrahigh current densities by suppression of triplet-polaron quenching [J]. *Applied Physics Letters*, 2008, 93(2): 255.
- [10] Song D, Zhao S, Luo Y, et al. Causes of efficiency roll-off in phosphorescent organic light emitting devices: Triplet-triplet annihilation versus triplet-polaron quenching [J]. *Applied Physics Letters*, 2010, 97(24): 268.
- [11] van Eersel H, Bobbert P, Coehoorn R. Kinetic Monte Carlo study of triplet-triplet annihilation in organic phosphorescent emitters [J]. *Journal of Applied Physics*, 2015, 117(11): 115502.
- [12] van Eersel H, Bobbert P, Janssen R, et al. Effect of Förster-mediated triplet-polaron quenching and triplet-triplet annihilation on the efficiency roll-off of organic light-emitting diodes [J]. *Journal of Applied Physics*, 2016, 119(16): 163102.
- [13] The 3D KMC tool Bumblebee, a commercial software provided by Simbeyond B.V. 2015, <https://simbeyond.com/>
- [14] Sim B, Moon C-K, Kim K-H, et al. Quantitative analysis of the efficiency of OLEDs [J]. *ACS applied materials & interfaces*, 2016, 8(48): 33010-8.
- [15] Wang Z, Helander M, Qiu J, et al. Highly simplified phosphorescent organic light emitting diode with > 20% external quantum efficiency at > 10, 000 cd/m² [J]. *Applied Physics Letters*, 2011, 98(7): 39.
- [16] Wang Z, Helander M G, Qiu J, et al. Unlocking the full potential of organic light-emitting diodes on flexible plastic [J]. *Nature Photonics*, 2011, 5(12): 753-7.
- [17] Aminaka E I, Tsutsui T, Saito S. Effect of layered structures on the location of emissive regions in organic electroluminescent devices [J]. *Journal of Applied Physics*, 1996, 79(11): 8808-15.
- [18] Kang J-W, Lee S-H, Park H-D, et al. Low roll-off of efficiency at high current density in phosphorescent organic light emitting diodes [J]. *Applied Physics Letters*, 2007, 90(22): 223508.

高效率杂化白光有机发光二极管

刘福通, 路萍*

(吉林大学超分子结构与材料国家重点实验室, 长春市前进大街 2699 号, 130023, lup@jlu.edu.cn)

摘要: 低成本、高性能有机宽禁带蓝光材料的开发和相关理论研究是有机电子学领域实现全色显示与白光照明面临的挑战。我们合成具有高固态发光效率的蓝光材料 TPAATPE。以 TPAATPE 为非掺杂蓝光层, 绿光 TADF 材料 PTZMes₂B 为主体敏化黄色磷光 PO-01, 成功实现两种高效杂化白光器件。双色 WOLED 表现暖白光发射, CIE 坐标为 (0.44, 0.44), 最大 EQE 为 25.2%。通过 PTZMes₂B 和 Ir(piq)₃ 间不完全能量转移, 进一步得到三色 WOLED, 器件具有超高 CRI 值 (92), CIE 坐标为 (0.34, 0.38), 最大 EQE 达 25.3%, 是已发表文献中纯白光器件最好结果之一。

关键字: 蓝光, 敏, 发光效率, 白光二极管

Novel Blue Fluorescent Materials for High-Performance Nondoped Blue OLEDs and Hybrid Pure White OLEDs

LIU Futong, LU Ping*

(State Key Laboratory of Supramolecular Structure and Materials, Department of Chemistry, Jilin University, Changchun, 130012, P. R. China, E-mail: lup@jlu.edu.cn)

Abstract: Pure blue luminogens that can be applied in high-efficiency nondoped blue organic light-emitting diodes (OLEDs) and act as main component to generate white OLEDs with high color rendering index (CRI) simultaneously are rarely reported. Herein, highly efficient blue emitter TPAATPE is designed and synthesized. Employing TPAATPE as the blue-emitting component, combined with a thermally activated delayed fluorescent (TADF) molecule PTZMes₂B, which is adopted as the green emitter and the host for phosphors, a series of highly efficient hybrid white OLEDs are successfully achieved. Two-color white OLED exhibits eye-friendly warm white light with the maximum forward-viewing EQE of 25.2% and the three-color white OLED achieves pure white emission with CIE coordinates of (0.34, 0.38), maximum forward-viewing EQE of 25.3% and ultrahigh CRI of 92. All of blue and white OLEDs exhibit small efficiency roll-offs and excellent color stabilities. To the best of our knowledge, these results are among the best outcomes for white OLEDs reported so far.

Keywords: Blue fluorescent, Anthracene, Quantum yield, White organic light-emitting diodes

有机电致发光二极管 (OLED) 因其柔性、可弯曲、广视角、节能、响应速度快等优点, 被认为是可替代无机发光二极管的下一代新型显示和照明技术[1]。红、绿、蓝 (R、G、B) 三基色材料是 OLEDs 发展的根本。目前蓝光材料的性能还远远不能满足商品化的需要。近年来, 磷光材料和热激活延迟荧光 (TADF) 的蓝光材料, 可以捕获所有三线态激子, 实现高的外量子效率 (EQE), 但是仍然有一系列挑战和关键问题需要解决。例如, 对于磷光材料和 TADF 材料来说, 很难获得满足实际应用要求的高亮度、高稳定性、低效率滚降的高效蓝光发射材料[2]。它们必须被掺杂到适当的高三重能级的主体材料中, 以避免由于浓度过高引起的猝灭, 导致复杂的器件制造过程和商业成本。蓝光材料对于全色显示和白光照明具有重要意义, 既可以提供三原色之一的蓝光, 又可以作为母体激发绿光和红光染料以简化器件结构, 降低功耗[3]。为了满足下一代平板照明和红/绿/蓝/白电视 (RGBW-TV) 的标准, 高显色指数 (CRI) 的白色 OLEDs (WOLEDs) 是住宅、博物馆、美术馆和其他商业场所照明应用的重点[4]。

根据发光层中发光材料种类的不同, 可以将 OLED 分为全荧光、全磷光以及荧光/磷光敏化 WOLED。对全荧光 WOLED 而言, 虽然具有很长的寿命, 但是效率普遍偏低, 而全磷光 WOLED 局限于重金属资源的稀缺, 而且蓝光磷光材料的稳定性差, 不利于商业的发展。因此采用蓝色荧光材料和互补色的绿、黄、红等颜色的磷光材料混合产生的杂化 WOLED, 有效结合全荧

光和全磷光WOLED各自的优点,有希望实现高效率、高稳定性的白光器件[5]。与单色OLED不同,WOLED的光谱较宽,高CRI的WOLED要尽可能多的覆盖400-780 nm的可见光波段。根据色度学理论,将CIE(国际照明委员会)坐标中的(0.3333,0.3333)称为白光等能点的色坐标。目前所报道的WOLED基本都是暖白光或者是黄白光,色彩还原能力很差。发展可应用于非掺杂器件的高效率蓝光材料,并用于构建高效率高CRI的稳定白光WOLEDs,对推动OLED的商业化进展具有重要意义。

蒽因其荧光量子产率高、原料成本低、产品易提纯而且良好的热稳定性,成为最常用的发光团之一,广泛应用于光电器件、有机激光、传感方向等。蒽具有典型的 π 共轭骨架,呈现刚性的平面分子结构[6]。当它们单独使用时,在固体状态下常通过分子间 $\pi-\pi$ 相互作用形成面对面的分子堆积结构,这通常会导致相对较低的光致发光量子产率(PLQY),而且发射光谱会发生红移至不希望的天蓝色区域。为了解决这个问题,将具有聚集诱导发光(AIE)特征的发色团和蒽连接可能是一种有效的解决方案,当分子聚集在一起时,彼此的牵制作用限制了分子内部的运动,非辐射衰变通道被大大抑制[7]。我们通过将蒽与典型的AIE基团四苯乙烯结合来提出一种新颖的分子设计策略,设计合成了两个分子TPAATPE和PPIATPE。在蒽的9号位连接上具有典型的三苯胺和菲并咪唑基团,另外,在蒽的末端引入四苯乙烯基团来抑制非辐射跃迁,实现高的发光效率。它们均显示出典型的AIE特性和纯蓝色荧光,并在纯净薄膜中具有较高的PLQY(分别为81%和69%)。如图1所示,使用TPAATPE和PPIATPE作为发光层的非掺杂OLED器件具有纯蓝光发射,其中TPAATPE的性能最好,电致发光的主峰为460 nm, CIE坐标为(0.15, 0.16),最大EQE 6.97%。更重要的是,器件的效率滚降很小,在1000 cd m⁻²的高亮度下, EQE仍可保持高达5.96%。

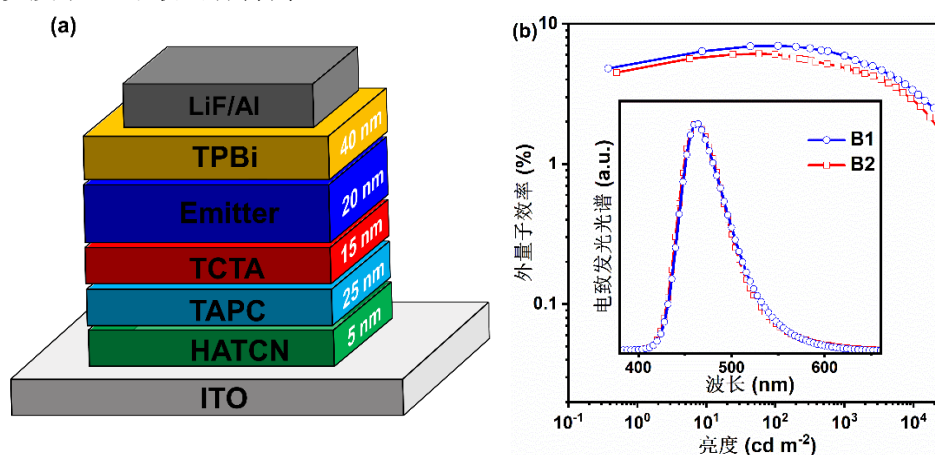


图1 (a) 蓝光器件结构: (b) 蓝光器件的电致发光光谱和外量子效率

为了进一步开发WOLEDs,如图2所示,通过采用TPAATPE作为蓝色成分,绿光的TADF材料PTZMes₂B作为主体来敏化黄色磷光P0-01或者红色磷光材料Ir(piq)₃,因为蓝光材料具有蒽基团,所以其三态能级低于磷光材料的三线态能级,所以在蓝色荧光层和黄色磷光层之间夹杂着间隔层,防止激子相互淬灭以及磷光层和荧光层之间发生的1-2 nm的Dexter能量转移和Forster半径为3 nm的能量转移。通过调节间隔层的比例和磷光客体的种类,制备出了双色白光和三色白光器件其中,双色白光OLED采用TPAATPE作为蓝光层,黄色磷光材料P0-01作为橙光层,表现为暖白光发射,最大外量子效率为25.2%。虽然双色掺杂体系构筑的杂化复合型器件,尽管可以实现高的效率和低的效率滚降,但是显色指数普遍偏低(CRI<65)。而且对于杂化WOLED而言,其一般都表现为暖白光或者黄色的白光,纯白光色的器件十分稀少,但是,对于显示来说,纯白的光色是必须的。因此,为了获得高质量高效率的杂化白光,设计新型的三色杂化白光器件是十分必要的。本文采用TPAATPE为非掺杂的蓝光层,绿光的TADF材料PTZMes₂B作为主体来敏化红色磷光材料Ir(piq)₃,在非常低的掺杂浓度下(<1%),由于单线态或者三线态的能量转移受到抑制,通过主体PTZMes₂B和客体Ir(piq)₃之间不完全的能量转移,每个组分都能显示出各自的发光,同时实现绿光和红光的发射,波峰叠加起来足以覆盖大部分可见光区域,具有超高的CRI值。CRI表示的是WOLED发出的光对物体颜色的逼真度,是衡量光源品质的重要参数。理想光源CRI为100,对于商业的室内照明要求CRI大

于80，在博物馆、展览馆和具有绚丽灯光效果的演播大厅，需要CRI高于90。此外，该器件具有25.3%的高外量子效率，为同时实现了高效率、高CRI、低电压的纯白光器件提供了一种可行的方法。最重要的是，所有蓝光和白光OLED都表现出小的效率滚降和优异的色稳定性。

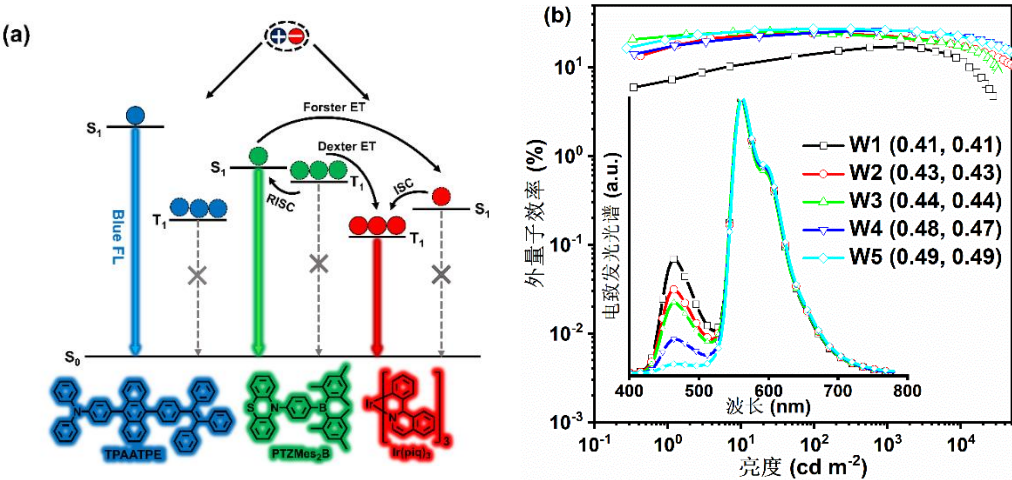


图2 (a) 白光器件的原理图：(b) 白光器件的电致发光光谱和外量子效率

表 1 白光器件件 W1~W6 的电致发光性能数据

器件	开启电压(V)	最大亮度 (cd m ⁻²)	最大电流效率 (cd A ⁻¹)	最大功率效率 (lm W ⁻¹)	最大外量子效率 (%)	显色指数 (CRI)	CIE 坐标 (x, y)
W1	2.8	27588	44.7	35.0	17.1	56	(0.41, 0.41)
W2	2.7	59927	66.1	67.5	24.1	53	(0.43, 0.43)
W3	2.8	40530	69.0	69.5	25.2	52	(0.44, 0.44)
W4	2.7	82298	74.0	68.1	25.8	43	(0.48, 0.47)
W5	2.7	89821	79.1	79.2	27.1	41	(0.49, 0.49)
W6	2.7	13915	49.7	47.3	25.3	92	(0.34, 0.38)

参考文献:

[1] Zhang Qisheng, Li Jie, Shizu Katsuyuki, et al. Design of efficient thermally activated delayed fluorescence materials for pure blue organic light emitting diodes[J] . J. Am. Chem. Soc. 2012; 134(36):14706-9.

[2] Uoyama Hiroki, Goushi Kenichi, Shizu Katsuyuki, et al. Highly efficient organic light-emitting diodes from delayed fluorescence. Nature[J]. 2012; 492(7428):234-8.

[3] Xu Yuwei, Liang Xiaoming, Zhou Xuehong, et al. Highly Efficient Blue Fluorescent OLEDs Based on Upper Level Triplet-Singlet Intersystem Crossing. Adv. Mater. [J]. 2019; 31(12):e1807388.

[4] Chen Bin, Liu Baiquan, Zeng Jiajie, et al. Efficient Bipolar Blue AIEgens for High-Performance Nondoped Blue OLEDs and Hybrid White OLEDs. Adv. Funct. Mater. [J]. 2018; 28(40):1803369.

[5] Qin Wei, Yang Zhiyong, Jiang Yibin, et al. Construction of Efficient Deep Blue Aggregation-Induced Emission Luminogen from Triphenylethene for Nondoped Organic Light-Emitting Diodes. Chem. Mater. [J]. 2015; 27(11):3892-901.

[6] Tang Xiangyang, Bai Qing, Shan Tong, et al. Efficient Nondoped Blue Fluorescent Organic Light-Emitting Diodes (OLEDs) with a High External Quantum Efficiency of 9.4% @ 1000 cd m⁻² Based on Phenanthroimidazole–Anthracene Derivative. Adv. Funct. Mater. [J]. 2018; 28(11):1705813.

[7] Xu Zeng, Gu Jiabao, Qiao Xianfeng, et al. Highly Efficient Deep Blue Aggregation-Induced Emission Organic Molecule: A Promising Multifunctional Electroluminescence Material for Blue/Green/Orange/Red/White OLEDs with Superior Efficiency and Low Roll-Off. *ACS Photonics*. [J]. 2019; 6(3):767-78.

高刷新率 AMOLED 显示器的驱动和优化方法研究

唐韬, 王峥, 李勇, 王玉青, 陈心全

(昆山国显光电有限公司, 昆山, 215316, tt_1989@126.com)

摘要: 高刷新率的显示器能够提升终端用户的体验, 在刷新率提升的同时, 显示内容的亮度、Gamma 等光学参数不应发生变化, 显示器在不同刷新率工作时需要保持一致的显示效果。本文提出了实现刷新率切换的多种驱动方式, 在保持充电时间一致的基础上, 降低了像素电路漏电带来的亮度影响。同时采用插值的 Gamma 校正方案, 保持了不同刷新率时, 显示器 Gamma 的一致性。

关键字: AMOLED, 高刷新率, 显示器驱动, Gamma

Optimization and analysis of High framerate AMOLED

TANG Tao, WANG Zheng, LI Yong, WANG Yuqing, CHEN Xinquan

(Kunshan Govisionox Optoelectronics Co., Ltd., Kunshan, 215316, CHN, tt_1989@126.com)

Abstract: High framerate Display brings great visual experience to end users, display luminance and Gamma should remain the same while framerate goes up. We propose to keep pixel charging time while framerate changes, and by using voltage compensation to lower down pixel circuit leakage. With Gamma voltage interpolation, display quality keeps the same under different framerate.

Key words: AMOLED, High framerate, Display driving circuit, Gamma

1. 引言:

AMOLED 自发光、轻薄、可卷曲的特性已经得到消费市场的充分认可, 越来越多的电子产品选择 AMOLED 作为其显示设备以获得更好的显示效果。在数字越来越接近现实的世界里, 显示器的分辨率、刷新率需要进一步提升, 以获得绝佳的视觉体验。

AMOLED 显示器的像素发光分为两个时间段: 充电时间和发光保持时间, 充电时间持续较短, 用于更新像素数据。在一帧时间内, 充电时间结束后, 剩余的时间均为发光保持时间。当刷新率提升, 一帧的时间缩短, 充电时间和发光保持时间也随之缩短, 这直接影响了像素亮度, 间接影响了屏幕的光学参数——亮度、色度、Gamma 等。

受限于工艺条件, 像素电路在发光保持阶段会有漏电发生, 漏电时像素的亮度会发生变化, 所以不同的像素电路控制时序, 需要匹配不同的 Gamma 电压来保持显示器的 Gamma 一致。而在生产过程中, 增加 Gamma 电压组数调节, 会造成生产节拍时间增加, 从而提升产品成本。

如何在不同的刷新率切换时, 用尽可能用少的 Gamma 组数控制生产成本, 同时保持屏幕的显示效果不发生变化, 是高刷新率显示器亟需解决的问题。

2. AMOLED 像素电路

在 AMOLED 像素电路中, 像素发光亮度与电流直接相关, 而电流与像素电路驱动 TFT 的开启程度相关, 计算公式如下, 其中 k 为常数:

$$I_{OLED} = \frac{1}{2} k (ELVDD - V_{data})^2$$

由上述计算公式可知，OLED 像素亮度和 V_{data} （即 Gamma 电压）的值直接相关。

如下是简化的像素电路架构，当 SCAN 线被选中并开启 T1 时，Source 线写入不同的电压 V_{data} 到存储电容（此阶段为充电时间），然后，驱动 TFT T2 在 ELVDD 和 V_{data} 的作用下开启，电流流过 OLED 器件，像素发光（此阶段为发光保持时间）。

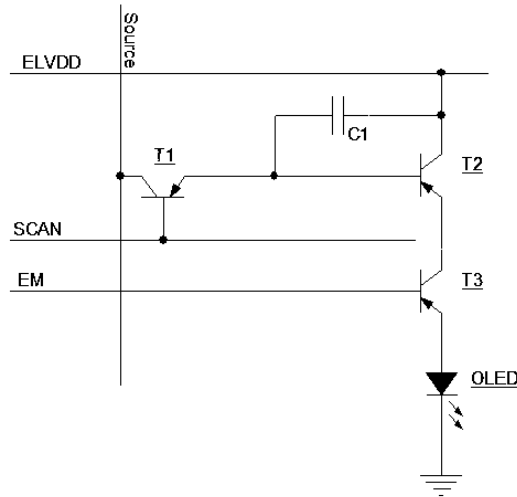


图 1 简化的 AMOLED 像素电路架构

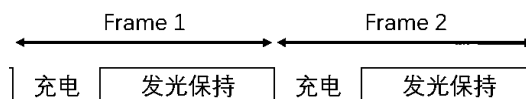


图 2 简化的 AMOLED 像素电路控制时序

3. 不同刷新率的驱动方法

刷新率一般是指在 1 秒内，屏幕显示内容更新的次数，一般地，60Hz 显示器需要 16.6ms 来更新一次显示内容，而 90Hz 或更高刷新率的显示器只需要 11.1ms 或更短的时间。为了使两种刷新率的显示效果保持一致，需要将显示器的充电时间和发光保持时间保持一致。

一般地，采用如下三种方案来实现刷新率的变化：

一、针对 60Hz 和 90Hz 设计两种时序，它们拥有不同的充电时间和发光保持时间，由于像素电路充电率一致，如果充电时间有差异，那么会造成两种刷新率下的亮度差异较大，此时可以通过校正不同刷新率下的 Gamma 电压，来保证 Gamma 曲线的一致性。

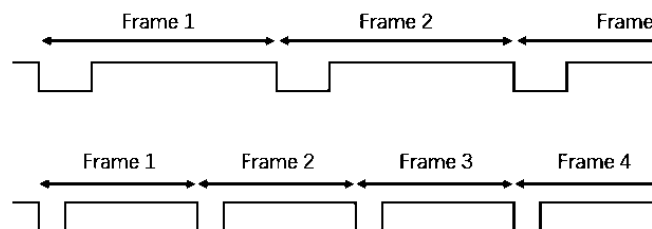


图 3 不同刷新率的控制时序-a

二、首先设置 90Hz 时序，然后通过时序控制，将每 3 帧中的最后一帧 V_{data} 移除，即这

一帧不向像素电路里写数据，显示器实际更新的数据为 90Hz 的 2/3，即刷新率为 60Hz。

根据时序图，图 4 可以看出，此方案的充电时间保持一致，仅在发光保持时间的总长上有少许差异，可以选择同一组 Gamma 设置来匹配这两种时序。由于两次充电之后的发光保持时间不同，在人眼更敏感的低亮度条件下，可能存在闪烁的问题。

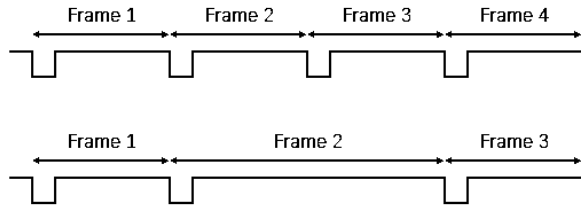


图 4 不同刷新率的控制时序-b

三、首先设置 90Hz 时序，再通过时序控制，将每一帧的发光保持时间延长，同时配合像素电路充电时间的调整，最终达到充电时间一致，发光保持时间一致的效果，补足了方案二的不足。

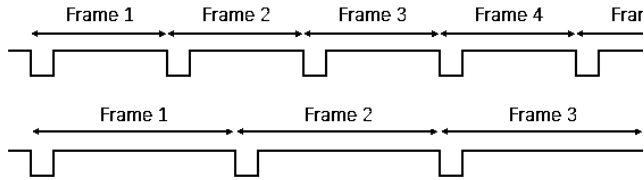


图 5 不同刷新率的控制时序-c

4. 显示效果优化方案

当显示器的刷新率进一步提升，刷新率从基础 60Hz 跨越至 120Hz 甚至 240Hz 以上，仅用时序调整，已经无法满足显示效果在不同刷新率条件下的一致性，因为此时放电保持时间的差异过大，累积亮度无法保持一致，造成显示差异，需要通过 Gamma 电压校正来优化。

以一款支持 60Hz，90Hz，120Hz，144Hz 的产品例，当刷新率之间的差异达到 30Hz 以上时，就不再适用 Gamma 电压共用，如果 60Hz 共用 90Hz 时校正的 Gamma 电压，则显示器的 Gamma 曲线会出现明显的差异，如图 6 和图 7 所示。

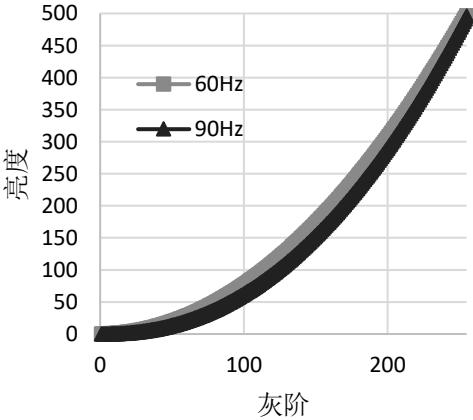


图 6 60Hz 和 90Hz 的 Gamma 曲线

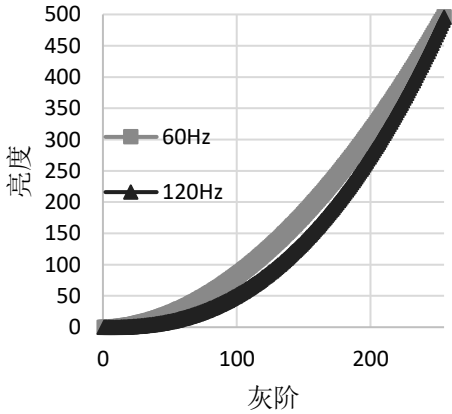


图 7 60Hz 和 120Hz 的 Gamma 曲线

此时最佳方案为，匹配不同刷新率，各刷新率都进行模组的 Gamma 电压校正，用户在

切换刷新率时，调用不同的 Gamma 电压，从而保证显示效果的一致性。

更优的方案为：当刷新率差异在 30Hz 以内，Gamma 电压可共用；当刷新率差异在 30Hz 以上，采用时序方案三，并两个刷新率的中间频率，进行 Gamma 电压调试并应用

综上，这款显示器的 Gamma 电压在 144Hz 和 75Hz 的条件下进行调试，即可满足 4 种不同刷新率条件下的显示效果一致性规格，实测 Gamma 曲线如图 8。

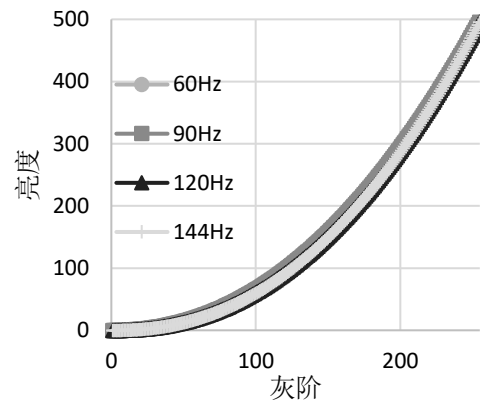


图 8 60/90/120/144Hz 的 Gamma 曲线

可以看出，经过两组 Gamma 电压的校正，四组刷新率的 Gamma 曲线基本保持了一致水准。既减少了 Gamma 电压组数，提升了生产效率，又达成了高刷新率模组在不同刷新率下的显示一致性要求。

5. 结论

本文提出了高刷新率 AMOLED 模组实现不同刷新率切换的三种驱动方式，并针对未来更高刷新率显示器，更多刷新率切换的应用场景，提出了切实可行的 Gamma 电压校正方案。

高刷新率 AMOLED 显示器的驱动和优化方法研究

陈心全, 王峥, 唐韬, 张春雷

(昆山国显光电有限公司, 昆山, 215300, chenxq@visionox.com)

摘要: 本文基于 AMOLED 工作机理及工艺实现, 对 AMOLED 模组技术中的多形态调光技术实现方案进行了详细分析, 并就如何匹配场景进行最优化方案制定和选择进行了研究介绍, 重点对 PWM 步进式变频调光方式的实现机理、实现效果进行了详细的理论分析和实验研究, 结果表明相对于传统 4 pulse, 16 pulse 步进式调光精度至少可以提升 4 倍。综合终端应用将 AMOLED 调光方案与动态电压进行有机结合, 实现频率超过 1kHz 和动态省电的 AMOLED 量产化调光技术方案。

关键字: AMOLED, PWM 变频调光, DC 调光, 动态电压

Optimization and Analysis of High Framerate AMOLED

Chen Xinquan, WANG Zheng, Tang Tao, Zhang Chunlei

(Kunshan Govisionox Optoelectronics Co., Ltd., Kunshan, 215300, CHN, chenxq@visionox.com)

Abstract: Based on the working mechanism and process of AMOLED, detailed analysis of multiple dimming solutions was conducted. Moreover optimized selection has been studied to match the scene. Detailed theoretical analysis and experimental research focused on the stepping PWM BRC mechanism has been studied, the minimal accuracy can be improved 4 times at least higher than conventional dimming accuracy (4pulse dimming BRC). Comprehensively, by combining PWM BRC and dynamic voltage, 1kHz frequency and dynamic power saving are achieved on mobile platform application.

Keywords: AMOLED, PWM Brightness Control, Dynamic Voltage Control

1. 引言:

有源矩阵有机发光二极管 (AMOLED) 具有自发光、对比度高、色域广、柔性显示等特点, 在日常的智慧驾驶、智能家居、移动穿戴、智能手机等领域具有广阔的应用前景, 特别是这两年在智能穿戴和智能手机领域, OLED 得到了快速扩张, 据预测到 2020 年底智能机 AMOLED 屏幕市占率将从 2017 年的约 17% 迅速增加至 30%。在 AMOLED 市场快速增长的同时, 消费者对屏幕的显示品质和应用要求也在快速提高, 特别是用眼健康方面, 其中屏幕闪烁频率也随即进入大众的关注视野。

为了确保用眼健康, 一般认为屏幕闪烁频率越高越好, 通常以 1KHz 作为是否达标的临界点进行参考。而 AMOLED 由于自身工作原理和工艺基础的原因, 其点亮模式一般分为 DC 调光和 PWM 调光, 在正常亮度或较高亮度情况下, 一般设置为 DC 调光模式, 此时可以认为其屏闪频率无穷大, 处于健康范围; 而当 OLED 屏幕工作在较低亮度条件下时, 由于 LTPS 背板工艺等原因, 屏幕容易出现条状或带状亮度不均匀的现象 (业内简称为 mura), 为了改善该现象, 业内一般采用 PWM 调光方式进行选择性驱动, 目前量产比较常用的主要是 4pulse PWM 驱动, 而此时虽然肉眼可见的显示效果得到了较大改善, 但在 60Hz~120Hz 情况下, 屏幕闪烁频率却还不足 500Hz, 离目标的 1KHz 还有不小的差距, 若简单提高 PWM pulse 数量来片面追求屏幕高闪烁频率, 则又会带来另一个严重问题, 即调光精度 (BRC) 呈倍数式降低。

由此, 如何在保证持续改善 mura 显示效果和调光精度的情况下, 同步提高 PWM 调光频

率似乎成为一个不可突破的矛盾，本文则针对该技术问题详细阐述一套可量产的调光技术实现方案。

2. AMOLED 多种驱动方式

常规 AMOLED 驱动架构下，从像素电路的输入角度讲，驱动信号主要分为发光控制信号（EM），像素电路初始化和数据写入控制信号，本文中重点阐述的是基于 EM 的不同输出控制，进而实现精细化 PWM 调光的技术方案。

如图 1，最原始状态下，AMOLED 的 EM 驱动为低占空比(有效发光时间)近似 100% 的驱动方案，该状态也是大家常说的 DC 调光的默认状态，但需要强调的是 DC 调光不一定是 100% EM，这是两个不同层面的物理概念。若在图 1 驱动方案下，通过调节数据信号电压 Vdata，来实现 BRC 动作，则可认为是屏闪频率接近无穷大的 DC 调光。如前文提及，该方案在 mura 方面存在一个比较大的缺陷就是：低亮度情况下，屏体带状 mura 会比较明显，影响视觉效果和体验。

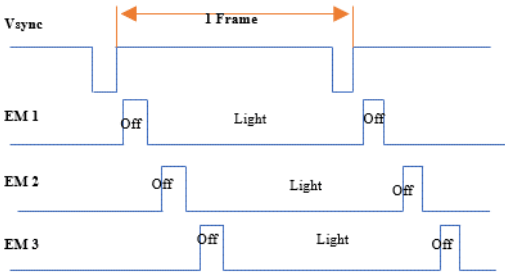


图 1 AMOLED 常规驱动方式

如图 2，则是在图 1 基础上衍生改进而来的常规多 pulse 驱动方案，该方案与原始图 1 方案的主要差异点在于其 EM 在一帧内存在多个高电平脉冲，也可简单认为是局域时间内的方波控制信号。

根据实际量产和实验基础，发现当 EM 高电平占空比（OLED 关断状态）大于一定的值后，屏体的带状 mura 会得到明显缓解，但是若简单以原始 1pulse 驱动方案获得高占比 EM 输出时，则相当于屏体刷新率减半，使得屏体显示出现明显的闪烁现象，此时为了均衡 EM 高占比分布，基于 OLED 整体驱动框架，逐渐推出了多 pulse 的 EM 驱动方案。

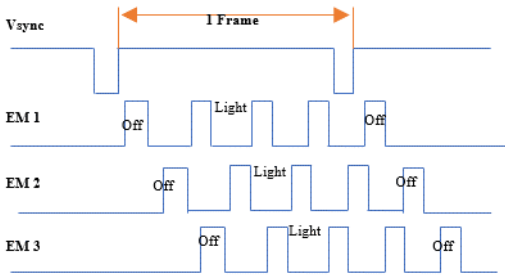


图 2 AMOLED PWM 驱动方式

PWM 驱动方案，在带来了改善 mura 效果的同时，随着 EM 高占比的提高也引起了诸如因 OLED 瞬间亮度过高等因素而导致的 OLED 寿命加速衰减或残像的问题发生，所以为了匹配终端不同场景下的调光应用，PWM 调光技术则应运而生。

3. PWM 调光技术实现方法

基于上述 PWM 驱动方式，结合 BRC 调光应用技术，则产生了 PWM 调光技术，具体实现如下：

- a. 在起始 BRC 位置，EM 高占比为 0%，此时亮度可匹配 BRC 高亮度部分；
- b. 随着终端设备，如手机的应用场景发生变化，如由室外进入室内，则 BRC 控制屏体亮度由高亮进入普亮或较低亮度状态，另结合所产屏体的带状 mura 情况，择机提高 EM 高占比，比如由 0%提升至 50%等，若此时保持数据电压不变，则屏体整体亮度则由 100%降低至 50%；

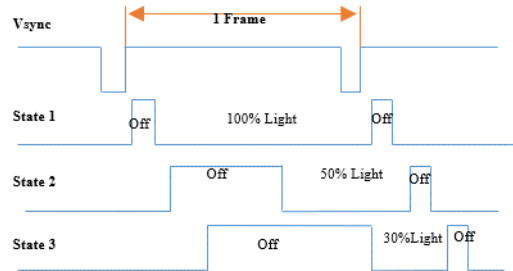


图 3 不同占空比条件下 PWM 实现

- c. 紧接着，当外界环境进一步降低，考虑此时带状 mura 可视性会进一步明显，则将 EM 高占比进一步提高，如 50%提高至 70%，数据电压不变情况下，屏体亮度则降低 70%。

4. 精细化 PWM 调光方案实现

上述采用的是简单采用提高 EM 占空比的方式进行 BRC 调光方案的，也是早期量产行业各大厂普遍采用的方式，但该方式会带来一些比较大的弊端，典型问题如下：

- a. 若采用多 pulse 联动方式，考虑 pulse 数量增加，则同样一个 BRC step 情况下，EM 高占比的 $\text{step width} = \text{pulse 数} \times \text{EM 驱动行数}$ ，随即出现 BRC 每跳动一个 step，亮度变化发生一次 step width 的跳变，由此可见 pulse 数量会是越少越好，也就出现了目前市面主流的 4pulse 量产方案；
- b. 但是 4pulse 量产方案会随即衍生出另一个问题：在特定刷新率下，如 60Hz 时，屏体闪烁频率 = $60 \times 4\text{Hz} = 240\text{Hz}$ ，即便是目前市场上 120Hz 的游戏手机，其屏幕闪烁频率也仅仅是 480Hz，还不及健康应用标准 1KHz 的 1/2，所以如何解决低频屏闪问题变成了整体的核心矛盾点。

如图 4，则是在现有 4pulse 或多 pulse PWM 调光技术方案基础上提出了一种分布式精细化 PWM 调光技术方案，具体实现如下：

- a. 常规模式下，多 pulse PWM 调光，每调节一 BRC step 值，则 EM 高占比同步增加一定值，如图 4 state1 → state2；
- b. 优化后 PWM 调光模式，每调节一 BRC step 值，则 EM 高占比会采用均衡分别步进的方式提高，如 Nstate1 → Nstate2 → Nstate3

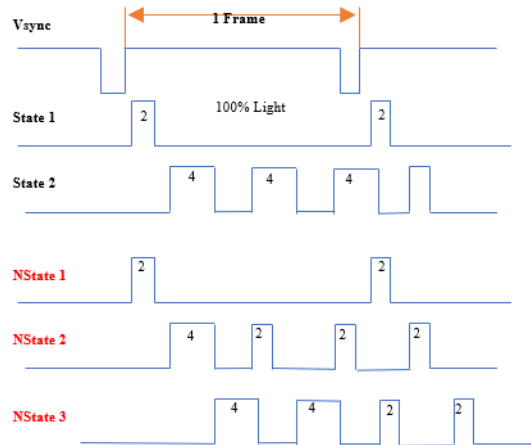


图 4 精细化 PWM 实现方案示意图

通过上述步进式 EM 占空比调节方式，可以实现精细化的 PWM 调光，经过实际实验测试也进一步佐证了上述理论方案。

如图 5，分别是采用传统 4pulse PWM 调光方案和步进式 16pulse PWM 改进方案实现的调光结果，曲线平滑性上明显可见 16pulse 步进式方案要优于传统 4pulse PWM 调光方案，进一步将 0~100 BRC 调光区间进行放大观察，如图 6，可进一步观测到传统 4pulse 调光出现了较为明显的台阶式亮度变化，分析主要是每个 BRC step 下，亮度变化幅度过大引起，而此时 16pulse 步进式 PWM 调光曲线反而表现出了较为平滑的变化，也即表示该模式条件下每 BRC step 的亮度变化量比较平缓，视觉上的亮度变化也更不容易被察觉出来，表现出了最佳的调光效果。

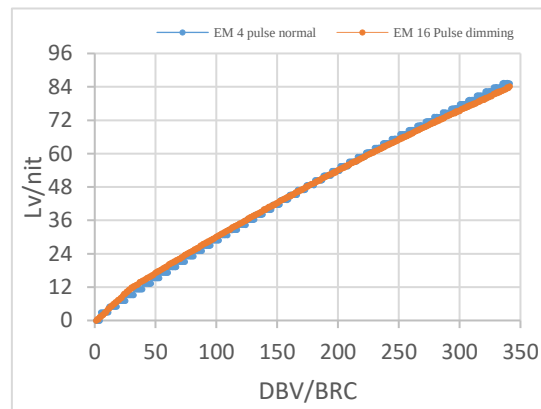


图 5 PWM 之 4pulse VS 16pulse 调光实现

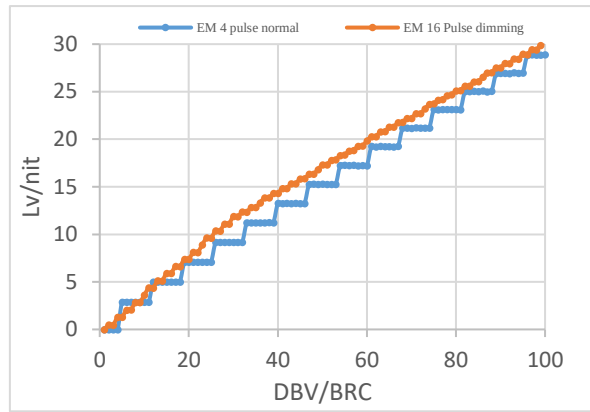


图 6 PWM 之 4pulse VS 16pulse 调光实现细节对比

5. 结论

本文提出了一种 AMOLED 分布式精细化 PWM 调光技术，在 AMOLED 屏体 EM 为一驱一架构条件下，以 16pulse PWM 调光为例，其可 BRC 精细度可在传统 PWM 调光基础上提升 16 倍之多，即便在 EM 一驱四的框架下，16pulse PWM 调光精度也可至少提升 4 倍以上，且此时 60Hz 刷新率下，屏幕闪烁频率至少在 960Hz，接近 1KHz 的水平。

一种基于 AMOLED 屏下摄像头技术的全面屏方案

王玉青, 王峥

(维信诺科技股份有限公司, 江苏昆山, 215300, wangyq@visionox.com)

摘要: 为了满足新一代 AMOLED 全面显示技术需求, 提出了 AMOLED 屏下摄像头技术实现全面屏方案; 通过摄像头对应副屏区小孔系数校对和驱动芯片的 IRC 方案, 实现屏下摄像头模组主副屏亮度自适应调节及无缝过渡效果; 通过驱动芯片实现屏下指纹解锁, 进一步优化指纹解锁时序, 改善指纹解锁闪烁问题, 最终实现屏下摄像头和屏下指纹模组高效解锁, 主副屏浑然一体, 达到全面屏终极效果。

关键字: 屏下摄像头, IR 压降补偿, 驱动芯片, 屏下指纹

A full screen scheme based on AMOLED Under Display Camera technology

Wang Yuqing, Wang Zheng

(Visionox Technology Inc., Kunshan, 215300, CHN, wangyq@visionox.com)

Abstract: In order to meet the requirements of new display technology, a full screen scheme of AMOLED UDC technology is proposed. The small hole coefficient of corresponding sub screen area of the camera is calibrated and IRC function of DDIC is used, in order to achieve main and secondary screen brightness adaptive adjustment and seamless transition effect; UDP modules can be unlocked by DDIC, related unlock flicker problems can be improved by further optimize sequence, and finally achieve UDC and UDP modules efficient unlocking, the main and secondary screens are integrated to achieve full screen effect.

Keywords: UDC(Under Display Camera), IRC(IR-Drop Compensation), DDIC(Display Driver Integrated Chip), UDP(Under Display FringerPrint)

1 背景

屏下摄像头^[1] (Under Display Camera), 指前置摄像头位于 AMOLED^[2-3] (Active-matrix organic light emitting diode) 屏幕下方但并不影响屏幕功能, 当用户关闭前置摄像头的时候, 摄像头区域对应的屏幕 (副屏) 还是正常显示图像, 当使用前置摄像头, 这部分屏幕就不会显示任何图像, 相当于一块高透光玻璃, 可以通过这块玻璃进行拍摄。所以, 从外观上看, 屏下摄像头不会有任何相机孔, 达到了真正全面屏标准。

因现阶段获得副屏目标亮度的装置限制, 加上不同批次屏体以及同批次不同屏体片间 IR-Drop^[4-5] 差异, 完成副屏 Gamma OTP (One Time Programmable) 调试后, 不可避免地存在主屏 (屏幕正常显示区域) 和副屏亮度不一致问题, 影响屏下摄像头模组的整体显示效果, 无法获得满意的用户体验。

另外, 目前主流的屏下指纹大都采用 HBM (High Brightness Mode) +AP (Application Processor) 蒙层透图方案, 涉及相对复杂的蒙层算法, 加大了手机终端厂商实现的难度, 实际应用中存在屏下指纹解锁闪屏 (较明显) 问题, 再搭配屏下摄像头的应用, 不可避免的

存在主副屏亮度差和闪屏等风险问题，影响屏下摄像头和屏下指纹模组的整体显示效果，进而无法获得满意的用户体验。

2 方案

2.1 总体流程方案

屏下摄像头模组关键制程——Gamma OTP 主要流程如下：

- 1) 如图 1，首先模组点亮；
- 2) RCN (Round Corner and notch) 确认烧录，达到完美的圆角效果；
- 3) IRC (IR-Drop compensation) 调节烧录，确保后面副屏调节效果；
- 4) 主副屏 Gamma 调节 OTP，达到客户需求的主副屏亮度和色坐标要求；
- 5) 新增一组 EM Duty 最大的主副屏 Gamma 调节 OTP，达成指纹解锁时最佳主副屏显示效果；
- 6) 其他 Page 寄存器烧录，达到成品检/客户端简代码点亮目的。

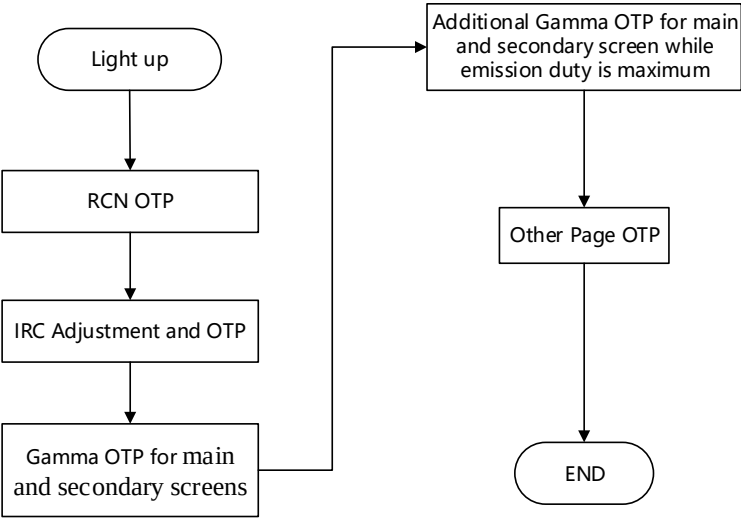


图 1 屏下摄像头模组 OTP 流程图 (OTP flow chart of UDC module)

2.2 小孔系数校对+DDIC IRC 方案

通过采用设备送图方式实现副屏 Gamma 调节小孔系数校对，然后结合小孔系数搭配 DDIC 驱动芯片^[6]的 IRC 方案，准确定位出副屏实际所需调节亮度，达到了屏下摄像头模组主副屏亮度自适应调节，主副屏无缝过渡效果。

具体方法如下：

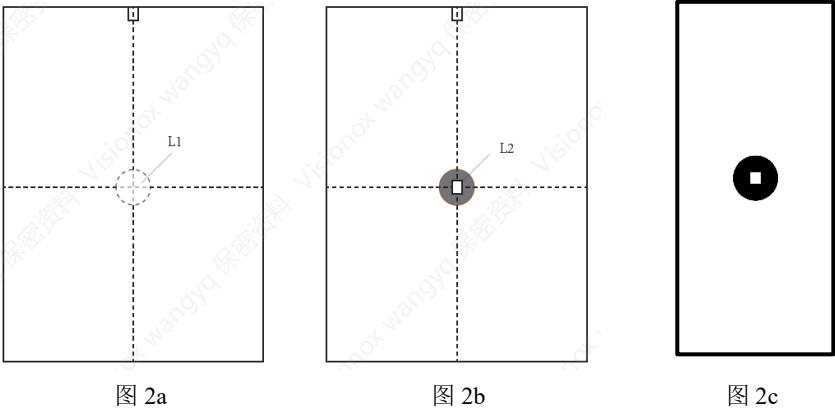


图 2 确定副屏系数 (Determination of sub screen coefficient)

1) 设定 5100h 寄存器值为 07FFh, 用测量屏幕中心点位置处亮度 L1——主屏亮度, 如图 2a 所示;

2) 产线设备送图 (如图 2c, 中间黑圈与光学量测设备胶套相切, 中间白圈同副屏尺寸), 实现副屏大小相同的孔在屏幕中心位置显示, 测量此时中心点的亮度 L2, 如图 2b 所示, 计算副屏系数 M ($M = L1/L2$);

3) 以 51,07,FF 设定亮度下测量得到的系数 M, 分别得出副屏不同 51 值下的亮度, 例如 5100h 寄存器值为 07FFh, 主屏亮度 L1 为 410nit 时, 副屏亮度 $410/M$ nit;

4) 依据目前像素电路架构和 IR-Drop 模型 (如图 3), 理想状况下亮度 $Lumin \propto (ELVDD - Data)^2$, 实际应用中因设计及走线原因存在电阻值, 亮度 $Lumin \propto (ELVDD_x - Data)^2 = (ELVDD - I_{ELVDD} \times R - Data)^2$, 依据以上公式, 为解决屏体 IR-Drop 造成的影响, 必须满足 $(ELVDD - Data)^2 = (ELVDD_x - Data')^2$, 需调整驱动芯片输出的 Data 电压符合以下公式:

$$Data' = Data - (ELVDD - ELVDD_x);$$

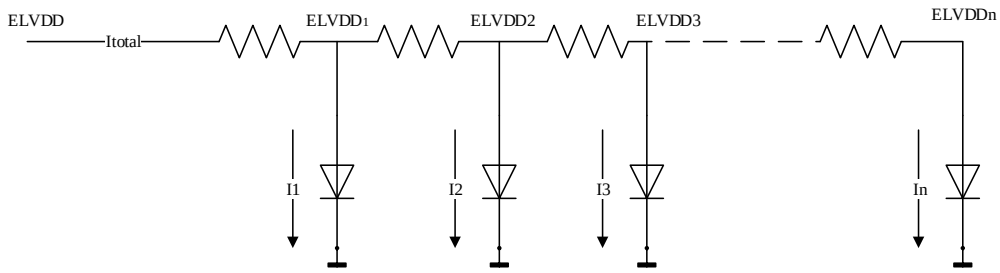


图 3 IR-Drop 模型 (IR-Drop Module)

$$dELVDD_1 = I_{total} \times R$$

$$dELVDD_2 = (I_{total} - I_1) \times R$$

$$dELVDD_n = (I_{total} - \sum_{i=1}^{n-1} I_i) \times R$$

$$ELVDD_1 = ELVDD - dELVDD_1$$

$$ELVDD_n = ELVDD - (n \times I_{total} - \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) I_i) \times R$$

5) 采用如上方法, 可自适应调节主副屏的亮度差, 达到主副屏完美过渡效果。

2.3 UDC+UDP 方案

通过驱动芯片实现屏下指纹解锁, 可替代终端 AP 蒙层算法处理, 方便简化终端 AP 操作处理, 主副屏各增加一组 EM Duty 最大的 Gamma, 实现指纹解锁时最优主副屏效果, 优化指纹解锁时序, 最大程度改善解锁时的闪烁问题, 达到了屏下摄像头和屏下指纹模组高效解锁, 主副屏无缝过渡效果。

具有方法如下:

1) 指纹解锁时, 指纹区会调用一组局部高亮 LHBM (Local High Brightness Mode) Gamma, 为确保指纹区亮度以准确解锁, 需将 EM Duty (低电压占比) 调至最大;

2) EM Duty 变动时, 屏体亮度亦会整体变亮, 为确保指纹周围背景区亮度不变, 需提升 Source 电压, 从而平衡 EM Duty 改变的亮度, 达到指纹背景亮度不变的效果;

3) 由于主副屏驱动电压的差异 (如图 4), 主副屏需在 EM Duty 最大时再增加两组 Gamma 调节烧录, 从而确保当前主副亮度不突变, 获得最优的主副屏效果;

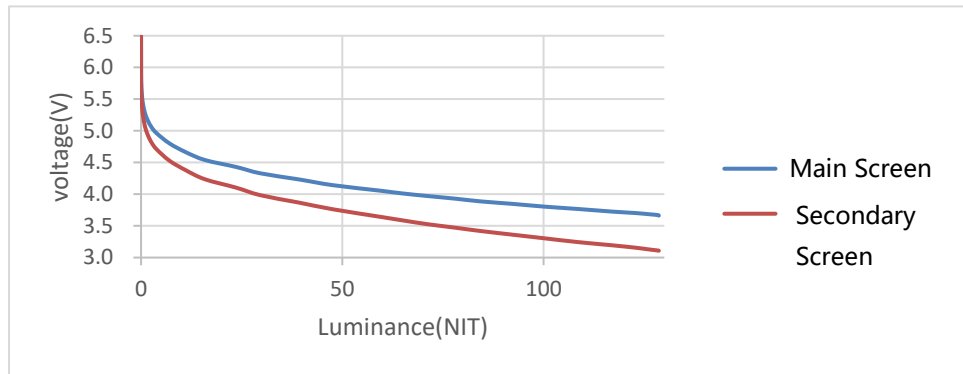


图 4 主副屏驱动电压差异（Driving voltage difference between main and auxiliary screens）

4) 从图 4 中可看出，实现主副屏相同的显示效果，副屏相对主屏需采用更低的驱动电压，故主副屏需分别调节 Gamma，达到相同的亮度和色坐标，实现浑然一体的全面屏显示效果；

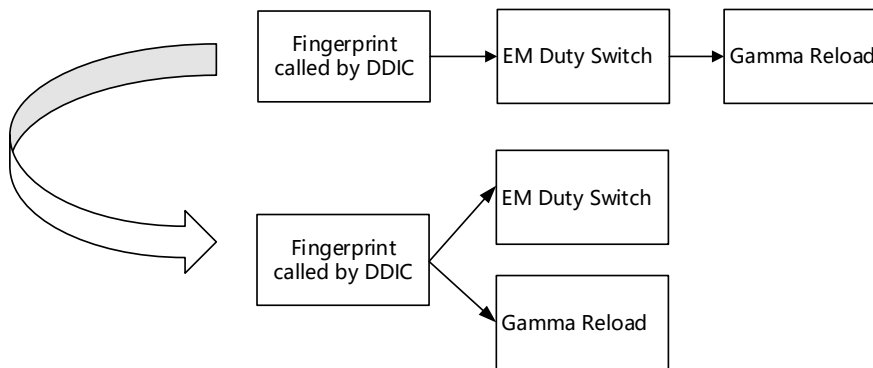


图 5 指纹解锁时序优化（Optimization of fingerprint unlocking timing）

5) 指纹解锁时，采用优化前时序时，主屏会突兀的闪一下，影响屏下指纹应用效果；

6) 采用优化后的时序（如图 5），EM Duty 切换引起的亮度突增与 Gamma Reload 实现的亮度降低达到平衡，最大程度改善解锁时的闪烁问题。

3 结束语

本方案采用设备送图方式实现副屏 Gamma 调节小孔系数校对，取代产线定位治具作业，大大提升生产效率和成本。采用副屏 Gamma 调节小孔系数校对并结合驱动芯片的 IRC 方案，达到了屏下摄像头模组主副屏亮度自适应调节。DDIC 实现屏下指纹解锁，取代终端 AP 蒙层算法，可进一步简化终端 AP 操作处理。主副屏各增加一组 EM Duty 最大的 Gamma，指纹解锁时主副屏各自调用 EM Duty 最大的 Gamma，维持当前主副亮度差异不突变，从而获得最优的主副屏效果。采用优化的指纹解锁时序方案，相比 HBM+AP 蒙层方案，具有更佳的解锁效果，极大程度改善解锁闪烁问题，使得全面屏在屏下摄像头+屏下指纹的基础上得以完美实现（如图 6 所示），极大地提升了终端用户体验。

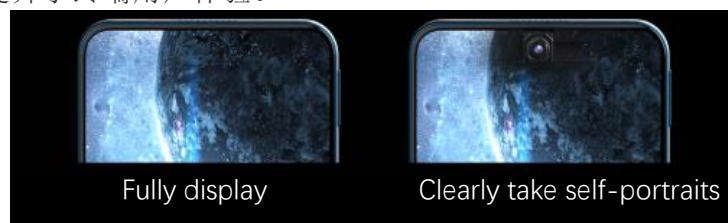


图 6 维信诺屏下摄像量产方案效果 Effect of Visionox UDC mass production scheme

参考文献:

- [1] Z Wang. , Y. Chang,, Q. Wang, Y. Zhang, et al., Self-Assembled Cathode Patterning in AMOLED for Under-Display Camera, SID Digest, pp. 811 – 814 (2020)
- [2] Yung-Hui Yeh, Shu-Tang Yeh, et al, “Foldable AMOLED with Advanced Gas Barrier by Solution Coating,” SID2018, 24-1 (2018).
- [3] Wei-Chung Chen, Wei-Tong Liou, et al, “Flexible AMOLED Display Fabricated by Mask-less Digital Lithography Technology,” SID2019, 178 (2019).
- [4] Park J, Fujii M, Moon J, et al., The Method to Compensate IR-Drop of AMOLED Display. In SID Symposium Digest of Technical Papers, 2019 June; 50(1): 81-84.
- [5] Zhong Y, Wong MD. Fast algorithms for IR drop analysis in large power grid. In Proceedings of the 2005 IEEE/ACM International conference on Computer-aided design. IEEE Computer Society 2005 May; 351-357.
- [6] Hyunchul Kim, Sun-il Chang, Sang Young Youn, et al., OLED display Gamma LUT optimization based on Principal Component Analysis, SID Digest, pp. 463 – 466 (2020)

光照对 TFT 特性的影响

郭双, 杜哲, 葛泳, 杨光, 赵东方, 郭子栋

(维信诺科技股份有限公司, 河北固安, 065500, guoshuang@visionox.com)

摘要: AMOLED (Active Matrix Organic Light Emitting Diode) 因其出色的色彩及低功耗性能, 现已取代 AMLCD (Active Matrix Liquid Crystal Display) 成为手机的主流显示技术, 因此低温多晶硅薄膜晶体管 (LTPS TFT) 也被广泛应用, 然而部分应用领域 TFT 的工作环境比较恶劣, 对其性能稳定性有了更高的要求。比如在光照下, TFT 的漏电流会增加, 其特性曲线也会偏移, 造成显示不良。本文主要研究了不同光照强度及光照时间对 TFT 特性的影响, 同时比较了背光和顶光条件下的光行为。解释了 TFT 漏电流增大和曲线偏移的不同机理, 并提出了工艺改善方向。

关键字: 主动矩阵有机发光二极管面板, TFT 特性, 光照漏电流

Influence of illumination on TFT characteristics

GUO Shuang, DU Zhe, GE Yong, YANG Guang, ZHAO Dongfang, GUO Zidong

(Visionox Technology Inc. Gu'an, Langfang, 065500, CHN, guoshuang@visionox.com)

Abstract: AMOLED has replaced AMLCD as the mainstream display technology for its excellent color and low power consumption, consequently LTPS TFTs have been widely used. However, the working condition of TFT in some fields is relatively harsh, which requires higher performance stability. For example, under light, the leakage current of TFT will increase, and its characteristic curve will also deviate, resulting in poor display. This paper mainly studies the effects of different light intensity and light duration on TFT characteristics, and compares the light behaviors under backlight and toplight conditions. The different mechanisms of TFT leakage current increase and curve migration are demonstrated, and the direction of process improvement is put forward.

Keywords: AMOLED, TFT characteristics, light leakage current

1. 引言

低温多晶硅薄膜晶体管 (TFT) 已被广泛地应用于平板应用, 如有源矩阵液晶显示器 (AMLCDs) 和有源矩阵有机发光二极管 (AMOLEDs) [1] [2]。与非晶硅 (a-Si) TFT 相比, LTPS-TFT 具有更高的迁移率和驱动电流。可获得比传统非晶硅薄膜晶体管 (a-Si) 高 100 倍以上的迁移率。高的电子迁移率使 TFT 尺寸减小。因此, 可以显著地提高显示器的分辨率[3]。但是, 由于 LTPS-TFT 是顶栅结构, 如图 1 所示, 在沟道上部一直有 Gate Metal 所以能阻断光, 但是下部没有阻断光的 Metal, 背光源高亮度增加了 LTPS-TFT 的漏电流, 光电效应会产生光生载流子, 电子或是空穴, 增加自由载流子浓度, 减小 V_{th} , 使 TFT 特性曲线发生偏移, 导致像素电压降低和显示不良增加[4]。因此, 如何改善光照对 TFT 特性的影响值得我们研究。

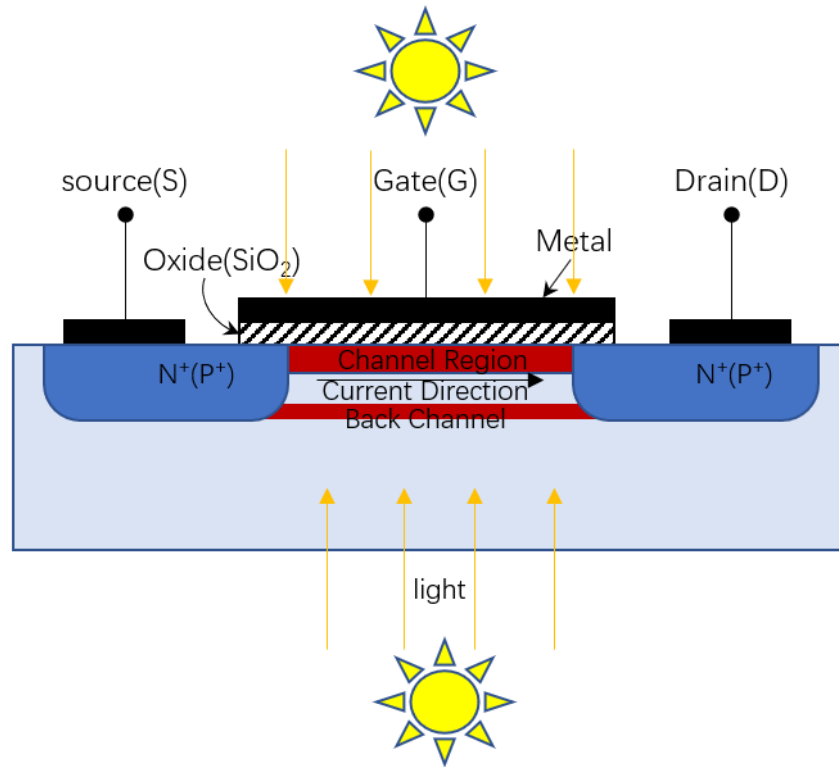


图 1. LTPS-TFT 器件结构以及光照路径示意图

Figure 1. Structure of LTPS-TFT and the light path diagram

2. 实验

TFT 器件的工艺流程如下:首先对 glass 基板 (1300mm *1500mm) 清洗, 然后采用 PECVD 技术进行三层膜 (SiNx/SiOx/a-Si) 的沉积,随后进行去氢、ELA 晶化工艺形成 p-Si, 紧接着对其进行图形化刻蚀和沟道掺杂的处理, 并先后通过 PECVD 沉积 GI 层 SiOx,PVD 沉积金属 Mo 作为栅极 M1, 再对 M1 进行图形化刻蚀、S/D 离子注入, 然后进行 CI、ILD 的沉积、接触孔刻蚀以及 M3 的沉积, 最后进行平坦化层、阳极的沉积。在器件的制作过程中会伴有 Oven 工艺, 其温度和时间分别是 350℃、30min。

为了能制作出更优良的器件, 我们对实验条件进行了优化: 改变三层膜 (SiNx/SiOx/a-Si) 中 a-Si 氢含量,然后对本方案进行 DOE 验证, 利用电学特性测试设备 (YAF5000) 对经过背光源照射前后的 TFT 进行特性表征, 并对结果做出机理分析。

3. 结果与分析

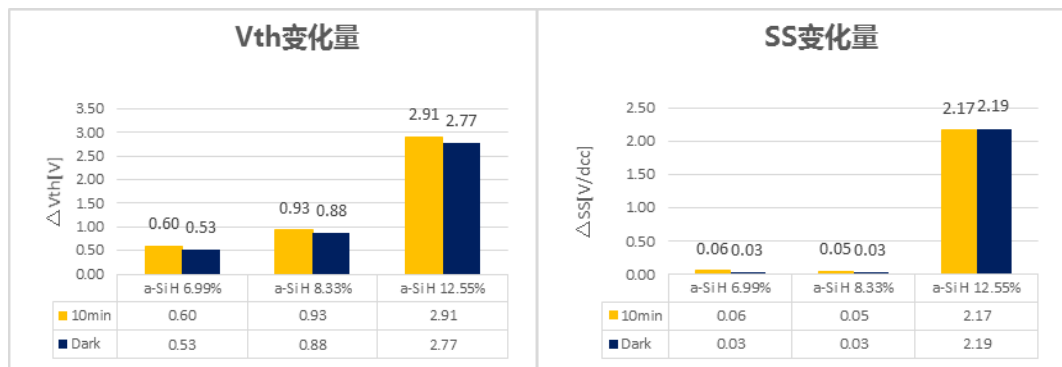


图 2.a-Si 不同 H 含量的 TFT 受光照后 Vth 和 SS 的变化量

Figure 2. The variation of Vth and SS of TFT with different H content in a-Si under illumination

图 2 为 a-Si 不同 H 含量的 TFT 在相同背光照条件（1000nit，10min）下，以及撤掉光照 2min 后 V_{th} 和 SS 的变化情况；图 3 为 a-Si 不同 H 含量的 TFT 在相同背光照条件（1000nit，10min）下，以及撤掉光照 2min 后的转移特性曲线（ $V_{ds}=-0.1V$ ），图(a)a-Si H 含量为 6.99%，图(b)a-Si H 含量为 8.33%，图(c)a-Si H 含量为 12.55%，其中黑色线代表 TFT 光照前的曲线，红色线代表光照 10min 后的曲线，蓝色线代表撤掉光照 2min 后恢复曲线。

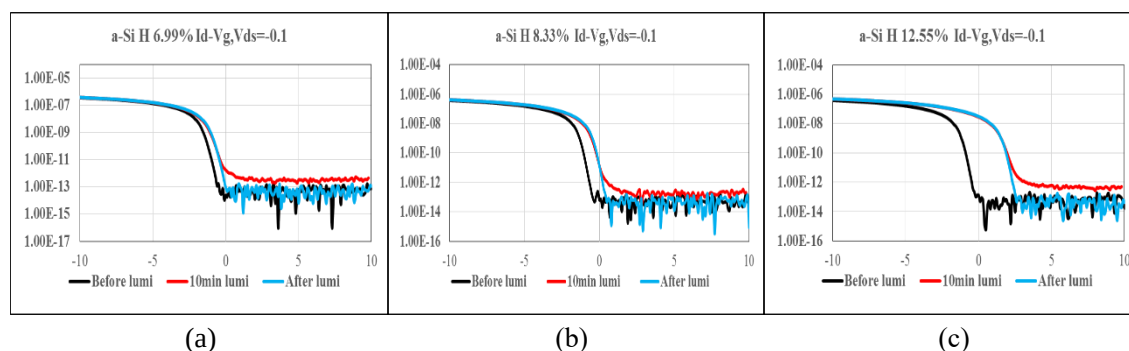
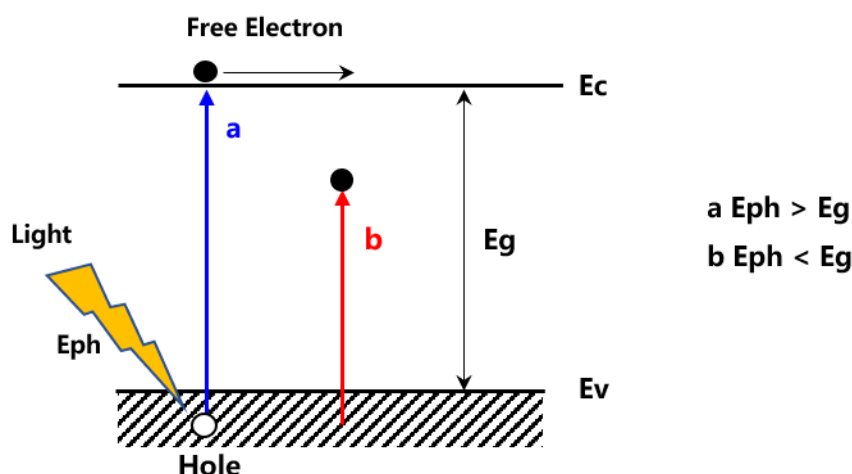


图 3.a-Si 不同 H 含量的 TFT 受光照前后的转移特性曲线

Figure 3. The TFT transfer characteristic curve with different H content in a-Si under illumination

从图 2 和图 3 可以看出，a-Si 氢含量最少的（6.99%）器件，收到光照后 TFT 的 V_{th} 变化最小，曲线偏移最少，说明 a-Si 氢含量越少，器件的耐光性越好。但是不论什么条件，在撤掉光照后曲线和特性不能恢复至初期状态。

机理分析，a-Si 较高氢含量在去氢工艺时产生较多缺陷，后续氢活化无法完全修复，增加了沟道的缺陷，导致照光后 V_{th} 偏移变大，器件耐光性变差。曲线不能完全恢复的原因是光照射到半导体上，形成电子空穴对从而引起光电流，若 Source 和 Drain 之间有电压差，电流会流向电压较低的一侧，若受到比带隙更大的能量，电子向导带移动，受光形成的电子空穴对在去除光时形成停止移动，但已经形成的载流子被留在沟道里，导致无法恢复至初期电流值，如图 4 所示。



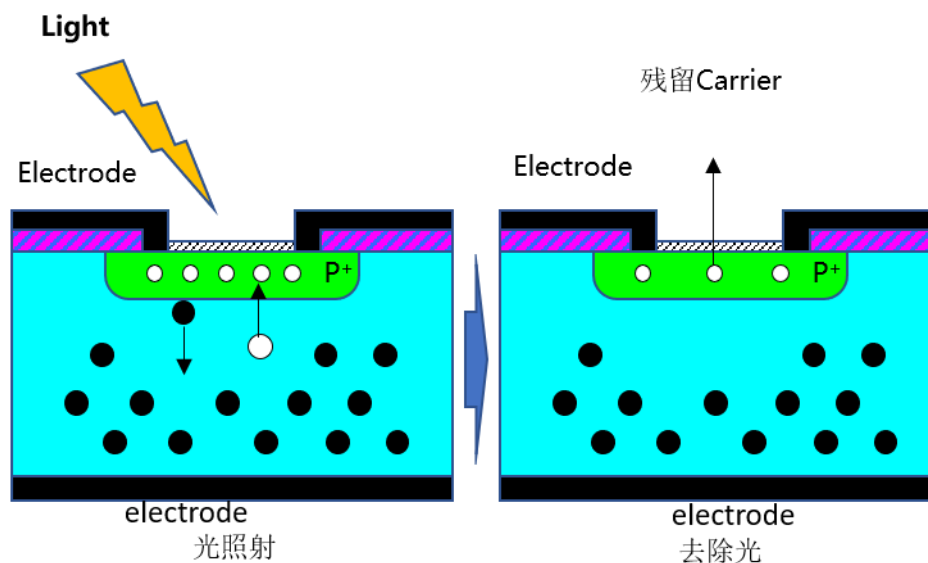


图 4.光照前后器件中载流子的分布示意图

Figure 4. Diagram of carrier distribution in device before and after illumination

4. 结论

本文研究了光照对 LTPS-TFT 特性影响。首先通过理论分析，给出 TFT 器件受光照后 V_{th} 减小和曲线偏移的原因，由于光电效应会产生光生载流子，电子或是空穴，增加自由载流子浓度，沟道缺陷的数量会直接影响器件特性的偏移程度；然后基于上述理论，我们提出了相应的优化措施，即降低三层膜（SiNx/SiOx/a-Si）中 a-Si 的氢含量，并对这种方案进行电性表征。结果表明，降低三层膜（SiNx/SiOx/a-Si）中 a-Si 的氢含量在一定程度上能够改善 TFT 的耐光性，增强器件的稳定性。

参考文献:

- [1] Tai Y H, Pai C C, Chen B T, et al. A source-follower type analog buffer using poly-Si TFTs with large design windows[J]. IEEE Electron Device Letters, 2005, 26(11):811-813.
- [2] Hong S, Jeon C, Song S, et al. Development of commercial flexible AMOLEDs[J]. Joint, 2014, 45(1).
- [3] Nishibe T, Nakamura H. 16.4: Value - Added Circuit and Function Integration for SOG (System - on Glass) Based on LTPS Technology[C]// Sid Symposium Digest of Technical Papers. John Wiley & Sons, Ltd. 2006:1091-1094.
- [4] Tai Y H, Kuo Y F, Lee Y H. Photosensitivity Analysis of Low-Temperature Poly-Si Thin-Film Transistor Based on the Unit-Lux-Current[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2008, 56(1):50-56.

高分辨率高刷新面板显示均匀性研究

王玲, 卓然然, 张兵, 鲁建军, 解红军, 盖翠丽, 丁立薇

(维信诺股份有限公司, 河北廊坊, 065500, wangling@visionox.com.cn)

摘要: 目前, AMOLED(Active Matrix Organic Light Emitting Diode, 有机发光二极管)显示正朝着高频高分辨率发展, 市面几款中小尺寸旗舰手机已采用 120Hz QHD+ 屏幕。在高解析度高刷新率应用下, 像素充电时间被大幅缩减, 易引起充电时间不足、data range 减小和屏体亮度均匀性下降等问题。为解决以上问题, 本文基于 7T1C LTPS pixel 电路, 从三方面提出改善措施: (1) 采用 dual data 技术延长充电时间; (2) 优化 pixel 和 GIP 设计, 降低 RC Loading; (3) 优化电路时序及电压设置, 提高充电率。通过以上措施, 可以减小扫描线及信号线的 delay 时间, 提高 pixel 驱动管充电能力, 进而改善面板显示均匀性问题。

关键字: 高分辨率, 高刷新频率, dual data 技术, 显示均匀性

Uniformity Research on High Resolution and Refresh OLED Panel

WANG Ling, ZHUO Ranran, ZHANG Bing, LU Jianjun, XIE Hongjun, GAI Cuili, DING Liwei

(Visionox Technology Inc., Hebei, Langfang, 065500, wangling@visionox.com.cn)

Abstract: Recently, AMOLED display is developing to a high specification. The industry is urgently developing QHD+ resolution, and high-frequency refresh technology. In this case, the charging time of pixels is greatly reduced, which causes the problems of insufficient V_{th} compensation, data range reduction and display mura. In order to solve these problems, this paper has taken the following measures: 1.Reducing RC Loading and delay time; 2.Improve DTFT charging capability; 3.Optimize circuit timing and voltage setting. Through the above measures, the utility model can significantly improve the charging ability, reduce delay time, prolong the charging time, and improve the display uniformity.

Keywords: high resolution, high refresh rate, dual data, uniformity

引言

近年来, 高分辨率和高刷新频率显示由于高清流畅的画面显示而成为 AMOLED 面板的一个主流发展方向, 多家终端厂商相继发布 120Hz QHD+ 高端手机 [1-3]。但 120Hz QHD 面板的显示不均仍然是各面板厂面临的主要难题, 原因是 QHD panel 刷新频率从 60Hz 增加到 120Hz 后, 行时间不足 3 μ s, 扣除扫描信号和数据信号的延迟时间后, 真正用于驱动管补偿的时间不足 1 μ s, 导致驱动管阈值电压补偿不完整, 进而导致亮度显示不均。

目前, 中小尺寸面板普遍采用的像素电路为基于 LTPS TFT 的 7T1C 内部补偿电路, 如图 1(a)所示, 图 1(b)为典型时序图。图 1 中 M1 为驱动管, 其余 TFT 均为开关管, Cst 为存储电容。S1 为低电平时, M4 导通, DTFT G 点电压被重置 V_{ref} , 为补偿阶段做准备, S2&S3 为低电平时, M2 导通, data 电压写入到 DTFT S 点, 同时 M3 导通, DTFT 二极管连接, 电流向 G 点充电, 理想情况下, $V_G = V_{data} + V_{th}$, DTFT 截止, 并将电位保存在 Cst 上; S3 导通, OLED 阳极点被重置为 V_{ref} ; EM 为低电平时, VDD 流经 M5, M1 及 OLED, 最终流向 VSS, OLED 开始发光。

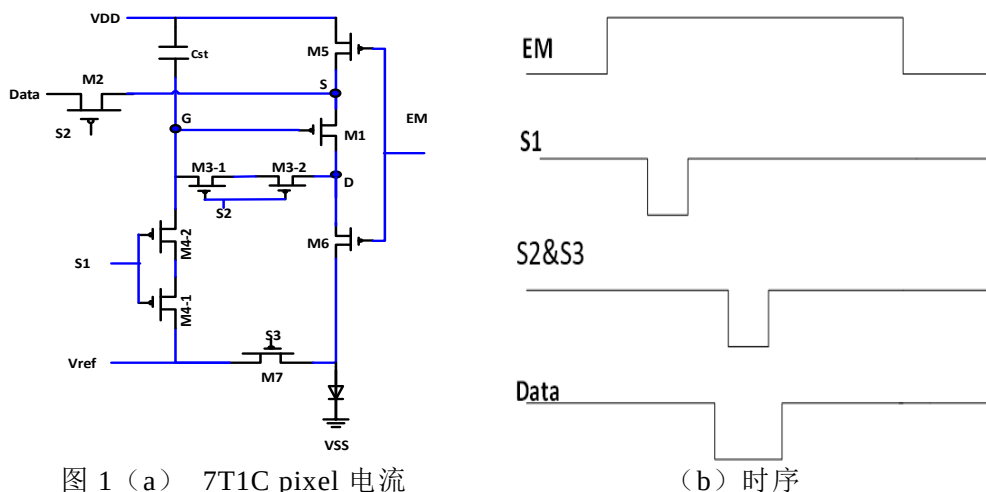


图 1 (a) 7T1C pixel 电流

(b) 时序

现有屏体一般采用 single data 设计，即一个 subpixel 一般包含一根 data 线，如图 2 (a) 所示。由于相邻两行像素共用一根 data 线，因此两行的 S2 时间不能交叠，如图 2 (b) 所示。在高频高分辨率 (eg: 120Hz, QHD+) 应用下，分配到每一行的时间 (T_{Row}) 不足 3us，真正的充电时间为：

(1)

因此，DTFT V_{th} 补偿不充分，屏体各部分充电时间的差异会导致电流的差异及亮度的差异，造成屏体显示不均。

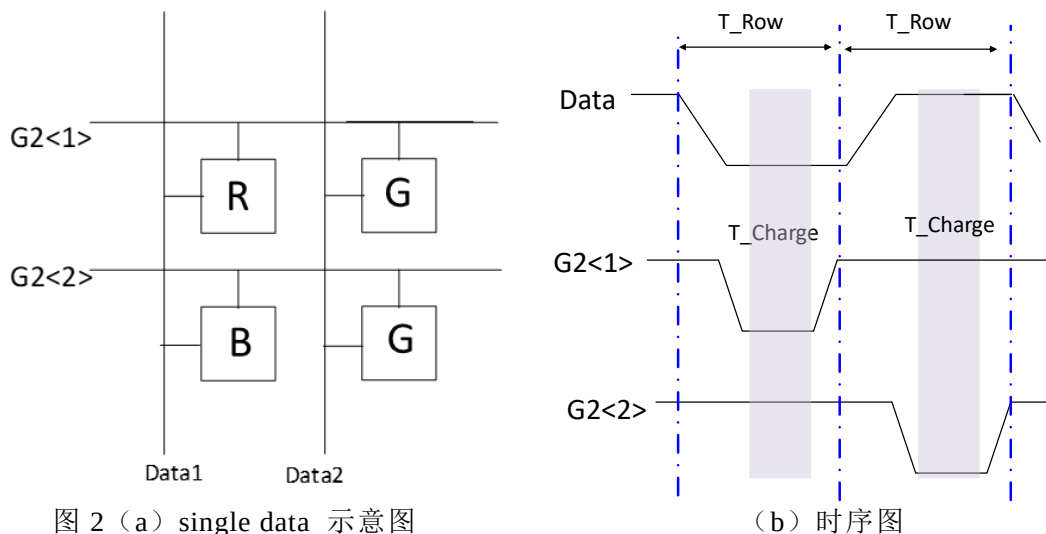


图 2 (a) single data 示意图

(b) 时序图

如图 3 所示，屏体纵向远离 IC 的方向 scan 和 data delay 较大，横向屏体中间 scan delay 较大，故屏体 A 和 D 点补偿时间差异较大。在充电不足的情况下，补偿时间的差异造成较大的电流差异，最终导致显示 Mura

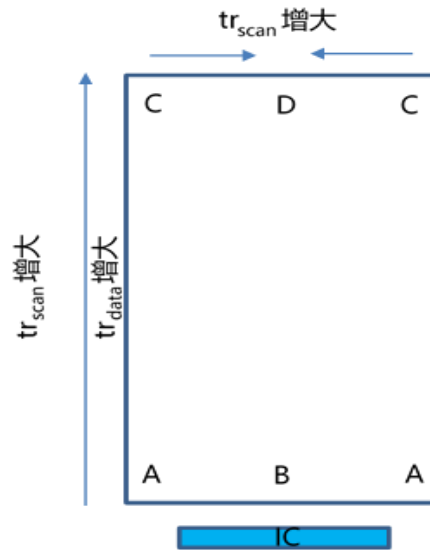


图 3 屏体 delay 时间分布

要改善以上问题，最直接的解决方案是采用 dual data 技术延长行时间，但会增加版图难度，同时增加 data 线数目。其次，需要尽可能减小 data 和 scan delay 时间，选用带载能力较强的 IC，或在设计中优化 pixel 和 GIP，减小 data 及 scan 的 RC loading，同时本文还提出优化电路时序的方法，以下是详细介绍内容。

1. 采用 Dual data 方案延长充电时间

在 120Hz QHD 应用时，采用图 4 (a) 所示的 dual data 方案可以大幅增加行时间。如图 4 (a) 所示，每个 subpixel 包含两根 data 线，相邻两行采用不同 data 线，故两行 S2 低电平时间可以交叠。为了不增大 IC source channel 数目，一般采用 1:2 Mux。如图 4 (b) 所示，data 信号经 Mux1/2 后，将数据电压分别存储在 data1-1 和 data1-2 线电容上。Data1-1/2 信号稳定后，S2 可以打开，直到 Mux1/2 再次打开，因而 dual data 设计中：

$$T_{\text{Charge}} = 2 * T_{\text{Row}} - t_{\text{fdata}} - t_{\text{rscan}} - t_{\text{fscan}}$$

(2)

DTFT 补偿时间显著增加，进而缓解 Vth 补偿不足的难题。当 DTFT Vth 补偿比较充分时，即使屏体不同位置 delay 时间仍然存在差异，但 G 点电压变化较小，屏体亮度差异较小。因此 dual data 方案是解决高频高刷新应用中亮度均匀性难题最直接最有效的解决方案。

尽管如此，dual data 设计也存在其固有的缺点，最直接的问题是每个子像素 data 线增加了一根，因而在有限的版图空间下，layout 更加困难，对工艺提出的要求更高。其次，屏体 data 线数目加倍，为了不增加 IC source channel 数目，需要增加 mux，因而屏体下边框会相应增加。此外，若屏体中 AA 通孔或屏下摄像头的需求，需要绕孔的 data 线数目加倍，不利于 AA 孔窄边框的实现。综上所述，屏体设计是否采用 dual data，需要根据实际需求综合评估。

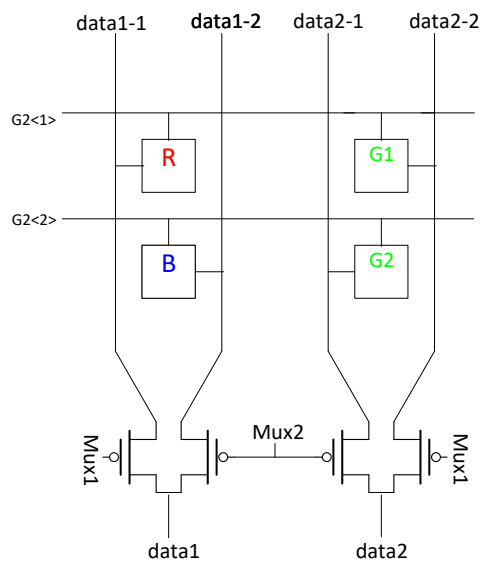
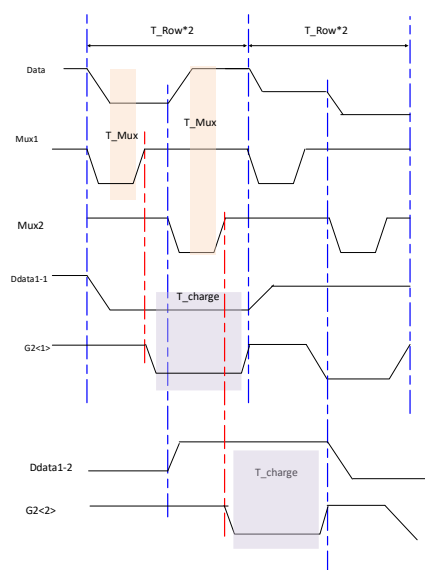


图 4 (a) dual data 电路示意图



(b) dual data 时序

2. 优化 GIP & pixel 设计，减少 RC loading

上文中提到，采用 dual data 设计可以延长 DTFT 充电时间，但并非所有屏体均可以采用 dual data 设计。从公式 (1) 中可以发现，scan 和 data 的 delay 时间对充电时间有较大的影响，因此，一方面需要选用驱动能力较强的 IC，另一方面阵列设计中要对 pixel 和 GIP 进行优化，尽可能减少 RC loading。

在 pixel 设计中，主要通过优化 layout，减少 scan 及 data 线上的电容，减小开关管尺寸实现。在 GIP 设计中，若空间允许，可以采用多组 SCK，减小 SCK 线上的 RC loading。如图 5 所示，常规 GIP 设计采用的 2SCK 技术，若采用 4SCK 技术，每根 SCK 的 RC loading 几乎可以减半，进而有效减少 scan 的 delay 时间。

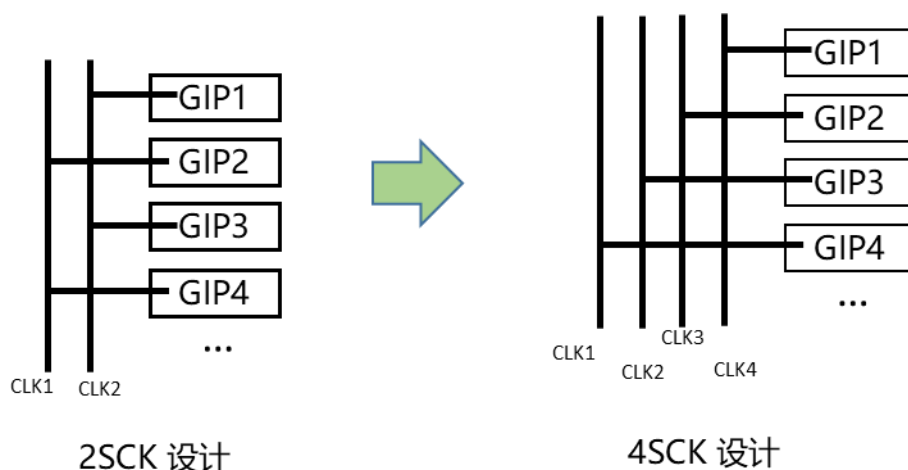
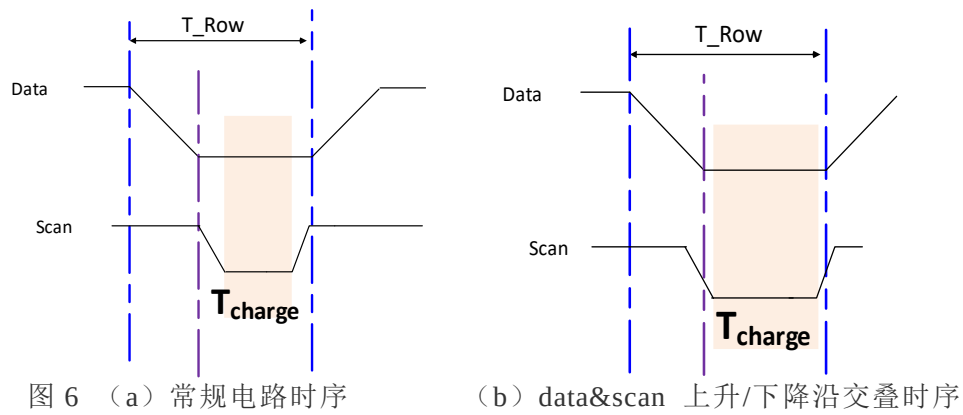


图 5 GIP 2SCK 和 4SCK 设计

3. 优化电路时序，使 data 和 scan 上升/下降沿交叠，延长充电时间

常规设计中为了避免 data 电压写入错误，一般采用图 6 (a) 所示时序，即: data 电压电平稳定后，scan 再打开，因而 scan 和 data 上升/下降沿完全没有交叠。但该时序在 120Hz QHD+应用下略显保守，导致充电及补偿时间严重不足。因此，建议采用图 6 (b) 所示时序，将 scan 和 data 上升/下降沿部分交叠，所交叠时间可以用来补充充电时间。具体交叠时间需要根据实际屏体调试结果确定。



结论

本论文首先分析了高频高分辨率屏体应用下亮度不均的原因，随后从三个方向提出了改善方案。Dual data 设计是最直接最有效的改善方案，可以显著增加充电及补偿时间，改善亮度均匀性，但该方案对工艺要求较高，且易导致边框尺寸较大。优化 pixel 和 GIP 设计，减小 scan 和 data RC loading 可以减小 delay 时间，一定程度上缓解充电不足的问题。此外，在屏体产出后，可以根据实际情况优化时序，将 scan 和 data 上升/下降沿部分交叠，也可以改善面板亮度不均的问题。

参考文献：

- [1] 陈志强, 刘晓彦. 低温多晶硅显示技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006:5-136.
- [2] Samsung Display Co., Ltd., Seung-Kyu, Asansi, “DISPLAY PANEL AND ORGANIC LIGHT-EMITTING DIODE DISPLAY INCLUDING THE SAME”, Patent US20150371606A1 (2015)
- [3] Soondong Kim, *et al.*, “A Novel De-Mux and 120Hz Driving Technology for High Resolution OLED Displays”, SID Symposium Digest of technical papers 42-4, 540-542 (2018)

AMOLED 内折模组的弯折性能提升研究

林 昶, 乔贵洲, 袁 波

(昆山工研院新型平板显示技术中心有限公司, 昆山, 215300, linchang@visionox.com)

摘要: 研究了 AMOLED 模组结构在内折半径 R1.5mm 下的弯折性能。通过仿真分析, 确定盖板与偏光片之间 OCA 所受应变幅度最大。增加 OCA 厚度、提升 OCA 的粘附力, 可以实现常温动态弯折 ≥ 30 万次、温湿度静态弯折 ≥ 240 小时水平。该内折全模组的其它机械可靠性指标均在业内处于领先地位, 为柔性内折显示的应用提供了保障。

关键字: AMOLED, 内折, 动态弯折, 静态弯折

Studies on bending property of infolding AMOLED

LIN Chang, QIAO Guizhou, YUAN Bo

(Kunshan New Flat Panel Display Technology Center Co.,Ltd., Kunshan, 215300, CHN,
linchang@visionox.com)

Abstract: The bending performance of AMOLED module structure with inner bending radius of 1.5mm was studied. Through the simulation analysis, it was determined that the OCA layer between the cover window film and the polarizer bore the maximum strain. By increasing the thickness of OCA and enhancing the adhesion of OCA, dynamic bending at room temperature achieved ≥ 300000 times, static bending under specific temperature and humidity achieved ≥ 240 hours. The other mechanical reliability of the infolding module was in the leading position in the OLED field, which provided guarantee for the application of infolding display.

Key words: AMOLED, infolding, dynamic bending, static bending

1 引言

柔性 AMOLED 显示技术具有的自发光、广视角、反应时间短、可制作大尺寸与可挠曲等特性, 近年来在商业化方向快速发展, 内折终端产品是其发展方向之一^[1]。2019 年起三星陆续上市内折半径 R1.5mm 的 Galaxy Fold、Galaxy Z Flip, 摩托罗拉上市了水滴形内折半径 R4mm 的 Motorola Razr, 华为、小米等也公布了相关柔性内折屏的技术专利与概念机信息。柔性内折 AMOLED 显示技术越来越受到市场的关注^[2]。

柔性 AMOLED 全模组主要是由盖板 (Cover Window Film)、偏光片 (Polarizer)、触摸层 (Touch Panel Layer)、AMOLED 显示层、支撑膜 (BPF)、金属支撑片 (Metal Sheet) 组成, 通过光学透明胶 (OCA)、压敏胶 (PSA)、泡棉 (Foam) 来进行连接, 如下图 1 所示。最外层为盖板, 通常为无色透明聚酰亚胺 (CPI) 或超薄玻璃 (UTG)。触摸层分为外挂式和集成式, 其中, 外挂式由金属网络或银纳米线集成在柔性衬底上, 集成式是嵌入在 AMOLED 中 (如封装层上方)、实现全模组的超薄化。支撑膜作为 AMOLED 显示层的背面保护, 再连接金属支撑片从而可以安装固定在终端机构上。

Cover Window Film

OCA
Polarizer
PSA or OCA
Touch Panel Layer
AMOLED Layer
PSA or OCA
BPF
Foam or OCA
Metal Sheet

图 1 AMOLED 全模组结构

Fig.1 AMOLED full module structure

当柔性 AMOLED 屏幕沿某一中线内折时，全模组弯折能力与中性层位置、材料材质、弯折条件等密切相关^[3]。在很小的弯折半径下工作，柔性 AMOLED 屏幕容易出现因受力问题而造成膜材受损、膜材与胶材之间发生剥离的问题，尤其是盖板与偏光片之间的 OCA 胶层应变比较大，常常会产生边缘气泡、甚至剥离现象。因此，如何改善内折全模组结构中，盖板与偏光片之间的 OCA 应力应变，成为了多层堆叠结构屏幕所面临的一大问题。本文重点研究影响盖板与偏光片之间应变的因素，从而进行调整，避免弯折过程对 OCA 的拉扯，减少胶层应变，提升 AMOLED 内折模组的弯折性能。

2 实验

本文所提及的 AMOLED 内折模组，屏幕长度为 154.89mm、宽度为 73.50mm、折叠方向为上下折叠，如图 2 所示。全模组结构由上到下依次为盖板、OCA、偏光片、AMOLED 显示屏（自带触摸屏）、支撑膜、OCA、金属支撑片，各部分厚度如图 3 所示。

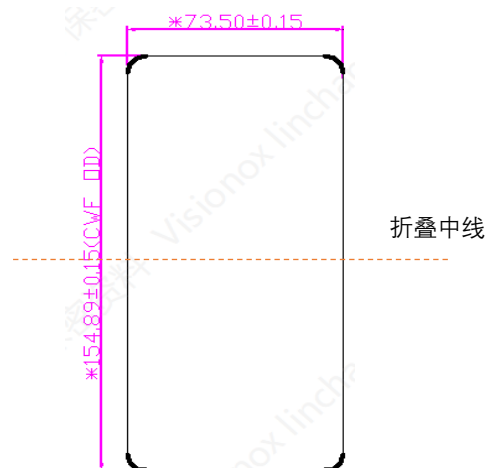


图 2 AMOLED 全模组尺寸

Fig.2 AMOLED full module dimension

Cover Window Film-50+0~10 um
OCA-25um
Polarizer-50±10um
PSA-15±5um
Touch Panel-8±3um
AMOLED-45±5um
PSA-15±5um
BPF-50±10um
OCA-50±10um
Metal Sheet-30~150um

图 3 AMOLED 全模组厚度

Fig.3 AMOLED full module Thickness

本文采用翻书式设备测试动态弯折，转速为 30rpm，弯折半径 R1.5mm，折叠次数 20 万；同时采用自治的治具测试温湿度静态弯折，温度为 60℃、湿度为 90%RH，测试时间 240 小时。在弯折测试过程中，弯折半径小，各膜层应力应变过大、同时无法协调变形，OCA 胶发生黏性流动，常出现的盖板与偏光片之间气泡、严重时发生剥离的问题，如图 4 所示。



图 4 气泡发生在盖板与偏光片之间（左）、盖板与偏光片发生剥离（右）

Fig.4 Bubbles occurred between the cover window film and the polarizer (Left)
Peeling happened (Right)

本文选用的 OCA 胶材是一种高分子聚合物，胶材弹性模量低，具有长分子链结构。同时作为典型的超弹性材料，当外力施加时，分子链由卷曲变为伸长状态，外力去除后，分子链恢复原来的状态。因此，在发生大变形后，仍可以恢复原状。另外，OCA 也具备高的粘弹性，有蠕变和应力松弛等粘弹性特征。OCA 胶材的性能，如表 1 所示。

Young' s Modulus(Pa)	Creep	Storage Modulus (Pa)	Loss Modulus (Pa)	Tg (℃)
≥400	≥9%	45000~48000	15000~20000	-40±5

表 1 OCA 胶材性能
Tab.1 OCA characteristic

3 结果与讨论

3.1 仿真结构分析

本文中设计的内折模组结构，对各膜层进行应变分析。因 OCA 胶层的粘附和填充，内折模组结构被划分为多中性层。盖板表面受压、压缩应变-2.39%，背面受拉、拉伸应变 1.52%。偏光片表面受压、压缩应变-1.92%，背面受拉、拉伸应变 1.27%。可以看出，盖板与偏光片之间的应变比较大，该层 OCA 胶层需要补强。

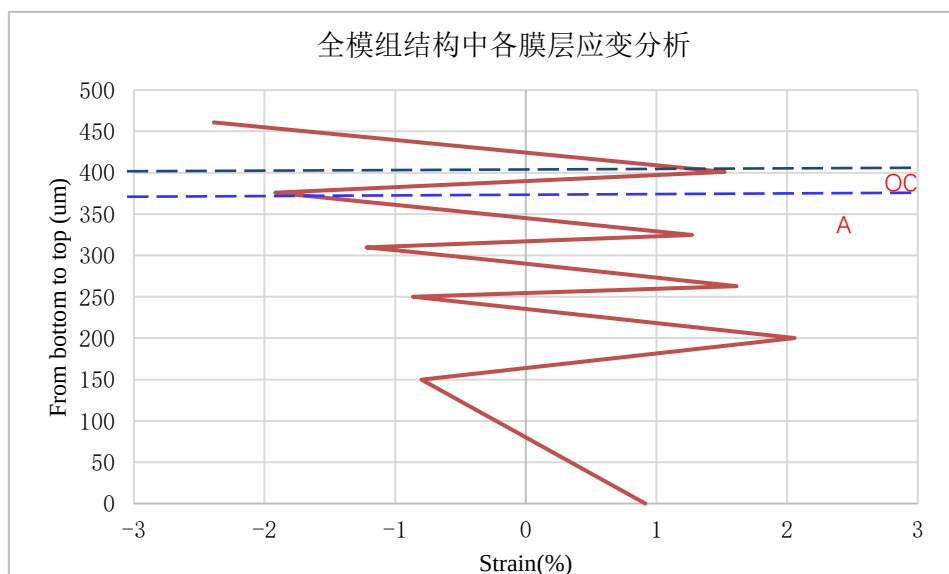


图 5 弯折中心点应变分布

Fig.5 Strain distribution at bending center

功能层	拉伸	压缩
CWF	1.52	-2.39
POL	1.27	-1.92
TOE	0.00	-1.22
TFE	0.00	-0.97
AMOLED	1.61	-0.11
BPF	2.06	-0.87
Metal Sheet	0.91	-0.80

表 2 各功能层应变情况

Tab.2 Strain of each functional layer

3.2 不同厚度的OCA影响

OCA 胶层作为盖板与偏光片膜层之间的粘结，其厚度易于调整，因此探究 OCA 胶层厚度对应力应变的影响很有必要。为便于比较，厚度分别取 25um、50um 进行对比，其结果如图 6 所示。由仿真结果，OCA 最大应变位置出现在弯折区以外 1mm 左右，此处易发生胶材堆积，也是测试时气泡多发位置，增加 OCA 厚度后，胶材应变降低 94.2%。

通过 OCA 胶层厚度的提高，显著地提升了内折模组的折叠性能，如表 3 所示。

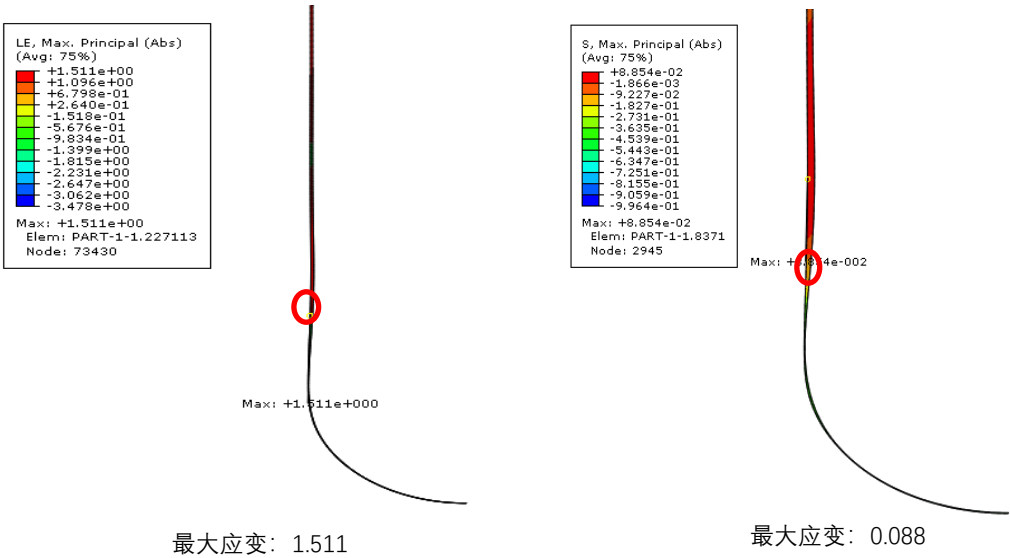


图 6 不同厚度的OCA应变影响

Fig.6 Influence of different thickness on the strain of OCA layer

OCA	常温动态弯折	温湿度静态弯折
OCA-25um	4/5 片<10W 盖板与偏光片之间气泡发生	5/5 片<44 小时盖板与偏光片剥离
OCA-50um	4/5 片 20W 外观、显示、功能 OK	5/5 片 240 小时外观、显示、功能 OK

表 3 内折模组的弯折测试结果

Tab.3 Bending test results under different thickness of OCA layer

3.3 不同型号的OCA影响

OCA 胶层高的粘结性能和剥离强度，将有利于盖板与偏光片很好地粘结。在现有

OCA 50um 基础上，选择 A、B 两款单体粘附力性能更优的 50um 的 OCA 胶，进行全模组的内折性能提升，测试结果如表 4 所示。

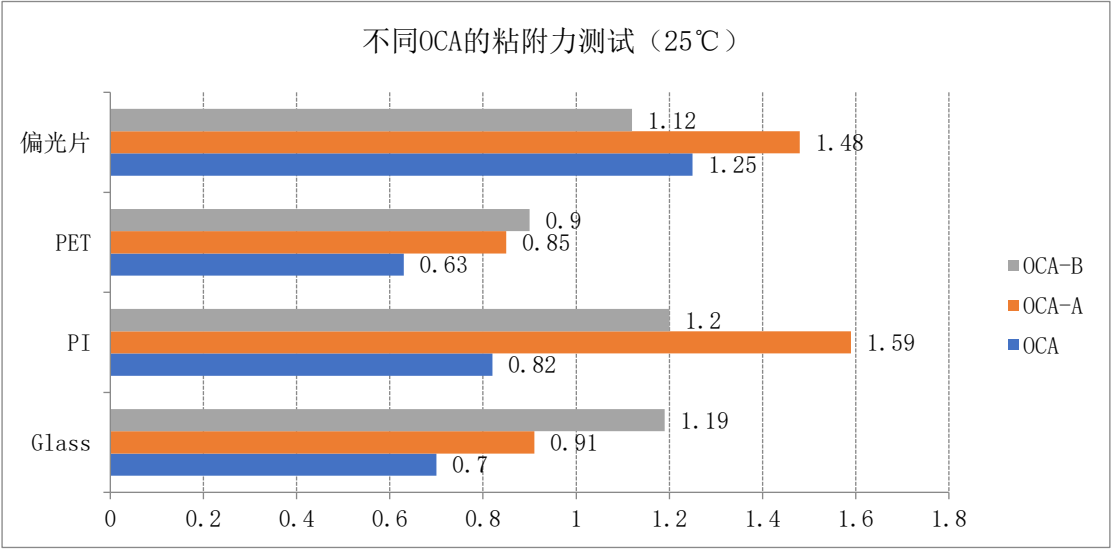


图 7 不同型号的 OCA 粘附力对比
Fig.7 Contrast of different model on the peeling force of OCA layer

OCA	常温动态弯折	温湿度静态弯折
OCA-50um	4/5 片 20W 外观、显示、功能 OK	5/5 片 240 小时外观、显示、功能 OK
OCA-A-50um	5/5 片 30+W 外观、显示、功能 OK	5/5 片 240 小时外观、显示、功能 OK
OCA-B-50um	5/5 片 25+外观、显示、功能 OK	5/5 片 240 小时外观、显示、功能 OK

表 4 内折模组的弯折测试结果
Tab.4 Bending test results under different thickness of OCA layer

3.4 内折模组的性能测试

本文所述的内折全模组在弯折半径 R1.5mm 情况下，通过仿真分析和关键胶层的优化，实现了弯折性能的提升。除此之外，也对其它机械可靠性进行测试，结果如表 5 所示。

测试项目	落笔	落球	耐刮擦	铅笔硬度
内折模组	2cm	40cm	3000 次	4B

表 5 其它机械可靠性测试结果
Tab.5 Mechanical reliability test results

4 结论

本文研究了 AMOLED 内折模组的弯折性能，针对模组结构进行应变仿真分析，并讨论了 OCA 厚度、OCA 型号等因素对在弯折半径 R1.5 下弯折能力的提升。经过对比分析，得出以下结论：

- (1) 内折模组结构中，盖板与偏光片之间 OCA 所受应变幅度最大，是弯折性能改善的重要因素。
- (2) 当盖板与偏光片之间 OCA 由 25um、提升至 50um，胶材应变降低 94.2%，常温动态弯折可以基本实现 20W 水平、温湿度静态弯折 240 小时。

(3) 当上述 OCA 粘附力进一步提升时,可以更好地提升模组的折叠性能,目前可以获得 30+W 次动弯水平、温湿度静态弯折 240 小时。

综合以上也获得了较好抗冲击性和硬度的内折模组,为 AMOLED 在柔性内折显示领域的应用提供了保障。

参考文献:

- [1] 马东阁. OLED 显示与照明——从基础研究到未来的应用[J]. 液晶与现实, 2016, 31(3): 229-241.
- [2] 王雅林. 柔性显示技术发展综述[J]. 电子测试, 2019, 8: 113-114.
- [3] 刘正周. 柔性 OLED 屏幕折叠过程及弯折性能影响因素分析[D]. 华中科技大学, 2019.

TFT特性对LTPS-AMOLED屏体电流寿命的影响

郭子栋 杜哲 葛泳 杨光 郭双 赵东方

(维信诺科技股份有限公司, 固安, 065500, guozd@visionox.com)

摘要: AMOLED (Active Matrix Organic Light Emitting Diode) 因其出色的色彩及低功耗性能, 现已取代AMLCD (Active Matrix Liquid Crystal Display) 成为手机的主流显示技术, 然而屏体的显示寿命还未达到客户完全满意的需求, AMOLED屏体寿命除了受到OLED器件寿命限制外, 也会受到LTPS基板的电流下降的影响。本文主要研究了LTPS基板电流下降的影响因素, 主要包括TFT尺寸及特性参数对屏体电流下降的影响, 屏体温度对屏体电流下降的影响, 为稳定屏体电流提出改善方向。

关键字: 主动矩阵有机发光二极管面板, 电流寿命, TFT特性

Influence of TFT characteristics on current life of AMOLED screen

GUO Zidong, DU Zhe, GE Yong, YANG Guang, GUO Shuang, ZHAO Dongfang

(Visionox Technology Co., Ltd. Guan, 065500, CHN, guozd@visionox.com)

Abstract: AMOLED has replaced AMLCD as the mainstream display technology for its excellent color and low power consumption, however, the display life of the screen has not reached the customer's full satisfaction. The life of AMOLED panel is not only limited by the life of OLED device, but also affected by the current drop of LTPS substrate. In this paper, the influence factors of LTPS substrate current drop are studied, the influence of TFT size and TFT characteristic parameters on the current drop is studied, influence of screen temperature on current drop. In order to stabilize the screen current, the improvement direction is proposed.

Keywords: AMOLED the current life TFT characteristics

AMOLED (Active Matrix Organic Light Emitting Diode) 因其低功耗、广色域、高对比度及可弯折等优势^[1], 已经逐渐取代 AMLCD (Active Matrix Liquid Crystal Display) 成为手持及穿戴设备主流的显示技术。在 AMLCD 的背光源发光模式中 TFT 充当开关的角色, 但是在 AMOLED 像素的自发光模式中, TFT 除了充当开关的作用外, 还要去驱动 OLED 发光, 因此对 TFT 的迁移率提出了较高要求, 低温多晶硅 (LTPS, Low Temperature Poly-Silicon) 技术可以保证 TFT 有足够的迁移率 ($\sim 100\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$), 但不能保证 TFT 的特性均一性^[2]。为防止 TFT 特性差异性导致显示不均, AMOLED 中加入特性补偿电路是十分必要的, 又因受到显示分辨率限制, LTPS 基板中空间有限, 手持及穿戴设备 AMOLED 显示 P 型的 LTPS 基板中 7T1C 的补偿电路最为常用^[3], 在补偿因 TFT 的 V_{th} 不均匀导致的显示不均匀性上有一定的效果, 再加上模组后期的 De-mura 技术, 可以较好的解决 TFT 特性不均引起的显示不均匀问题^[4]。

LTPS 基板中的补偿电路可以较好的保证 AMOLED 的显示均一性问题, 但是 AMOLED 屏体的显示寿命还未达到客户完全满意的需求, AMOLED 屏体寿命除了受到 OLED 器件寿命限制外^[3], 也会受到 LTPS 基板的电流下降的影响。LTPS 基板提供给 OLED 的电流是通过屏体 IC 输出的 data 信号控制的, data 信号的大小决定了 LTPS 基板提供给 OLED 的电流大小, 也就决定了 OLED 的发光亮度, 在理想情况下在相同 data 数值情况下屏体的亮度不

会发生改变，但是由于 OLED 发光效率的衰减及 TFT 器件的退化，屏体的亮度会随着时间会逐渐的衰减。本文主要研究了 TFT 特性的退化导致 AMOLED 屏体的基板电流衰减的影响因素。

对于 AMOLED 手机屏体显示 255 灰阶画面时，温度一般为 30°C 左右，但是对于中大尺寸的 AMOLED 屏体，因为亮度较高且尺寸较大，屏体的功耗和温度均会较大，温度较高会加速 TFT 器件的退化，进而加速屏体电流的衰减。下面以 12.3 寸的 AMOLED 屏体的电流寿命为例说明 TFT 器件的退化对屏体电流的影响。

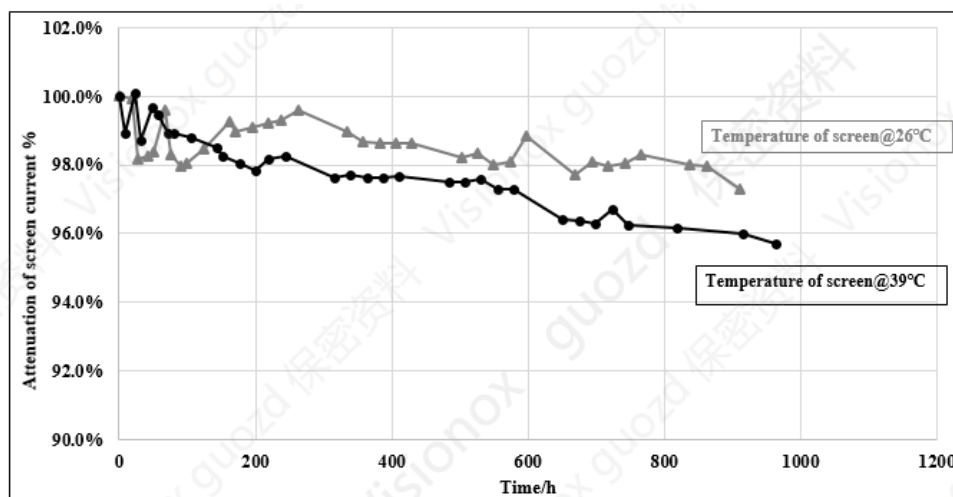


Figure 1 current life of 12.3 inch AMOLED panel at different temperatures

图 1 的 12.3 寸 AMOLED 屏体不同温度下的电流寿命

相同亮度的两块 12.3 寸 AMOLED 屏体，其中一块正常点亮 255 灰阶，待 1h 屏体稳定之后测得屏体的温度为 39°C 且未发生明显波动；另外一块屏体同样点亮 255 灰阶，但是外加风冷降温装置，待 1h 屏体稳定之后测得屏体的温度维持在 26°C 且未发生明显波动。测试两块屏体的电流寿命 > 910h，电流衰减曲线如图 1 所示，可以发现温度在 26°C 的屏体电流衰减（97.3% @ 910h）要优于温度在 39°C 的屏体电流衰减（96% @ 910h），说明屏体的温度直接影响了屏体电流寿命的衰减。为了表征 TFT 特性变化对屏体电流下降的影响，测试了与屏体相同工艺条件下的 TFT 器件在不同温度下的退化情况。

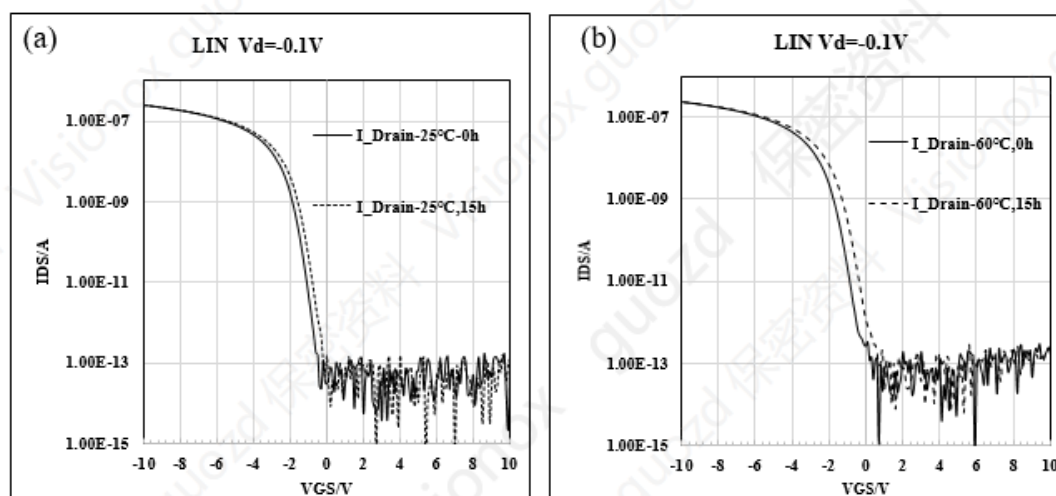


Fig. 2 characteristic degradation of TFT at different temperatures

图 2 不同温度下 TFT 的特性退化

Temperature	$\Delta V_{th}/V$	$\Delta SS/ mV/dec$
25°C	0.30	6.05
60°C	0.49	26.75

Table 1 Characteristic degradation of TFT at different temperatures

表 1 不同温度下 TFT 的特性退化

如图 2 所示，测试了 25°C 和 60°C 下相同尺寸 TFT 器件 15h 下的饱和区直流偏压稳定性，TFT 器件特性参数在不同温度下的退化情况如表 1 所示。25°C 和 60°C 下 TFT 的特性均出现退化，包括 V_{th} 的正偏及 SS 值的增加，但是 60°C 下 TFT 器件特性的退化明显劣于 25°C 下测试的器件特性， V_{th} 的正偏在 P 型 LTPS 7T1C 屏体电路中会导致屏体电流的衰减 [3]，SS 的增加表明 TFT 的界面缺陷态的增加 [5]。以上数据可以说明对于功耗较高的中大尺寸 AMOLED 屏体，控制屏体的自身温度，采取包括风冷及贴服散热膜等在内的降温措施对于减缓 TFT 退化、延长屏体电流寿命是十分必要的。

除了屏体的温度会影响 TFT 器件退化外，TFT 器件的宽长比同样会影响 TFT 器件的退化，进而影响到屏体电流的衰减。以下以基板中不同驱动 TFT 沟道宽长比的两款 P 型 LTPS 7T1C 手机 AMOLED 屏体为例阐述此问题。

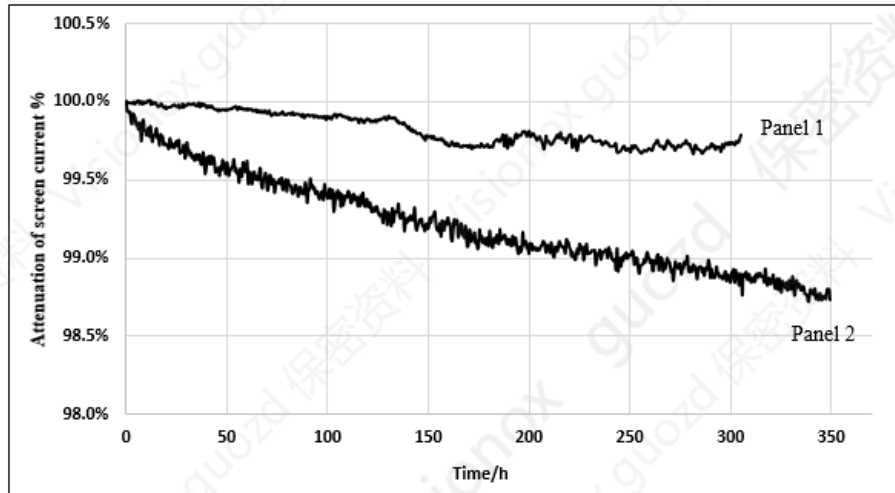


Figure 3 Current life of panels with different W/L driver TFT

图 3 不同宽长比驱动 TFT 的屏体电流寿命

如图 3 所示，测试的屏体 1 与屏体 2 超过 300h 的电流寿命，屏体 1 300h 时电流衰减为 99.73%，屏体 2 电流衰减为 98.86%。两款屏体的分辨率，开口率等数据均相近，且为同一工艺制程，寿命测试时两款屏体初始亮度相同，只有驱动 DTFT 的宽长比存在较大差异，屏体 1 的驱动 DTFT 的宽长比为 3/45，屏体 2 的驱动 DTFT 的宽长比为 3.5/21。为了对比不同宽长比的 TFT 的退化程度，测试了与屏体相同工艺条件下不同宽长比的 TFT 器件 15h 的饱和区直流偏压稳定性，TFT 器件特性参数在不同温度下的退化情况如表 2 所示。

W/L	$\Delta V_{th}/V$	$\Delta SS/ mV/dec$
3.5/21	0.275	52.85
3/45	0.255	21.67

Table 2 Characteristic degradation of TFT with different W/L

表 2 不同宽长比的 TFT 特性退化

从表 2 中可以看出，W/L 为 3.5/21 和 3/45 TFT 的特性均出现 V_{th} 的正偏及 SS 值的增

加,但是 W/L 为 3.5/21 TFT 器件特性的退化轻于 W/L 为 3/45 TFT 器件特性, V_{th} 的正偏程度不同,导致屏体电流的衰减程度出现不同[3],同时 3.5/21 TFT 器件 SS 的增加量高于 3/45 TFT 表明在相同偏压下减小沟道宽长比有利于抑制界面缺陷态的产生。通过以上数据可以证明,减小 TFT 的沟道宽长比可以在一定程度上减缓器件的退化进而减缓屏体电流的衰减。但是随着屏体的迭代,屏体的分辨率越来越高,如何在提高屏体分辨率的同时,兼顾 TFT 器件的尺寸,是阵列设计时需要注意考虑的问题。

本文主要研究了 LTPS 基板电流下降的影响因素,其中包括中大尺寸屏体由于功耗较高导致屏体温度较高时会加速基板电路中 TFT 的退化,以及基板电路中宽长比较小时,驱动 TFT 退化程度较大,同时造成屏体电流衰减明显的现象。

参考文献:

- [1]李国强,章坚武,占志伟. AMOLED 驱动电路和 LINUX 下驱动程序设计[J]. 液晶与显示, 2011, 4 : 527-531.
- [2] Yoneda K. Development trends of LTPS TFT LCDs for mobile applications[C]// Symposium on VLSI Circuits, Digest of Technical Papers, Kyoto. IEEE, 2001. 4-89114-014-3
- [3] 杨必文. AMOLED 驱动管阈值的补偿方法综述[J]. 电子质量, 2013, 000(008):4-8.
- [4] Guozhong Y, Jie Z, Jie C. Program and Read Demura Data in AMOLED Display Driver Chip [J]. Application of IC, 2019. TN873
- [5] Lin C S, Chen Y C, Chang T C, et al. Degradation of Low Temperature Polycrystalline Silicon Thin Film Transistors under Negative Bias Temperature Instability Stress with Illumination Effect[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2010, 157(2): J29-J33.

基于纳米结构空穴注入层的高效蓝光 PLED

应磊*, 钟知鸣, 彭洋, 杨伟, 彭俊彪, 曹镛

(华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室, 广州市 510640,
msleiying@scut.edu.cn)

摘要: 在有机/聚合物发光二极管中, 良好空穴的注入与传输对于提升器件性能有重要的影响, 尤其是对于最高占有分子轨道能级较深的蓝光材料。在本项研究中, 通过用全氟离聚物(PFI)和正丁醇修饰聚 3,4-乙炔二氧噻吩/聚苯乙烯磺酸盐(PEDOT:PSS), 获得了具有纳米纹理的高功函数空穴注入层, 并将其用于无空穴传输层的单层器件。通过使用这样的中间层, 基于 PPF-SO25 的 PLED 在电流效率上表现了出色的性能超过 13.0 cd A^{-1} , 这明显优于常规 PEDOT:PSS 的器件并且这是所报道的最好的单层蓝光聚合物发光二极管性能之一。不同空穴注入层的单层蓝光聚合物发光二极管的电容-电压曲线表明 PFI 的表面分布不均匀。PFI 修饰 PEDOT:PSS, 不仅起到促进高功函数空穴注入层的空穴注入作用, 而且还有可用作光提取中光散射介质的潜力。

关键字: 聚合物发光二极管, 功函数, 光提取效率, 全氟离聚物

Improving the Performance of Blue PLEDs Using a Hole Injection Layer with High Work Function and Nanotexture

Ying Lei*, Zhong Zhiming, Peng Feng, Yang Wei, Peng Junbiao, Cao Yong

(Institute of Polymer Optoelectronic Materials and Devices, State Key Laboratory of Luminescent Materials and Devices, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China, msleiying@scut.edu.cn)

Abstract: For light-emitting polymers with a deep highest occupied molecular orbital energy level used for polymer light-emitting diodes (PLEDs), the hole injection barrier and hole transport of the anode buffer layer are of vital importance for optimized electroluminescent performance. In this study, high-work-function hole injection layers with nanotextures were achieved by modifying poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate (PEDOT:PSS) with a perfluorinated ionomer (PFI) and n-butyl alcohol, and were used to achieve a single-layer device without a hole transport layer. With such an interlayer, the PLEDs based on PPF-SO25 exhibit remarkable current efficiency over 13.0 cd A^{-1} , which is significantly outperform the devices with regular PEDOT:PSS. To our knowledge, this performance is among the best reported for single-layer blue PLEDs. The bias-dependent capacitance curves of these PLEDs suggest a nonuniform surface distribution of PFI. Our findings show that the PFI-modified PEDOT:PSS not only operates as a high-work-function hole injection layer to facilitate hole injection, but also a potential inner scattering medium for light extraction.

Keywords: blue polymer light-emitting diodes, work function, light out-coupling, PEDOT:PSS, perfluorinated ionomer

1. 引言

近年来, 由于溶液加工有机或聚合物发光二极管 (OLED 或 PLED) 在大面积显示器和固态照明领域的实际应用具有巨大潜力, 因此吸引了许多研究兴趣^{[1][2][3]}。由于相对较大的电荷载流子注入势垒导致发光层中的高工作电压和不平衡的电荷载流子^{[4][5]}。因此实现高效蓝色 PLED 仍然是巨大的挑战。传统的有机发光二极管 (OLED) 的外量子效率 (EQE) 上限大约为 5%, 而高分子量的共轭聚合物, 由于较高的横截面, 其单重态激子的产生比例可能比非辐射三重态激子高得多, 因此 EQE 上限可能更高^[6]。PEDOT:PSS 是一种功函数还是相对较低的空穴注入层材料, 因此在红色和绿色 OLED 中可以实现电荷平衡和复合。但是对于平衡蓝色发光层中的空穴和电子仍然

是一项重大挑战^[7]。因此对于高性能有机蓝光发光二极管设计多层器件结构是级联空穴注入的有效策略^{[8][9]}。

多层器件结构及其制造工艺相对复杂，尤其是对于溶液加工的聚合物发光二极管，因此致力于将空穴传输材料与发光聚合物集成在一起，可以简化器件制造并保持相对较高的电致发光（EL）性能^[10]。其中一个简单的策略是增加阳极功函数

（WF）并直接缩小空穴注入势垒^[11]。例如掺杂 PFI，可以将铟锡氧化物（ITO）阳极的功函数从 5.2 eV 增加到 5.9 eV，这同时减少了界面处的激子猝灭，并显著提高了 OLED 和钙钛矿的 EL 性能^{[12][13]}。因此应开发出一种高效的空穴注入层

（HIL），使其能同时促进从阳极的有效空穴注入，并充当电子阻挡层，以防止在阳极附近形成激子。以上优点能使得 HIL 可以应用在各种有机电子设备中，包括基于有机或钙钛矿材料的发光二极管，有机场效应晶体管等。

在目前已报道的蓝光的聚合物中，含 S，S-二氧-二苯并噻吩（SO）单元的聚合物是最受关注的材料之一^[14]。尽管 SO 单元具有很强的吸电子能力以及很强的电子注入和传输能力，但是在空穴注入和传输的能力较弱^[15]。因此，科研人员致力于解决 n 型 SO 基聚合物的电荷不平衡问题^[16]。例如构建将空穴传输物质结合到阳极界面层或发光层中或将空穴传输物质共价结合到聚合物骨架中，这可以明显提高 SO 共轭聚合物的多层器件的性能^[15]。

在这项工作中我们用 PFI 和正丁醇修饰了聚 3,4-乙撑二氧噻吩：聚苯乙烯磺酸盐（PEDOT:PSS），得到了具有纳米纹理的高功函数的空穴注入层（HIL）。考虑到 PEDOT:PSS 和 PFI 之间的表面能差异很大，低表面能 PFI 可以自组装在表面上，因此可以诱发纳米纹理^[12]。PFI 掺杂 PEDOT:PSS 同时提高了 PLED 的电学和光学性能。它们不仅具有高功函数的 HIL 的功能，还可以匹配聚 [9,9-双（4-（2-乙基己氧基）苯基）芴-S，S-二氧-二苯并噻吩]（PPF-SO25）深能级的最高占据分子轨道（HOMO）能级（图 1 所示的分子结构），同时也能用作光提取的内部散射介质，以进一步提高外部量子效率。我们获得了无空穴传输层的 PPF-SO25 器件，其发光效率 $> 13.0 \text{ cd A}^{-1}$ ，这是迄今为止报道的单层的蓝光 PLED 最高的效率。

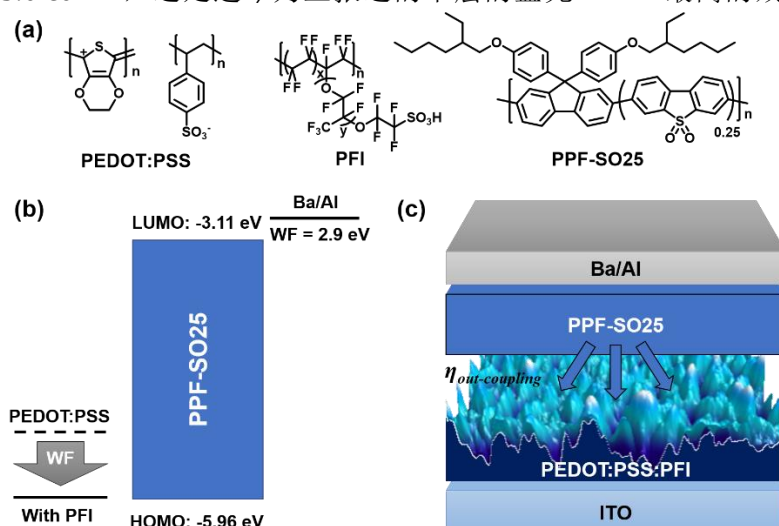


图 1. (a) PEDOT:PSS, PFI 和 PPF-SO25 的分子结构。通过提高(b)阳极功函数和 (c)光提取效率，改善了基于 PPF-SO25 的 PLED 器件性能。

2. 结果与讨论

2.1 PFI 修饰的空穴传输层的薄膜形貌

首先探究了低表面能的 PFI 对溶液加工发光层的影响。质量比为 (PEDOT:PSS): PFI = 1: 1、1: 5 和 1: 9 的 HTL 分别表示为 HTL-1, HTL-2 和 HTL-3。我们测试了对二甲苯（PPF-SO25 的溶剂）在不同 HIL 膜层上的接触角，测试结果如表 1 所示，对二甲苯在传统 PEDOT:PSS 上的接触角只有 11° ，具有良好的铺展性。另一方面，对二甲苯在 PFI 掺杂 HIL 薄膜上的接触角增大到 $46 \pm 3^\circ$ ，比在纯 4083 膜层上的

接触角大很多，这与富集在膜层表面的 PFI 有较低的表面能和较强的疏液性有关。为了改善溶液的浸润性，我们用正丁醇对 HIL 薄膜进行后处理，处理后的接触角降低到 $41 \pm 2^\circ$ 。后续的器件制备过程中我们也确认经过正丁醇处理后，PPF-SO25 溶液在 HIL1-3 的浸润性和铺展性有一定程度的改善。

	Contact Angles ($^\circ$) ^a		R_{rms} (nm)	
	Before	After	Before	After
PEDOT:PSS	11.44±0.01	10.64±0.02	1.8	2.5
HIL-1	48.83±0.17	42.68±0.10	4.7	5.6
HIL-2	44.62±0.16	39.26±0.23	7.2	11.1
HIL-3	43.76±0.26	41.35±0.20	5.6	6.4

表 1.正丁醇冲洗前后接触角和粗糙度对传统 PEDOT: PSS, HIL-1, HIL-2 和 HIL-3 的变化。

为了进一步研究薄膜的形态，我们使用原子力显微镜（AFM）扫描了掺有不同比例 PFI 的 PEDOT: PSS，结果表明在用正丁醇冲洗表面后，润湿性和粗糙度均增加，这有利于增强光散射，提高器件光取出效率。

通常低表面能的 PFI 在加工过程中会在混合膜的顶部富集。通过薄膜中的导电各向异性验证了 PFI 的表面富集。垂直方向上，在给定电压下，绝缘性 PFI 的含量越大，电流越小。而在平行方向上，含 PFI 的薄膜显示出导电性的增强。

2.2 无 HTL 的蓝色 PLED 的电致发光性能

由于含有 PFI 的 HIL 的功函数足够高，因此使用了简单的 ITO/HIL（50 nm）/PPF-SO25（70 nm）/Ba（4 nm）/Al（200 nm）制备了基于 PPF-SO25 无 HTL 的 PLED 器件。如图 2a 所示，带有 PFI 的器件的电流密度（J）和最大亮度（Lmax）随着 PFI 比的增加而衰减，尤其是在电压 >6 V 时，这是因为绝缘 PFI 会增加器件电阻。在这样高功函数阳极的影响下，基于 PFI 的 HIL 的器件中显示出 2.8 V 的启亮电压，该电压几乎与 PPF-SO25 的光学带隙相同，并且比使用传统 PEDOT:PSS 作为 HIL 的器件低 0.4 V，这表明电荷注入壁垒变小。此外瞬态荧光寿命（ τ ）可以证明，界面处 PFI 的富集也可以抑制阳极对激子的猝灭。PFI 质量比 1: 1 到 1: 9 器件的荧光寿命从 1.14 ± 0.01 ns 增至 1.19 ± 0.01 ns、 1.21 ± 0.01 ns 和 1.23 ± 0.01 ns，掺入 PFI 的 HIL 对 PPF-SO25 的猝灭情况得到了缓解。

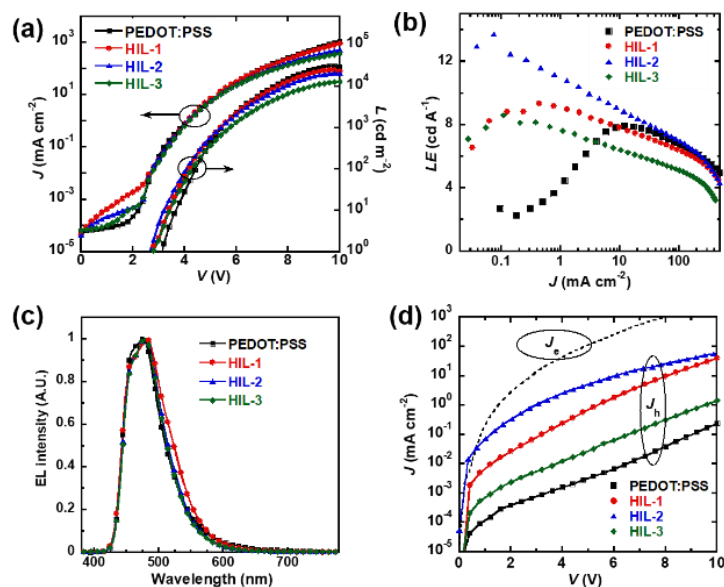


图 2. 器件的光电性能图 (a) J-V-L 曲线; (b) LE-J-PE 曲线; (c) 电致发光光谱; (d) 单载流子器件的电压-电流密度曲线

经过优化后的器件显示出最大发光效率 ($LE_{\max}$) 为 13.72 cd A^{-1} , 并在 1000 cd m^{-2} 时保持 8.85 cd A^{-1} , 这是所报道的最好的蓝光 PLED 数据之一。其中相应的 $EQE_{\max}$ 为 8.51%, 大大超过了传统荧光 OLED 的 5% 极限。由于工作电压降低, 因此获得的最大功率效率 ($PE_{\max}$) 为 13.47 lm W^{-1} , 是参比器件 (4.61 lm W^{-1}) 的三倍。这些基于不同 HIL 的器件显示出相似的 EL 光谱 (图 2c)。为了评估基于这些 HIL 的 PLED 器件的 EL 稳定性, 我们研究了 EL 光谱对驱动电压的依赖性得到结果表明基于 HIL-2 的器件的 EL 光谱在 3 到 8 V 的驱动电压增加后几乎保持不变, 表明 EL 光谱具有出色的稳定性。基于 HIL-2 的优化设备的使用寿命要比基于 PEDOT:PSS 的参考设备的使用寿命长得多。

表 2. 溶液加工的聚合物蓝光 OLED 器件性能数据总结

HIL	V_{on}^a (V)	EQE (%)	LE (cd A^{-1})	PE (lm W^{-1})	$EQE_{\max}$ (%)	$LE_{\max}$ (cd A^{-1})	$PE_{\max}$ (lm W^{-1})	$L_{\max}$ (cd m^{-2})
at 100 / 1000 cd m^{-2}								
PEDOT:PSS	3.2	3.35/4.97	5.34/7.92	3.82/4.61	4.97	7.92	4.61	30828
HIL-1	2.8	5.15/4.39	8.96/7.64	6.70/4.44	5.36	9.33	8.14	24494
HIL-2	2.8	6.94/5.49	11.19/8.85	8.79/5.15	8.51	13.72	13.47	21227
HIL-3	2.8	4.70/3.86	7.42/6.09	5.69/3.30	5.45	8.60	7.94	13246

器件结构: ITO/HIL/PPF-SO25/Ba/Al.

我们还分别研究了空穴载流子器件 ITO / HIL / PPF-SO25 / MoO_3 / Ag 和电子载流子器件 ITO / Al / PPF-SO25 / Ba / Al 的空穴传输特性。在这些单载流子器件中, 电荷电流密度几乎不会受到空间电荷效应的限制, 而 PLED 的电荷注入会受到内置电势的阻碍, 并且绝缘 PFI 也会阻挡电子。如图 2d 所示, 在给定的驱动电压下, 聚合物 PPF-SO25 以电子传输为主, 其电子电流密度比空穴电流密度高三个数量级。与使用传统 PEDOT:PSS 作为 HIL 的器件相比, 空穴电流密度显示出 2-3 个数量级的显着增加, 这与功函数趋势和 PLED 器件的性能一致。空穴注入能力的提高可能是因为粗糙度的增加而增大了接触面积。然而电子载流子器件 (J_e) 的电流密度比空穴载流子器件 (J_d) 的电流密度高大约一个数量级, 这可以合理地假设为激子复合区集中在 HIL / PPF-SO25 界面。尽管 HIL-2 和 HIL-3 的功函数几乎相同, 但由于电阻较高, 在给定的电压下, 含有更多比例 PFI 的 HIL-3 的 J_h 较低。HIL-2 的粗糙表面还为空穴注入和复合区提供了更多的接触面积。

此外, 我们还进一步对器件的电容-电压 (C_p -V) 特性进行测试, 测试结果如图 3 所示, 可以看到 PEDOT:PSS 对应的电容峰在 2.5 V 左右。在 PEDOT:PSS 混入 PFI 后, 对应 PLED 器件在 3-3.5V 之间还出现了一个新的峰。可以推测在 PFI 修饰的器件中, 存在两种不同的界面, 可能是由于 PFI 在表面富集不均匀造成的, 甚至可能还有一部分 PEDOT:PSS 直接裸露, PFI 呈不连续的岛状分布, 这结果与形貌观察一致。另一方面, 由于 PFI 绝缘的特性, 在器件中形成了“正电荷-绝缘体-负电荷”的电容结构, 增加了电容的值, 所以峰值比 PEDOT:PSS 器件高得多。

具有纳米微图案的表面 (在 OLED 基板内部或附着在 OLED 基板上) 的纹理化可以通过光散射和减少波导模式来提高 OLED 的光提取效率。PFI 修饰的 PEDOT:PSS 不仅可以

用作高功函数的 HIL，还可以匹配 PPF-SO25 深的 HOMO 能级，同时也能用作光提取的内部散射介质，在简单的器件结构中可达到目前记录最高的 $EQE_{\max}$ 为 8.51%。如图 3b 所示，所有器件均表现出接近朗伯光源的特征。这表明器件性能的突破很可能是通过散射而非微腔实现的。还应注意的是所得 HIL 的吸收系数低于传统 PEDOT:PSS 层的吸收系数，这可以理解为 PFI 具有非共轭骨架，因此它在蓝色发射区域（400-500 nm）中没有贡献吸收，这有利于发光层中光子的损失。

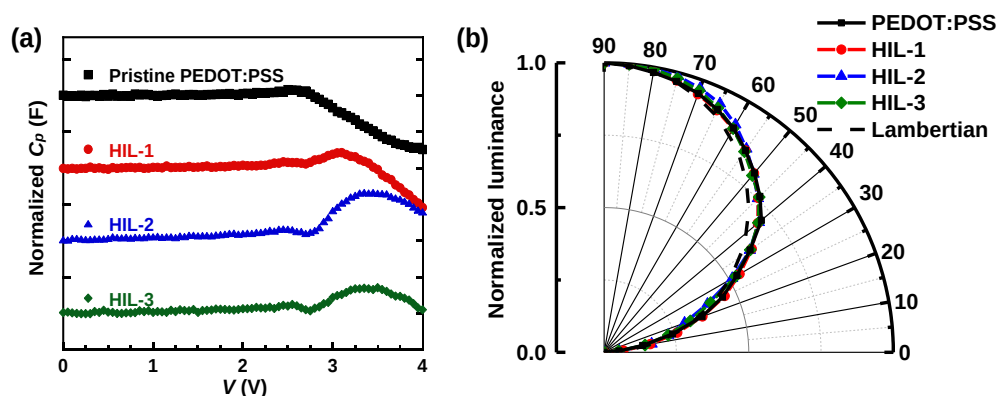


图 3. (a) 使用不同 HIL 的单层蓝光 PLED 的电容-电压 (C_p -V) 特性。(b) 使用不同 HIL 的单层蓝光 PLED 的发光角度依赖特性

3. 总结

在这项工作中，我们使用了 PFI 修饰的空穴注入层实现了无空穴传输层的高效聚合物蓝色发光二极管，其最大发光效率超过 13 cd A^{-1} 。在正丁醇冲洗后，PFI 修饰的 PEDOT:PSS 的润湿性得到了改善并且显示出纳米纹理。PLED 器件的电容-电压特性表明 PFI 会在表面聚集。我们的发现表明 PFI 修饰的 PEDOT:PSS 具有多种作用，不仅可以用作高功函数空穴注入层以匹配 PPF-SO25 深的 HOMO 能级，而且还可以作为光提取的内部散射介质。

参考文献:

- [1] Jou J H, Sahoo S, Dubey D K, et al. Molecule-based monochromatic and polychromatic OLEDs with wet-process feasibility[J]. Journal of Materials Chemistry C, 2018, 6(43): 11492-11518.
- [2] Lien Y J, Lin T C, Yang C C, et al. First N-borylated emitters displaying highly efficient thermally activated delayed fluorescence and high-performance OLEDs[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2017, 9(32): 27090-27101.
- [3] Shao S, Hu J, Wang X, et al. Blue thermally activated delayed fluorescence polymers with nonconjugated backbone and through-space charge transfer effect[J]. Journal of the American Chemical Society, 2017, 139(49): 17739-17742.
- [4] Chen W C, Lee C S, Tong Q X. Blue-emitting organic electrofluorescence materials: progress and prospective[J]. Journal of Materials Chemistry C, 2015, 3(42): 10957-10963.
- [5] Salehi, A.; Fu, X.; Shin, D.-H.; So, F. Recent Advances in OLED Optical Design. Adv. Funct. Mater. 2019, 29, 1808803.
- [6] Cao Y, Parker I D, Yu G, et al. Improved quantum efficiency for electroluminescence in semiconducting polymers[J]. Nature, 1999, 397(6718): 414-417.
- [7] Yang X, Xu X, Zhou G. Recent advances of the emitters for high performance deep-blue organic light-emitting diodes[J]. Journal of Materials Chemistry C, 2015, 3(5): 913-944.
- [8] Tsai K W, Hung M K, Mao Y H, et al. Solution-Processed Thermally Activated Delayed Fluorescent OLED with High EQE as 31% Using High Triplet Energy Crosslinkable Hole Transport Materials[J]. Advanced Functional Materials, 2019, 29(15): 1901025.

- [9] Nau S, Schulte N, Winkler S, et al. Highly Efficient Color-Stable Deep-Blue Multilayer PLEDs: Preventing PEDOT: PSS-Induced Interface Degradation[J]. *Advanced Materials*, 2013, 25(32): 4420-4424.
- [10] Huang C W, Tsai C L, Liu C Y, et al. Design of deep blue electroluminescent spiro-polyfluorenes with high efficiency by facilitating the injection of charge carriers through incorporation of multiple charge transport moieties[J]. *Macromolecules*, 2012, 45(3): 1281-1287.
- [11] Helander M G, Wang Z B, Qiu J, et al. Chlorinated indium tin oxide electrodes with high work function for organic device compatibility[J]. *Science*, 2011, 332(6032): 944-947.
- [12] Lee T W, Chung Y, Kwon O, et al. Self-organized gradient hole injection to improve the performance of polymer electroluminescent devices[J]. *Advanced Functional Materials*, 2007, 17(3): 390-396.
- [13] Cho H, Jeong S H, Park M H, et al. Overcoming the electroluminescence efficiency limitations of perovskite light-emitting diodes[J]. *Science*, 2015, 350(6265): 1222-1225.
- [14] Wang Y, Zhu Y, Xie G, et al. Bright white electroluminescence from a single polymer containing a thermally activated delayed fluorescence unit and a solution-processed orange OLED approaching 20% external quantum efficiency[J]. *Journal of Materials Chemistry C*, 2017, 5(41): 10715-10720.
- [15] Ma Y, Zhong Z, Peng F, et al. Dual hole transport layers for blue-light-emitting PLED: Suppress the formation of exciplex towards high device performance and color purity[J]. *Organic Electronics*, 2019, 68: 103-107.
- [16] Peng F, Li N, Ying L, et al. Highly efficient single-layer blue polymer light-emitting diodes based on hole-transporting group substituted poly (fluorene-co-dibenzothiophene-S, S-dioxide)[J]. *Journal of Materials Chemistry C*, 2017, 5(37): 9680-9686.

PII-16

高性能磷氧基 OLED 电子传输材料及展望

朱旭辉

(华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室, 广州市 510640,
xuhuizhu@scut.edu.cn)

摘要: 有机发光二极管中的电荷传输层亲睐于非晶态薄膜有机材料。具有大体积、刚性和立体结构的三芳基磷氧基团可方便地用于构建光电子有机功能玻璃。我们将展示, 作为掺杂的电子传输层, 经精心设计的三芳基磷氧-三嗪分子共轭物可提供非常稳定的 OLED 器件。这项研究将有助于促进 P=O 衍生物及其应用的研究。

关键字: 有机发光二极管, 磷氧化合物, 电子传输材料

Perspectives on phosphine oxide derivatives as high-performing electron-transport materials for OLEDs

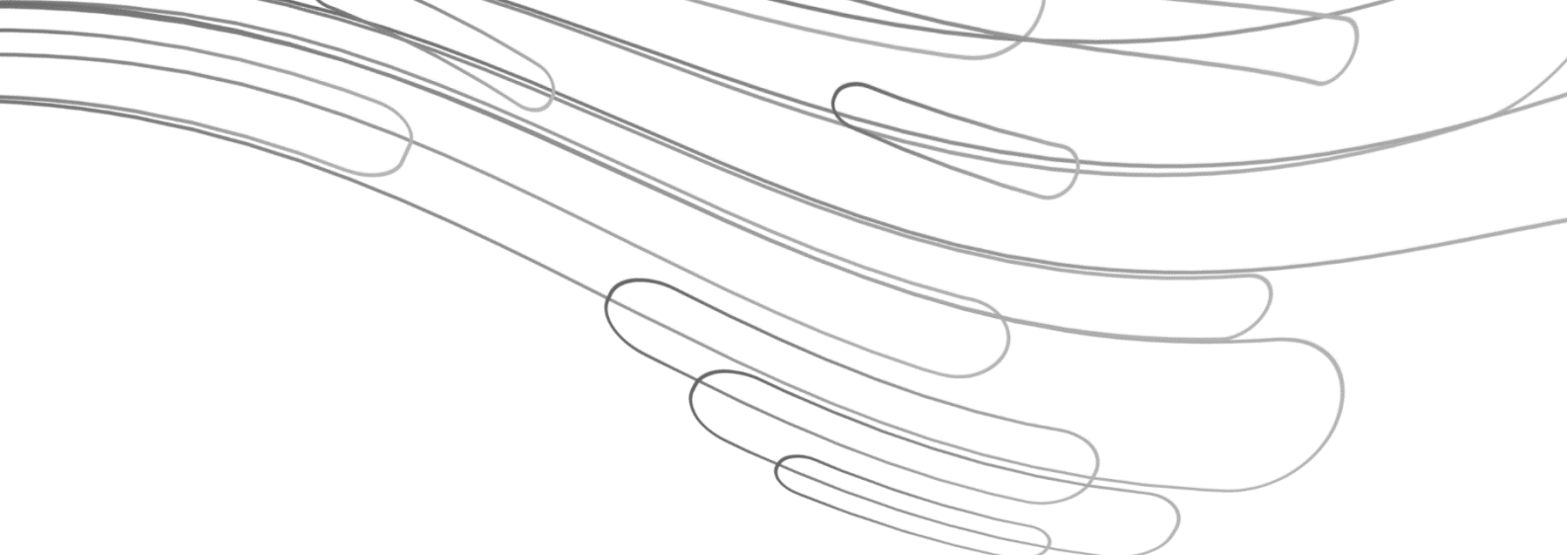
ZHU Xuhui

(Institute of Polymer Optoelectronic Materials and Devices, State Key Laboratory of Luminescent Materials and Devices, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China, xuhuizhu@scut.edu.cn)

Abstract: The charge-transport layers in organic light-emitting diodes favor organic materials that can form amorphous films. The bulk, rigid and steric triarylphosphine oxide moieties can be conveniently utilized to construct organic functional glasses for optoelectronics. We shall show that an engineered triarylphosphine oxide-triazine molecular conjugate could afford tremendously stable OLEDs as a doped electron-transport layer. This research shall help catalyze the research on P=O derivatives and their applications.

Keywords: organic light-emitting diodes, phosphine oxides/phosphinyl compounds, electron-transport materials

[17]



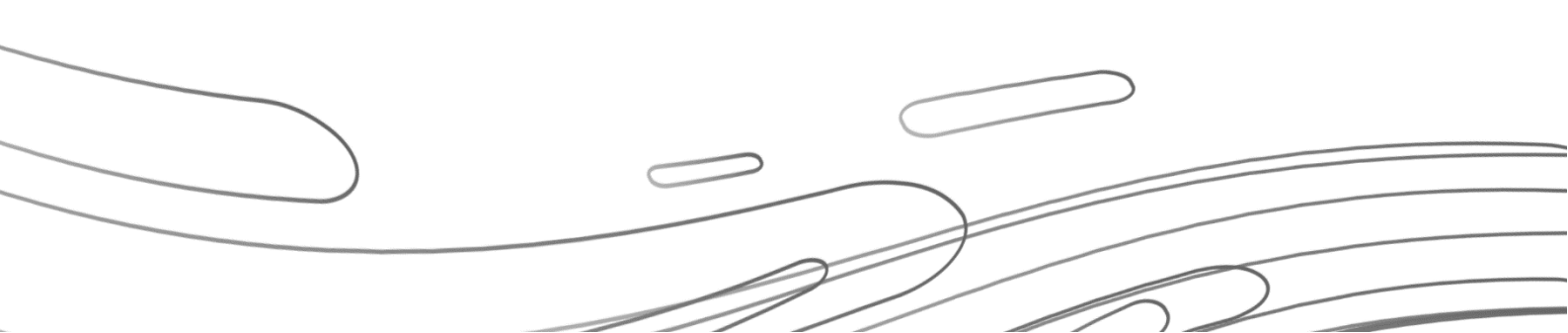
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第三章

量子点发光显示 (QLED)



量子点发光二极管的界面修饰与界面能量转移特性研究

高佩丽, 孙俊豪, 黄嘉辉, 王丹, 彭雯, 章勇*

(华南师范大学半导体科学技术研究院, 广州市天河区中山大道西 55 号,
510631, zycq@scnu.edu.cn)

摘要: 量子点(Quantum dots), 又称纳米晶, 具有显著的量子尺寸效应, 被广泛低应用于发光二极管、太阳能电池、光电二极管、场效应晶体管和生物荧光标记等领域¹⁻³。其中, 量子点发光二极管(QD-LEDs), 即使用量子点最为发光层的发光二极管, 因其在显示和固态照明领域的极大潜力, 被誉为新一代的发光二极管。通常来说, 对于量子点半导体材料而言, 由于其低的价带能级, 与从电子传输层注入的电子相比, 空穴很难从空穴传输层注入到量子点, 此外, 用于量子点发光二极管的电子传输层材料一般为 ZnO、TiO₂ 等, 而空穴传输层材料一般是有机材料, 如 PVK、Poly-TPD 等, 空穴传输层材料的迁移率远小于电子传输层材料, 从而导致空穴与电子注入的不平衡, 严重影响其器件性能⁴。根据能带理论, 对 ZnO 进行掺杂能调节其导带和费米能级, 进而可以调控其电子注入势垒和迁移率等性质, 实现 QD-LEDs 器件的电子与空穴的平衡注入来改善其发光性能的目的。图 1 表示不同 Mg 掺杂 ZnO 比例的 XRD 衍射谱、吸收光谱、TEM 粒子形貌和器件结构及发光效率。ZnO 的导带主要有 Zn 4s 电子态决定, Mg 3S 电子替代 Zn 4s 能使 ZnO 的导带位置提升, 对其价带没有影响; 此外, Mg 掺杂 ZnO 还能调控其薄膜表面形貌、载流子迁移率以及对量子点活性层光激子的寿命等⁵。为了改善量子点的空穴注入能力, 提出溶液加工的 TADF 材料或磷光分子掺杂空穴注入材料形成 TADF 或磷光分子敏化层来实现界面能量转移, 获得了高性能的红光和绿光量子点的电致发光器件⁶。此外, 提出新型空穴传输材料设计和 ZnO 修饰, 进一步提升 QD-LEDs 的器件发光效率和稳定性^{7,8}。

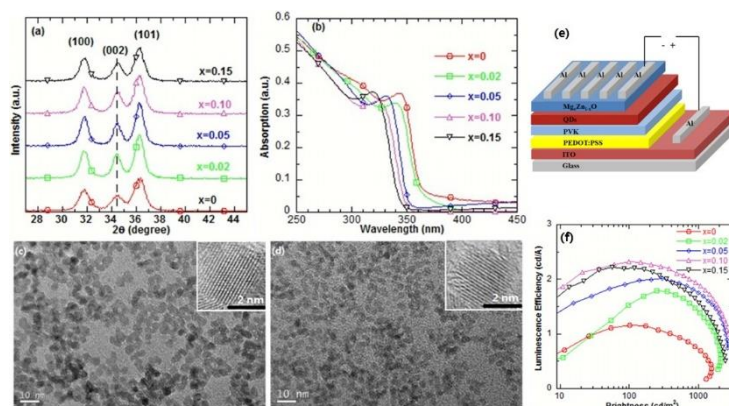


图 1. Mg_xZn_{1-x}O 纳米晶的(a)XRD 衍射谱(b)紫外吸收谱(c)ZnO 与 (d)Mg_{0.1}Zn_{0.9}O 的 TEM 图像及其为电子传输层的蓝光 QD-LEDs 器件结构(e)和发光效率(f)

关键字: 量子点发光二极管, 镁掺杂氧化锌, 敏化, 界面修饰, 界面能量转移

基金资助: 国家自然科学基金项目 (61377065, 61574064) 和广东省科技计划项目 (2015B010132009)

参考文献:

[1] C. Steinhagen, M. G. Panthani, V. Akhavan, B. Goodfellow, B. Koo, and B. A. Korgel, *J. Amer. Chem. Soc.*, **2009**, *131*, 12554.

- [2] J. H. Bang and P. V. Kamat, *ACS Nano*, **2009**, 3, 1467.
- [3] Y. Shirasaki, G. J. Supran, M. G. Bawendi, and V. Bulović, *Nature*, **2014**, 515, 96.
- [4] X. Dai *et al.*, *Nature*, **2014**, 515, 96
- [5] M. M. Yan, Y. Li, Y. T. Zhou, L. Liu, Y. Zhang, B. G. You, Y. Li., *IEEE photon. J.* **2017**, 9, 8200508.
- [6] Y. N. Zhang, Y. S. Liu, M. M. Yan, Y. Wei, Q. L. Zhang, Y. Zhang, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2018, **10**, 7435.
- [7] P. L. Gao, X. Y. Lan, J. H. Sun, J. H. Huang, Y. Zhang, *J. Mater. Sci-Mater El.*, 2020, 31, 2551
- [8] J. H. Sun, J. H. Huang, X. Y. Lan, F. C. Zhang, L. Z. Zhao, Y. Zhang, *RSC Adv.*, 2020, 10:23121.

原位制备高效钙钛矿蓝光二极管中的维度调控

王辰晖, 韩登宝, 常帅*, 吴凯丰, 钟海政*

(北京理工大学, 北京, 100081, chwang@bit.edu.cn)

摘要: 钙钛矿材料具有色纯度高、制备工艺简单等特点, 在显示领域具有巨大的应用潜力。基于钙钛矿纳米晶的原位配体辅助再沉淀技术和溶剂工程, 我们报道了外量子效率为 16.3% 的绿光和 15.8% 的近红外电致发光器件。在此基础上, 进一步展示了原位制备蓝光钙钛矿的维度控制策略。蓝光薄膜由 2D/3D 混合维度的 CsPbClBr₂ 纳米晶组成, 该结构是由配体 PEABr 和 DPPABr 调控的。GIWAXS 和 TA 光谱揭示了两种配体分别主导了低 *n* 值和高 *n* 值层状结构的形成。通过对配体比例的优化, 实现了较窄的量子阱宽度分布, 这有利于高效的能量转移和辐射复合。该薄膜在 470 nm 处展现了~60% 的荧光量子产率, 对应的电致发光器件实现了 9.0% 的外量子效率。维度控制策略对于实现显示波段的高效蓝光发射可能具有重要意义。

关键字: 钙钛矿, 原位制备, 发光二极管, 维度调控

Dimension control of *in situ* fabricated perovskite nanocrystals toward efficient blue light-emitting diodes

WANG Chenhui, HAN Dengbao, CHANG Shuai*, WU Kaifeng, ZHONG Haizheng*

(Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081, CHN, chwang@bit.edu.cn)

Abstract: Perovskites have shown promising potential in display applications due to their high color purity and solution processability. Based on ligand-assisted reprecipitation technique and solvent engineering, we have reported *in situ* fabricated green and near-infrared light-emitting diodes (LEDs) with external quantum efficiencies (EQEs) of 16.3% and 15.8%. Herein, we demonstrate dimension control of *in situ* fabricated blue-emitting perovskite films composed of CsPbClBr₂ nanocrystals, which have a quasi-2D/3D mixed nanostructure regulated by mixed ligands of PEABr and DPPABr. The two ligands dominate the formation of small-*n* and large-*n* domains, respectively. A proper mixing ratio of the two ligands induces a narrower quantum-well width distribution, resulting in efficient energy transfer and the subsequent efficient radiative recombination. The optimized films exhibit blue emission at 470 nm with a photoluminescence quantum yield up to 60%, and the corresponding blue LEDs exhibits a peak EQE of 9.0%. This work provides an effective method of dimension control to put forward the development of blue LEDs for display applications.

Keywords: perovskite, *in situ* fabrication, light-emitting diode, dimension control

PIII-3

基于 CsPbBr₃ 钙钛矿量子点发光性能的研究

黄润达

(广东工业大学, 广州, 510006, 972904008@qq.com)

摘要: 量子点是一种宽吸收、窄发射、荧光量子产率高的新型荧光材料, 是优秀的显示用发光材料。全无机 CsPbBr₃ 钙钛矿量子点具有优异的光学性能、低激子结合能、窄发射线宽和高量子产率。因此, CsPbBr₃ 钙钛矿量子点广泛应用于太阳能电池、发光二极管、激光、光电探测器、偏振器和显示器。本文通过在 CsPbBr₃ 基础上掺杂不同过渡金属离子对比研究多色发光, 进而实现多色发光 LED 器件的制作。此外, 在实验过程中发现, 硫化物的掺杂能够有效抑制高温环境下 CsPbBr₃ 量子点表面缺陷的产生, 实现了量子点的表面钝化。从而有效提高了量子点材料的荧光量子效率和热稳定性。

关键字: CsPbBr₃ 量子点, 多色发光, 表面钝化, 热稳定性

Research on luminescence performance of quantum dots based on CsPbBr₃

HUANG Runda

(Guangdong University of Technology, Guangzhou, 51000, CHN, 972904008@qq.com)

Abstract: Quantum dots (QDS) are new fluorescence materials with wide absorption, narrow emission and high quantum yield. Total inorganic CsPbBr₃ perovskite quantum dots have excellent optical properties, low exciton binding energy, narrow emission line width and high quantum yield. Therefore, CsPbBr₃ Perovskite quantum dots are widely used in solar cells, light-emitting diodes, lasers, photodetectors, polarizers and displays. In this work, we doped different transition metal ions to study multicolor luminescence, and then realized the manufacture of multicolor LED devices. In addition, during the experiment, it was found that the doping of sulfide could effectively inhibit the surface defects of CsPbBr₃ quantum dots under high temperature environment, and realize the surface passivation of quantum dots. Thus the fluorescence quantum efficiency and thermal stability of quantum dot materials are improved effectively.

Keywords: CsPbBr₃ quantum dots, multicolor light, surface passivation, thermal stability

实现高性能胶体量子阱发光二极管的新方法

刘佰全

(中山大学, 广州, 510006, liubq33@mail.sysu.edu.cn)

摘要: 由于新型的胶体量子阱发光二极管(CQW-LED)具有效率高、色纯度好、功耗低、响应速度快、主动发光、超薄超轻以及可柔性折叠等优异性能, 在新一代信息显示技术和半导体照明领域具有广阔的应用前景, 受到学术界和工业界的广泛关注而成为研究热点。但是目前 CQW-LED 的性能仍然远远落后于其他类型 LED 性能, 比如 OLED、量子点 LED 和钙钛矿 LED 等。为进一步改善 CQW-LED 性能, 本文通过研究采用不同的新方法调控 CQW-LED 器件中电荷和激子的分布, 深入阐明 CQW-LED 器件中存在的电荷注入与传输、形貌学、材料构成、器件工程学等因素对性能的影响, 研制出一系列高性能 CQW-LED 器件, 最终使得器件的外量子效率接近理论值 20% 。

关键字: 胶体量子阱, 发光二极管, 高性能, 显示, 照明

New approaches to achieve high-performance colloidal quantum wells light-emitting diodes

LIU Baiquan

(Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510006, CHN, liubq33@mail.sysu.edu.cn)

Abstract: Since colloidal quantum well light emitting diodes (CQW-LEDs) can exhibit high efficiency, good color purity, low power consumption, fast response, ultrathin thickness, ultralight weight, flexibility, and other excellent properties, they are highly promising for the new-generation displays and lighting technology. Although the exploration of CQWs in LEDs is impressive, the performance of CQW-LEDs lags far behind compared with other types of LEDs (e.g., organic LEDs, colloidal quantum-dot LEDs, and perovskite LEDs). Herein, in order to further improve the performance of CQW-LEDs, different methods are used to control the distribution of charge and exciton in CQW-LEDs. The influence of charge injection and transport, morphology, material composition, device engineering, and other factors on the performance is deeply clarified. A series of high-performance CQW-LEDs are developed, and the external quantum efficiency of CQW-LEDs is close to the theoretical limit of 20%.

Keywords: colloidal quantum wells, light-emitting diode, high performance, display, lighting

基于喷墨印刷的无咖啡环量子点高分辨率发光二极管

郭标

(华南理工大学, 广州, 510000, guobiao1996@gmail.com)

摘要: 喷墨印刷制备量子点发光二极管(qled)由于其大范围、低成本的制造特点, 越来越受到人们的青睐。但由于印刷过程中产生的分辨率较低、形貌粗糙、液滴蒸发不均等因素制约了其进一步发展。本文采用喷墨印刷和混合溶剂法制作高分辨率 qled。通过优化混合溶剂比例来减弱毛细管流动, 可以获得无咖啡环的平整量子点膜。我们制作了一个倒置的像素结构 GQLED 发光器件, 其像素密度高达 240PPI, 打印器件最大效率为 55.7cd/A, 最大 EQE 为 14.0%, 在长达 15 分钟的打印过程中器件的均匀性较好。本文所提出的方法在高分辨率、高质量、长时间打印 QD 显示器制造方面具有巨大潜力。

关键字: 咖啡环, 喷墨印刷, 混合溶剂, 高效率, QLED

**Coffee-free ring quantum dot high resolution light emitting diode
based on inkjet printing**

GUO Biao

(South China University of Technology, Guangzhou, 510000, CHN, guobiao1996@gmail.com)

Abstract: Quantum dot light-emitting diodes (qleds) prepared by inkjet printing have become more and more popular due to their large-scale and low-cost manufacturing characteristics. However, due to the low resolution, rough shape and uneven droplet evaporation during the printing process, its further development is restricted. This article uses inkjet printing and mixed solvent method to produce high-resolution qled. By optimizing the mixed solvent ratio to weaken the capillary flow, a flat quantum dot film without coffee ring can be obtained. We fabricated a GQLED light-emitting device with an inverted pixel structure. The pixel density is up to 240PPI, the maximum efficiency of the printing device is 55.7cd/A, and the maximum EQE is 14.0%. The uniformity of the device during the 15-minute printing process is good. The method proposed in this paper has great potential in the manufacturing of high-resolution, high-quality, long-term printing QD displays.

Keywords: Coffee ring, inkjet printing, mixed solvent, high efficiency, QLED

PIII-6

高性能量子点电致发光器件

金一政

(浙江大学, 杭州, 310027, yizhengjin@zju.edu.cn)

摘要: 在过去几年中, 量子点发光二极管原型器件的效率和寿命取得了巨大的进步, 预示着以量子点发光二极管为基础的印刷显示技术有望应用于新一代的低成本、大面积、节能、高色域、超薄柔性显示器件。我们课题组从量子点电致发光器件的机理入手, 理解器件中激子形成和复合等基元过程, 研究与器件寿命相关的原位化学过程, 在此基础上针对性的发展载流子传输层的材料化学, 设计新型器件结构, 从而最终实现高性能电致发光器件。

关键字: 电致发光, 量子点, 发光二极管

Towards High-Performance Electroluminescence Devices Based on Colloidal Quantum Dots

JIN Yizheng

(Zhejiang University, Hangzhou, 310027, CHN, yizhengjin@zju.edu.cn)

Abstract: In the past few years, efficiency and lifetime of quantum-dot light-emitting diodes (QLEDs) have achieved tremendous progress, which foreshadows an unprecedented generation of cost-effective, large-area, energy-saving, wide-color-gamut, ultra-thin and flexible devices ideal for display applications. Our group studies the elementary processes associated with exciton generation and recombination and investigates the in-situ chemical reactions which are critical for device stability. Based on the resulting understanding, we develop new material chemistry of charge-transporting layers and design new device structures for high-performance electroluminescent devices.

Keywords: Electroluminescence, quantum dots, light-emitting diodes

阻抗谱分析在量子点发光二极管性能表征中的应用

常帅, 钟海政

(北京理工大学, 北京, 100081, schang@bit.edu.cn)

摘要: 阻抗谱测试是一种研究多层器件的层间载流子传输、累积和复合的重要手段, 在薄膜太阳能电池和有机发光二极管的界面输运研究上有较多应用, 由于阻抗谱技术对于薄膜器件各层的厚度较为敏感, 对于活性层厚度较低的量子点发光二极管 (QD-LED) 器件而言, 其界面输运参数较难获得。针对这一问题, 我们通过构建对称型结构增加界面面积, 使用阻抗谱测试观测到了器件活性层与传输层之间的电荷积累效应, 进而判断量子点活性层与传输层的层间电荷输运性能。利用这一方法, 我们研究了量子点电致发光器件中量子点材料的壳层厚度影响, 研究发现 QD-LED 器件电致发光性能并不完全由所用量子点材料的光学性能决定, 还受到量子点薄膜的界面传输和电荷注入水平的制约。

关键字: 量子点, 发光二极管, 电荷积累, 阻抗谱

Performance characterization of quantum dot light-emitting diodes by impedance spectroscopy

CHANG Shuai, ZHONG Haizheng

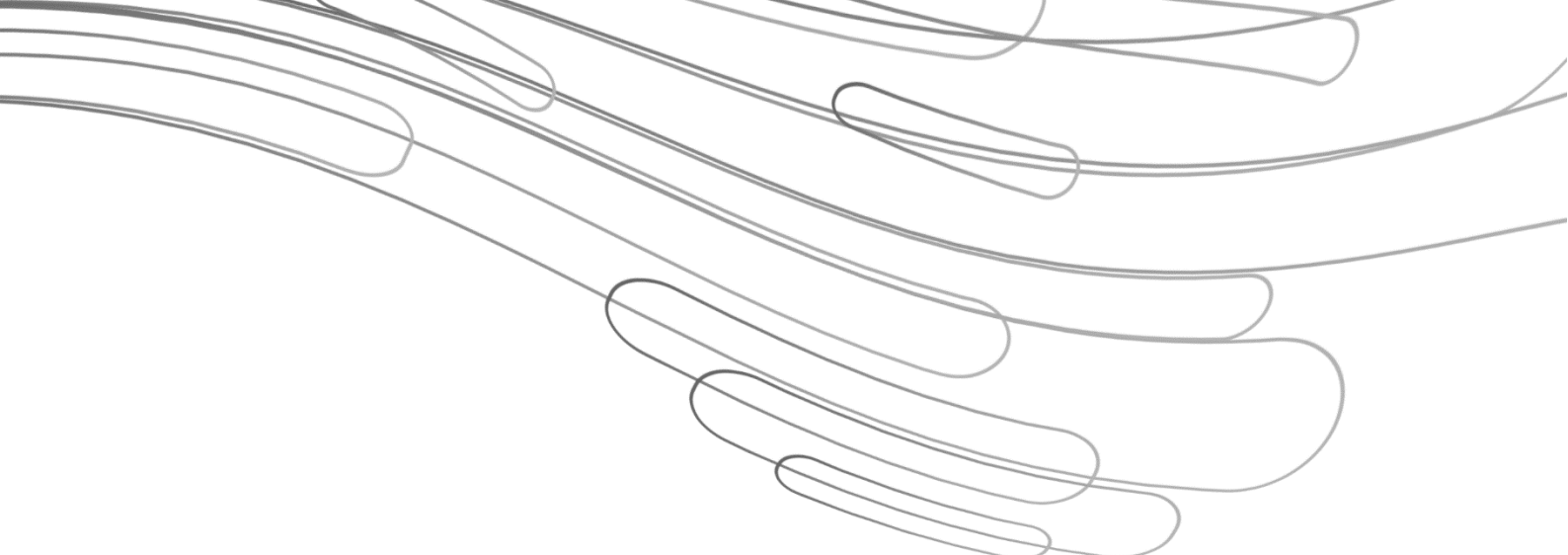
(Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081, CHN, schang@bit.edu.cn)

Abstract: Impedance spectroscopy is an important method for studying interlayer carrier transport, accumulation and recombination of multilayer thin-film optoelectronic devices. Since impedance spectroscopy is very sensitive to the thickness of each layer of thin-film devices, the interface charge transport parameters are more difficult to obtain for quantum dot based light emitting diodes (QD-LEDs) due to the thin active layer thickness. By constructing a symmetrical device structure, we can better observe the charge accumulation effect between the active layer and the transport layer of the device, which can be used to judge the interlayer charge transport performance. We further applied this strategy to study the effect of the shell thickness of quantum dots in QD-LEDs. It is found that the performance of QD-LEDs is not in direct proportion to the optical properties of quantum dots. The interface transport and charge injection behavior also have a great influence on the electroluminescence performance of the device.

Keywords: quantum dots, light-emitting diodes, charge accumulation, impedance spectroscopy

参考文献:

- [1] Shmshad Ali, Chang Shuai*, Muhammad Imran, et al. Impedance Spectroscopy: A Versatile Technique to Understand Solution-Processed Optoelectronic Devices [J]. *Physica Status Solidi RRL*, 2019, 1800580.
- [2] Shmshad Ali, Tang Jialun, Muhammad Imran, et al. Illustrating the Shell Thickness Dependence in Alloyed Core/Shell Quantum Dot based Light-Emitting Diodes by Impedance Spectroscopy [J]. *Journal of Physics Chemistry C*, 2019, 123, 26011-26017



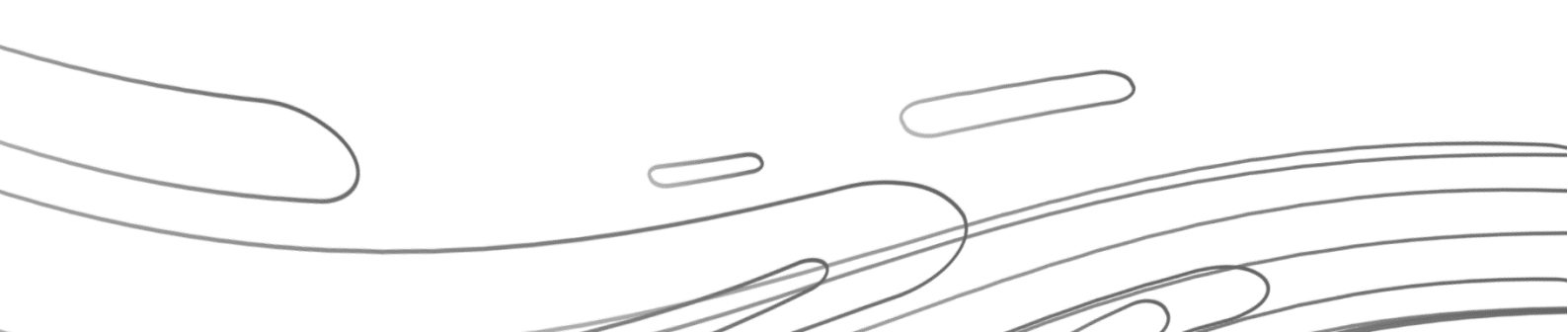
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第四章

Micro-LED显示



PIV-1

一种应用于平面及曲面 micro-LED 显示的胶带辅助激光剥离技术

潘章旭¹, 郭禅¹, 王建太¹, 龚岩芬¹, 胡诗彝¹, 庞超¹, 龚政^{*1}

(广东省半导体产业技术研究院, 广州, 510000, zhangxupan@gdisit.com)

摘要: 巨量转移一直是 Micro-LED 显示的研究热点技术之一。目前人们提出了多种巨量转移技术, 但效率和精度都还有提升的空间。另外, 许多转移技术只考虑了芯片转移技术本身的优化, 未仔细研究与后续集成绑定工艺的兼容问题。本研究介绍了利用我们发展的胶带辅助的激光剥离转移技术及与其相兼容的倒装绑定集成技术。胶带辅助的激光剥离转移技术可以进行高效率、高精度的晶圆级芯片转移。同时, 该技术也可进一步应用于选择性转移, 从而实现芯片间距调控。采用该技术转移后的芯片可直接用于后续的倒装键合工艺, 从而实现 Micro-LED 与平面硬基板和柔性基板的互联和集成。在此基础上, 我们制备出平面和柔性 Micro-LED 微显示原型器件。这些器件在 VR/AR 以及头盔显示等领域有非常好的应用前景。
关键字: 巨量转移, 绑定, 激光剥离, 胶带辅助

A Tape-assisted Laser Lift-off Technique for Planar and Deformable Micro-LED Displays

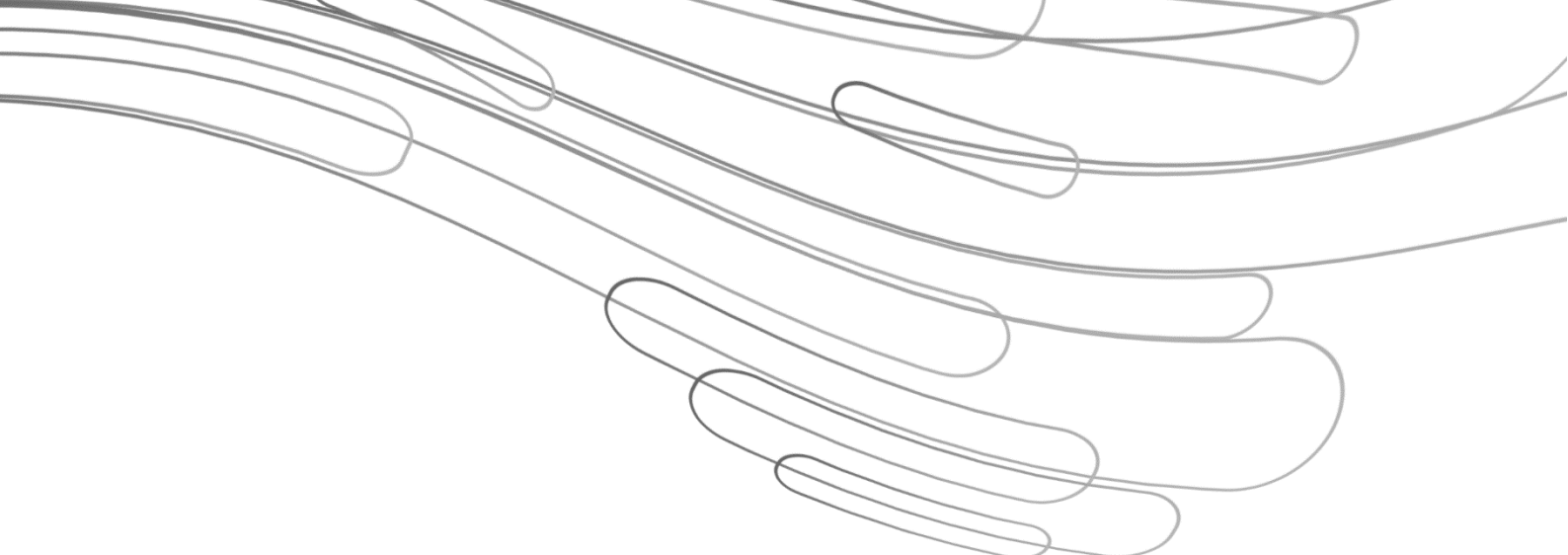
PAN Xuzhang, GUO Chan, WANG Jiantai, GONG Yanfen, HU Shibei, PANG Chao, GONG Zheng

(Guangdong Institute of Semiconductor Industrial Technology, Guangzhou, 510000,

zhangxupan@gdisit.com)

Abstract: Various mass transfer technologies of Micro-LED have been proposed, but there is ample room for improvement in transfer efficiency and accuracy. Furthermore, whether these techniques are compatible for subsequent bonding process is not well-studied. Here we introduce a technique termed as “tape-assisted laser transfer” (TALT), which is not only suited for high-yield micro-LED transfer, but also well compatible with the bonding process. TALT enables wafer-level chip transfer with very high efficiency and high placement accuracy. It also can be further extended to allow selective transfer of micro-LED, and thus to adjust the pixel-to-pixel distance. Furthermore, the chips transferred by this technology are compatible with subsequent flip-chip bonding process. Based on this technique, both planar and flexible micro-LED display prototypes can be demonstrated, opening up the prospective applications in VR/AR, and head-mounted displays.

Keywords: mass transfer, bonding, tape-assisted laser transfer



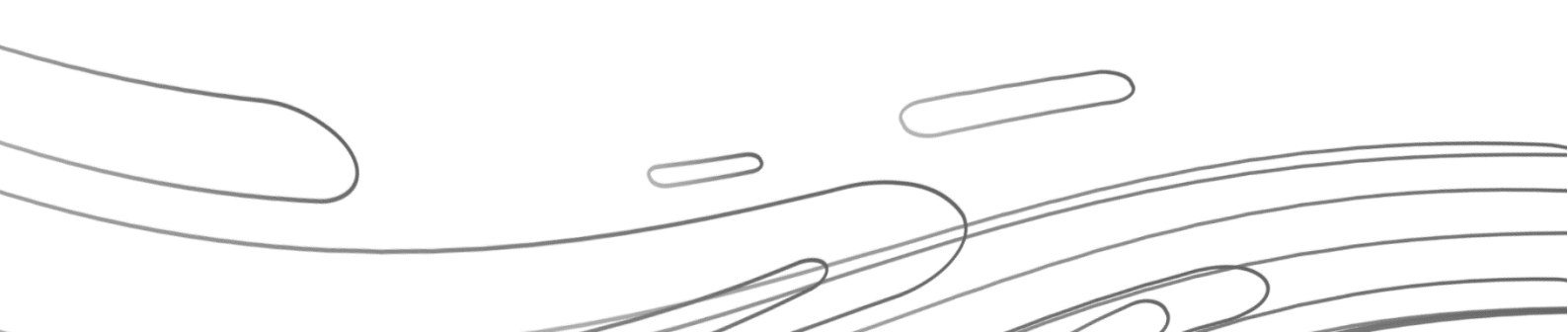
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第五章

激光显示



PV-1

超高亮度、高可靠的 RGB 三基色激光投影显示系统

房涛*, 张文平, 高伟男, 毕勇

(中国科学院理化技术研究所, 北京, 100190, fangtao@mail.ipc.ac.cn)

摘要: 红绿蓝三基色激光显示具有高亮度、色彩丰富、长寿命等优点, 是公认的下一代显示技术。本文介绍了一种基于红绿蓝半导体激光光源的超高亮度的投影显示系统, 光源采用专门设计的三基色激光光源模组, 通过光纤合束后输出的激光总功率达到 700W, 投影机输出最高可达到 80000 流明, 是目前国际报道的具有最高光通量输出的单体投影机。并且设计了全密封的热交换系统, 实现防尘放水, 保证了系统的长时间稳定运行的高可靠性。

关键字: 三基色激光, 超高亮度, 光纤合束, 全密封

Ultra high brightness and high reliability RGB laser projection display system

FANG Tao*, ZHANG Wenping, GAO Weinan, BI Yong

(Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190, CNH, fangtao@mail.ipc.ac.cn)

Abstract: Red, green and blue laser display has the advantages of high brightness, rich color and long life. In this paper is introduced a kind of ultra high brightness projection display systems with semiconductor laser light source, laser source adopts the Red, green and blue three primary colors of laser light source module, through the optical fiber and the output laser beam total power of 700 W, the projector highest output can reach 80000 lm ANSI, which is currently the international reports with the highest output luminous flux for single projector. In addition, a fully sealed heat exchange system is designed to realize dust-proof water discharge and ensure the high reliability of long time stable operation.

Keyword: three-color laser, ultra high brightness projection, fiber bundle, fully sealed

1、引言

三基色激光显示是以红(R)、绿(G)、蓝(B)三中激光为光源的新型显示技术和产品, 通过控制三基色激光强度比、总强度和强度空间分布即可实现彩色图像显示。由于激光具有方向性好、单色性好和亮度高等三个基本特性, 用于显示可实现“冲击人眼极限”的大色域、双高 清(几何、颜色)的高保真视频图像再现, 被国际 业界视为“人类视觉史上的革命”[1]。

半导体激光器由于体积小、光效高, 直接发光是激光显示应用的理想光源。近年来, 红绿蓝半导体激光器的技术不断成熟, 可靠性不断提高, 目前在投影显示领域已经普遍采用半导体激光。相比传统光源, 采用半导体激光的高亮度激光投影机输出亮度提升 2~3 倍, 在户外景观照明, 大型演出等工程照明领域具有突出的竞争优势[2]。

目前面向投影应用的激光光源主要有激光荧光粉光源和 RGB 激光光源。荧光粉技术是只采用蓝色半导体激光, 蓝色激光激发连续转动的荧光粉轮转换成黄光, 黄光分离出红色和绿色, 形成显示三基色[3]。激光荧光粉技术的器件成本较低, 但由于荧光粉的不稳定工作寿命较低, 黄色光谱分离的绿色和红色饱和度低, 因此只能满足 BT.709 的色域空间, 相当于 30%的人眼感知范围。RGB 激光光源是采用红绿蓝三种波长的激光, 无需转换可直接用于

显示照明，因此光效利用率高。并且 RGB 激光的光谱宽度窄，饱和度高，符合 BT.2020 的 HDR 色彩标准[4]，可满足人眼 70%的感知范围。

RGB 三基色激光投影应用时需要合成高功率的激光输出，目前主要的激光光束合成方式主要有空间耦合和光纤耦合。空间耦合方法是将多个半导体激光器发出的激光利用光学元件在空间中反射、折射的方式，或者利用激光的偏振性质和光谱性质等，实现多个激光光束的合成，这种耦合方式的体积比较紧凑，但缺点是结构复杂，合成的总功率水平不高，元件复杂可靠性差，而且散斑效应明显。光纤耦合方式是将红绿蓝的激光模块作为标准单元，激光器通过光纤输出，集束光纤将多个激光器的功率合成，这种方式易于标准化，激光合成功率高，可靠性高，并且具有散斑的抑制效果[5]。

一般的投影机的光机采用吸取外部空气对光机元件的散热方式，虽然在进风口会采用过滤网过滤灰尘，但长时间工作和细小的灰尘会随同散热空气进入投影机内部引起成像和照明光学元件表面的污染，因此灰尘污染是导致投影机光亮度大幅下降的最主要的原因[6]。尤其面对高亮度的激光投影，光路系统的各光学元件都在传输高功率的激光，元件表面的灰尘等污染物会被激光熔化，导致投影光学器件发生不可逆的光损伤[7]。因此采用光机系统密封换热可以避免与外界的灰尘的进入，从而使光路元件长时间始终表面清洁，防止元件脏污造成的光损伤和衰减，激光投影长时间工作能够始终保持好的光机效率。

本文介绍了基于 RGB 半导体激光光纤耦合激光光源的高亮度三基色激光投影显示系统，并且针对高功率激光在传输和照明过程的散热和器件可靠性技术，进行了系统性的设计和优化，针对高功率器件进行散热加强，对整个投影系统采用全密封设计，通过气液换热器与外界换热，避免了灰尘对投影系统的影响。

2、系统研制

2.1 RGB 激光光源

超高亮度的激光投影系统采用的激光光源，基于专门设计的红绿蓝三种的半导体激光的光纤耦合模块。RGB 激光模块采用全密封结构，模块的光纤输出接口垂直安装底面，这种激光模块的结构可以提高模块安装的集成度，减小系统体积。激光光源的是根据红绿蓝的激光波长，按照 D65 白光配比计算三种波长的功率配比，根据功率的比例得出激光模块的组合数量，并结合直流驱动电源和散热组件组成 RGB 激光的模组化单元，多个激光模组可根据来投影机输出亮度的要求进行组合。采用定制化的石英集束光纤将各个模组中的激光模块输出的激光合成，合成后的激光从统一从集束端接口适配器输出，输出的激光光束通过匀化整形器件实现对投影系统的均匀照明。由于每个激光器彼此是非相干的，在光纤内传输后的激光散斑图样具有独立性，因此多根集束光纤合成的激光散斑图样叠加，可大幅降低散斑对比度，从而降低散斑效应。目前我们采用 4 个激光模组，最大可实现 700W 的 RGB 激光功率输出，可实现超过 80000 流明以上的激光显示亮度输出。

2.2 光机散热技术

超高亮度的三基色激光投影系统在画面显示时，需要在整个光路内始终保持 700W 激光功率的稳定可靠传输，并且由于画面显示的特点，在显示黑色画面时，激光不输出到系统外，因此光机系统将面临更大的散热压力，因此需要对照明和投影光路进行散热和抗热损伤设计。

首先在器件方面，我们面对功率密度最集中的光纤传输接口，设计了专门的光纤连接的接口形式，接口在满足精确对准的同时，集束光纤的约束结构采用一体式的低热阻封装实现内部快速散热，外表面设计散热翅片，因此保证适配器温度稳定工作在室温范围，可保持 7×24 小时连续工作。

在照明和成像引擎的光路中我们设计了密封的风道冷却和热量回收系统，见图 1。通过气液换热器与外界换热，通过风道设计高速的气流流经高功率传输元件，降低器件的表面温

度，并且设计高功率激光光的吸收体，收集黑场时的激光辐照的废热，保证光机内部的温度恒定。

2.3 整机密封技术

前面介绍了灰尘对于激光投影系统亮度和可靠性的影响，另外，激光光源采用的激光二极管是半导体器件，对于工作温度也极为敏感。高温情况下工作会增加二极管结温，从而导致功率输出降低，并且还会大幅降低激光器件的寿命。因此在环境温度超过 30℃时，大部分投影机都会采用降低激光光源电流的工作方式，降低激光二极管的工作温度，30℃环境温度以上激光投影机的输出亮度只有室温 25℃状态下的 70~80%。而在低温情况下，投影机的 DLP 芯片无法在低于 0℃的环境温度下工作，因此激光光源和投影引擎实际都需要在 5~25℃且散热情况良好且清洁无尘而的工况环境下工作。

因此我们针对整机的宽工作范围和防尘要求，设计了高亮度激光投影系统的全密封整机外壳，可以实现恒温 and 防尘等功能，外形见图 2。防护机壳内将激光光源、电源驱动和整个光机引擎系统全部保护，与外界隔离，投影镜头光输出采用高防护高透玻璃，密封壳体通过水循环换热系统与外界换热，保持机体内部恒温恒湿，即使外界环境温度在-20~40℃温度范围变化，都可以保证整机内部保持在 25℃，从而使激光器件稳定运行，始终能够保持 100% 的功率输出。整机密封等级达到 IP55 标准，可以直接在户外下使用。

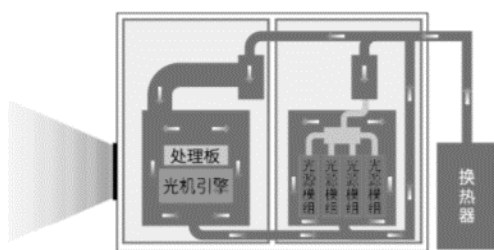


图 1. 投影光路换热示意图



图 2. 整机密封外壳结构图片

3、结论

本文介绍了针对高亮度激光工程的需求，研制开发的一种超高亮度、高可靠的三基色激光投影显示系统。系统采用三基色光源模组，通过光纤传输进入投影光路，最高可输出亮度超过 80000 流明。并且面对灰尘污染，开发了整机的密封换热系统，外界灰尘无法污染内部光学元件，从而保证了投影系统的长期可靠工作。

4、致谢

本文为国家重点研发计划课题 2017YFB0405004 资助。

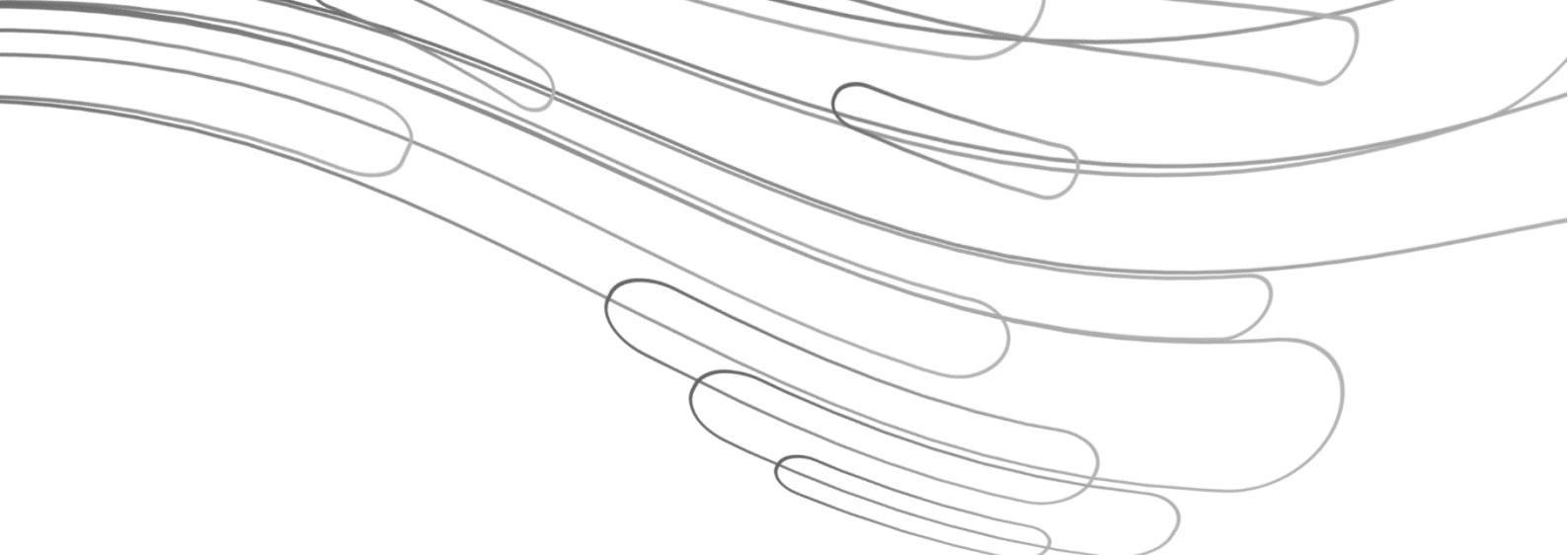
参考文献:

- [1] 高伟男,许祖彦,毕勇,袁园.激光显示技术发展的现状和趋势[J].中国工程科学,2020,22(03):85-91.
- [2] 毕勇. 激光全色显示技术 [J]. 新材料产业, 2009 (4): 76-71.
- [3] Analysis on the high luminous flux white light from GaN-based laser diode[J] . Y. Xu,H. Hu,L. Chen,G. Song,W. Zhuang. Applied Physics B . 2010 (1)
- [4] International Telecommunication Union. R12-SG06 BT.2020-2-2015 Recommendation parameter values of program production and international exchange in UHD TV system [S]. Geneva: International Telecommunication Union, 2017: 2
- [5] Guang Zheng, B. Wang, T. Fang, H. Cheng, Y. Qi, Y. W. Wang, B. X. Yan, Y. Bi, Y. Wang, S. W. Chu, T. J. Wu, J. K. Xu, H. T. Min, S. P. Yan, C. W. Ye, and Z. D. Jia, "Laser Digital Cinema

Projector," J. Display Technol. 4, 314-318 (2008)

[6] S. Palmier, S. Garcia, L. LAMAINÈRE, et al. Surface particulate contamination of the LIL optical components and their evolution under laser irradiation[J]. Proc. of SPIE, 2006, 6403: 64030V

[7] 郭汝海,时魁,王恒坤,王兵.高功率半导体激光对光学元件损伤特性[J].强激光与粒子束,2011,23(05):1177-1181.



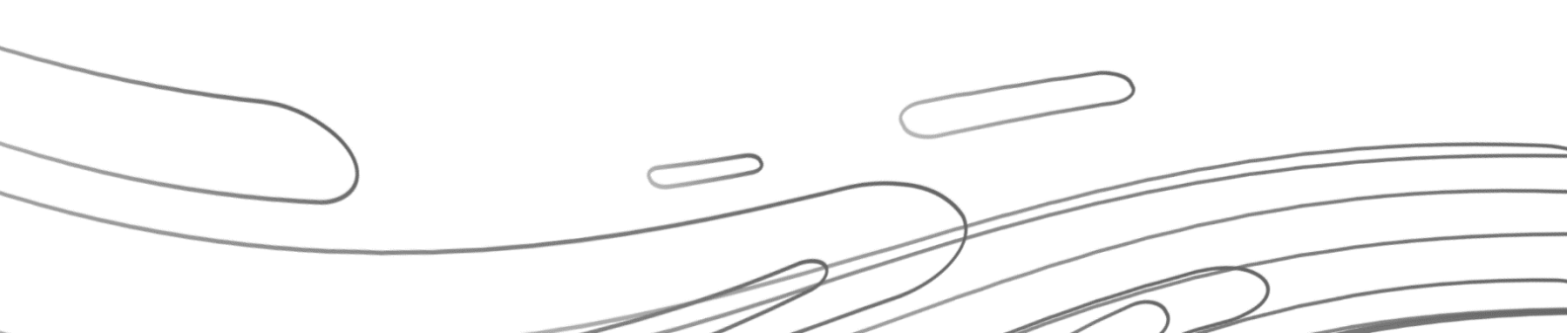
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第六章

柔性显示



PVI-1

高性能 CuCrZr 铜互连技术的研究

卢宽宽, 姚日晖, 陈俊龙, 符晓, 张旭, 张观广, 梁宏富, 梁志豪, 宁洪龙*, 彭俊彪
(华南理工大学, 广州, 510640, 891771592@qq.com)

摘要: 我们开发了 Cu-0.08 wt. % Cr-0.05 wt. % Zr (CCZ) 合金作为 NdIZO-TFT 的电极。合金薄膜电阻率低至 $2.5 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ (300nm), 聚酰亚胺(PI)衬底上结合强度达到 4B-5B。以 CCZ 为柔性电极的 NdIZO-TFT 表现出高性能: μ_{eff} 为 $32.1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$ 为 107, V_{th} 为 0.42 V, SS 为 0.16 V/decade, 在 1MV/cm 的正负偏压下 ΔV_{th} 为 +4.06 V/-1.51 V。

关键字: 铜合金, 互连线, 柔性, 薄膜晶体管

Research on CuCrZr Alloy Based High Performance Copper

Interconnects Technology

LU Kuankuan, YAO Rihui, CHEN Junlong, FU Xiao, ZHANG Xu, ZHANG Guanguang,
LIANG Hongfu, LIANG Zhihao, NING Honglong, PENG Junbiao
(South China University of Technology, Guangzhou, 510640, CHN, 891771592@qq.com)

Abstract: we developed Cu-0.08 wt. % Cr-0.05 wt. % Zr (CCZ) alloy as electrodes for NdIZO-TFTs. The resistivity of the alloy film is as low as $2.5 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ (300nm) and the adhesion strength to polyimide (PI) substrate reaches 4B-5B level. The flexible CCZ-electrode NdIZO-TFTs operate in high performance (μ_{eff} of $32.1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$ of 10^7 , V_{th} of 0.42 V and SS of 0.16 V/decade and ΔV_{th} of -1.51 V/+4.06 V under 1MV/cm NBS/PBS for 5400s).

Keywords: copper alloy; interconnects; flexible; TFTs (Thin film transistors)

PVI-2

柔性高温耐湿二向色性偏振片光染料的研究

李晓莲*, 黄俊玲

(大连理工大学, 大连, 116024, xlianli@dlut.edu.cn)

摘要: 目前碘染色偏振片偏振效率和透过率在温度超过 90℃和湿度大于 90% RH 条件下性能变差, 光稳定性也降低。本文染料系偏光片的耐久性高于碘染色系偏光片产品的耐久性。染料彩色偏光膜利用不同稠环衍生物染料在可见光区吸收不同波长的光而产生各种色彩并具有二向性, 染料偏光膜有优良的耐湿热性能及耐久性能, 设计制备偏光片用稠环衍生物的耐高温和耐高湿二向色性的染料, 染料在水中稳定, 耐高温 260℃以上。染料对 PVA 膜有很强的亲和力。

关键字: 柔性, 二向色性染料, 偏光片

Study on Flexible Polarizing Film Dyes of Dichroic Performance with High Temperature and Moisture-proof

LI Xiaolian, HUANG Junling

(Dalian University of Technology, Dalian, 116024, CHN, xlianli@dlut.edu.cn)

Abstract : The iodine staining polaroid polarization efficiency and transmittance is poor, in temperature over 90℃ and humidity higher than 90% under the condition of RH . Heterocycle-fused Derivatives polarizing film dyes with high temperature and moisture-proof have been designed and synthesized. In the visible light region, dyes absorb light at different wavelengths with polarization dichroism. Dye polarizing film has excellent performance resistance to hot and humid. Dyes are higher than the melting point of 260℃. The dyes with PVA membrane have strong affinity. When the dyes were heated to 100℃, they are not sublimated and stable.

Keywords: Flexible, Dichroism dye, Polaroid

PVI-3

基于有限元法分析柔性显示模组中的力学效应

陈镇鹏, 李姗姗, 王帅, Bonggeum Lee, 袁泽, 余晓军

(柔宇显示技术有限公司, 深圳, 518000, Jumper.Chen@royole.com)

摘要: 本文针对柔性显示模组外折、内折、卷曲等场景, 建立了一系列有限元仿真模型, 研究了其中出现的力学效应, 并通过分析验证了模型的有效性。计算结果与实验结果吻合良好, 对柔性显示设备的模组堆叠设计以及电子产品的结构设计具有重要的指导意义。

关键字: 柔性 AMOLED, 有限元分析, 内折, 外折, 卷曲, 剥离

Modeling of Mechanical Effects in Flexible Display Module by Finite Element Analysis

CHEN Zhenpeng, LI Shanshan, WANG Shuai, LEE Bonggeum, YUAN Ze, YU Xiaojun

(Shenzhen Royole Technologies Co. Ltd., Shenzhen, 518000,

CHN, Jumper.Chen@royole.com)

Abstract: A series of finite element analysis (FEA) models have been established to study the mechanical effects in a flexible AMOLED display module, in scenarios of outward-folding, inward-folding, and rolling, etc. Analysis is conducted to verify the validity of such models. The simulation results are in good agreement with the designed experiments. Accurate modeling of these effects can be significant in guiding the module stack-up design of a flexible display and the structural design of consumer product involving flexible displays.

Keywords: Flexible AMOLED, finite element analysis, inward-folding, outward-folding, rolling, peeling

1 背景

近年来, 市场上涌现出搭载柔性显示屏的产品, 例如卷曲电视、折叠式智能手机 (如 FlexPai)、带有环绕屏幕的智能手表等。与传统的刚性显示屏相比, 柔性显示屏支持动态外形, 如内折、外折、拉伸、扭曲以及卷曲等。然而, 柔性显示模组的变形会引起保护盖板或薄膜封装层开裂、不同功能层之间产生滑移和膜层剥离等一系列问题。对这类失效背后机理的理解, 并建立相应的力学仿真模型, 有助于我们通过模组堆叠设计来避免这些困难, 也对电子产品的结构设计很有帮助。本文简要介绍了如何利用有限元法对柔性 AMOLED 的机械性能进行评估。数值模拟结果成功地预测了实验结果, 验证了有限元模型的有效性。

2 方法

显示模组由如下几层堆叠而成: 包括薄膜盖板(FC)、光学透明胶(OCA)、触控层(TP, out-cell 结构)、圆偏振片(POL)、压敏胶层(PSA)、薄膜封装层(TFE)、薄膜晶体管(TFT)层、柔性衬底层(FS)、支撑膜(SUF)和其他支撑层^[1]。

本文的所有案例都是基于 ABAQUS 进行建模和分析的。ABAQUS 是一个强大的有限元分析软件, 尤其擅长非线性分析。为了准确捕捉柔性模组的动态响应, OCA 和 PSA 采用粘弹性材料模型, 其余层采用线弹性模型。

3 仿真模型

3.1 外折

本节讨论外折的影响, 这是一种常见柔性 OLED 形态。在仿真模型中, 通过一根刚性圆杆来实现所期望折叠形态, 本文中圆杆的半径是 5mm。柔性屏的左端限制了法向的位移, 横向的位移是自由的。一个水平向左 10N 的拉力施加在左端以绷紧屏幕, 而右端则以圆杆轴线为圆心旋转 180 度, 最终柔性屏的底面紧贴在圆杆的表面。模型中使用的材料参数是根

据实验测得的，整个过程不考虑摩擦的影响。图 1 显示了折叠后屏幕的变形情况，由于胶层模量较小且发生了较大的剪切变形，因此绝大部分的膜层滑移是胶层产生的。柔性屏在折叠状态下保持了 1500s，然后在 1s 内展开，屏幕不能立马回复到平整的状态，有一定程度的拱起，经过一段时间后，屏幕才能回到平整的状态。这是由于粘弹性效应，胶材在切向发生了蠕变。

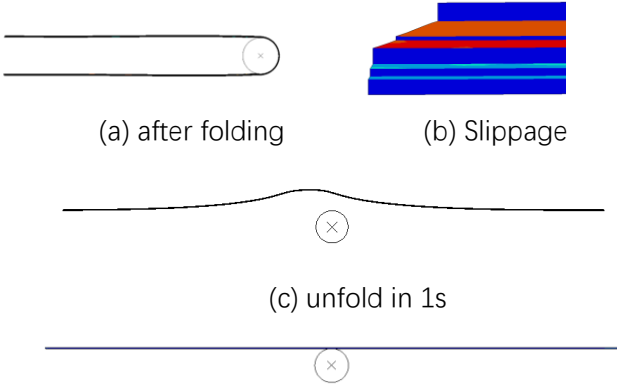


Figure 1. The deformation of a flexible display module during outward bending. The slippage can be seen clearly because the adhesives are much “softer” than other layers.

图 1. 柔性屏模组在外弯过程中的变形情况。由于胶层比其他层更软，所以发生了明显的剪切滑移。

图 2 绘制了不同折叠半径(2~10mm)下各层的应变量。随着弯曲半径的减小，各层的应变水平迅速增加。为了判定膜层是否存在断裂风险，需要材料的疲劳失效强度，我们这里采用应变作为评估标准。疲劳应变可以通过功能层的单体弯曲测试来获取，能承受的弯折次数与模组相同。即使是相同的功能层，不同的化学成分、工艺条件等都会影响该值的大小。例如，我们发现对于 FC 上的硬涂层，拉伸应变在 1.2% 以下是可靠的，而对于 TFE 层，拉伸应变在 0.5% 以下是可以接受的。在 FC 和 TFE 的限制条件下，模拟结果预测，我们的柔性显示模组能够在外折半径大于 3.5 mm 的情况下进行静态和动态折叠。在试验验证中发现，模组在半径为 3mm 进行了 10 万次弯折后，FC 或 TFE 发生了断裂，与有限元结果吻合的很好。

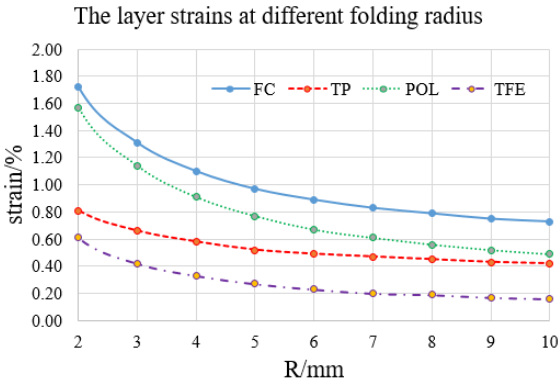


Figure 2. The lay strain levels at different folding radius for a display module stack. The strain levels in different layers increase rapidly at as the bending radius decreases.

图 2. 显示模组在不同折叠半径下的应变水平。随着弯曲半径的减小，各层的应变水平迅速增加。

图 3 展示了在折叠和展开过程中 SUF 相对 FC 滑移量的变化。需要注意的是，每个动作完成后会保持静止 1500s，以观察胶层的粘弹性效应。刚折叠后滑移量约为 $80\text{ }\mu\text{m}$ ，过了 1500s 后滑移量增加到 $250\text{ }\mu\text{m}$ 。显示屏在刚展平时，滑移量仅减少了 $50\text{ }\mu\text{m}$ ，在随后的 1500s 内慢慢下降到 15 微米。

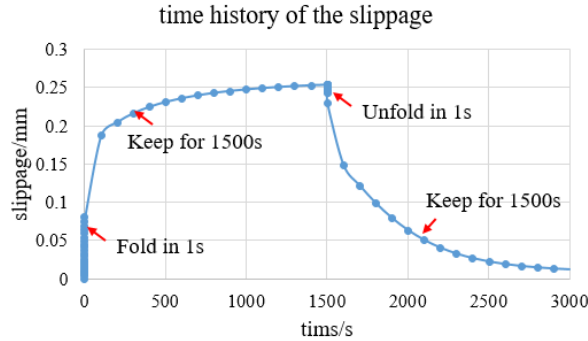


Figure 3. The time history of the slippage. Due to the viscoelastic behavior of the adhesive, the slippage continues to develop although the folding and unfolding is finished.

图 3.滑移量的时间历程曲线。由于胶层的粘弹性行为，虽然屏幕已经完成折叠和展开，但滑移量仍在继续变化

3.2 内折

内折是另一种常见的柔性屏形态。相比外折，内折的产品在折叠时可以有效的保护屏幕不受外部冲击，只在需要使用时才会展开屏幕。在内折仿真模型中，将屏幕固定于两块刚性板上，通过刚性板的旋转带动屏幕实现内折形态，折叠半径为 2mm 。图 4 展示了柔性屏内折的有限元模型，模组背部贴合了厚度为 $150\text{ }\mu\text{m}$ 的金属片，并在弯折区做了图形化处理以降低金属片的应力。

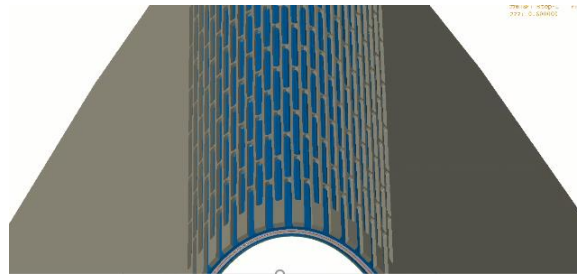


Figure 4. the FEA model of inward-folding

图 4. 柔性屏内折的有限元模型

根据我们的经验，外折和内折表现出来的力学行为和机械失效截然不同。外折主要表现为盖板硬涂层（HC）和 TFE 的断裂，以及 OLED 层的剥离，而内折主要是由于膜层发生蠕变带来的折痕问题，对柔性屏外观产生了不利的影响。图 5 对比外折和内折这两种形态沿厚度方向应变分布，其中外折半径为 5mm ，内折半径为 2mm 。外折和内折半径不同的原因是因为整机设计的需要。整机厚度（折叠状态）为 10mm 的情况下，外折的最小半径为 5mm 。而内折的半径则可以不受限制，但是太大则不美观，太小则膜层变形严重， 2mm 是一个可接受的数值。从图 5 看出，两种形态应变的分布趋势相反。HC 以及 TFE、TFT 层是脆性材料，脆性材料在受到拉伸时，较容易发生断裂。在外折情况下，HC 以及 TFE 都处于拉伸状态，而内折则是压缩状态。在内折时，FC、POL 以及 SUF 的应变都高于外折，其中 SUF 应变高达 2.7% 。有机膜材在高应变情况下，更容易产生蠕变，是柔性屏产生折痕的重要原

因之一。

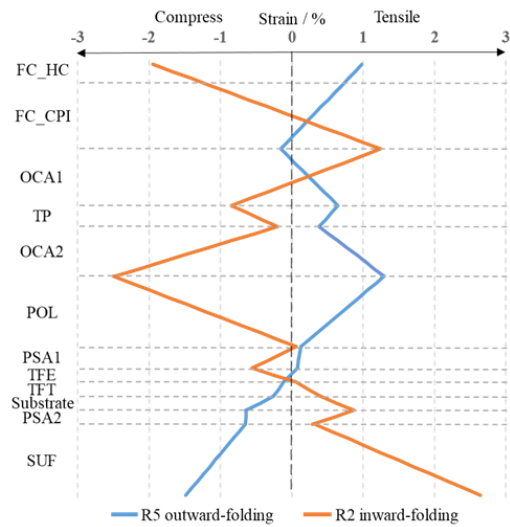


Figure 5. The comparison of strain between inward-folding and outward-folding
图 5.内折和外折沿厚度方向的应变分布对比

图 6 为 FC 的单向拉伸曲线图，以 80MPa 应力加载并保持 10min，可以看到 FC 在缓慢伸长。卸载 10min 后，FC 的残余蠕变为 0.35%。该曲线说明膜材的蠕变效应是不可忽视的，尤其是当柔性屏长期处于弯折状态，膜材累积的永久形变可能会非常可观。

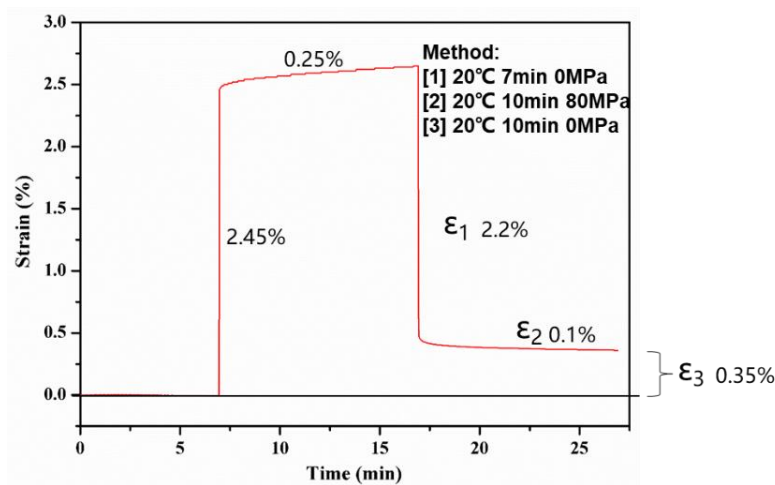


Figure 6. the strain curve of FC under tension
图 6. FC 膜材的单向拉伸曲线

为了改善内折时膜层的变形，本文对显示屏叠构进行了优化，减薄了膜层的厚度。如图 7，绘制了优化前后膜层绝对应变的对比，各膜层应变均有所下降，尤其是 SUF 应变下降了 40%以上，效果非常明显。

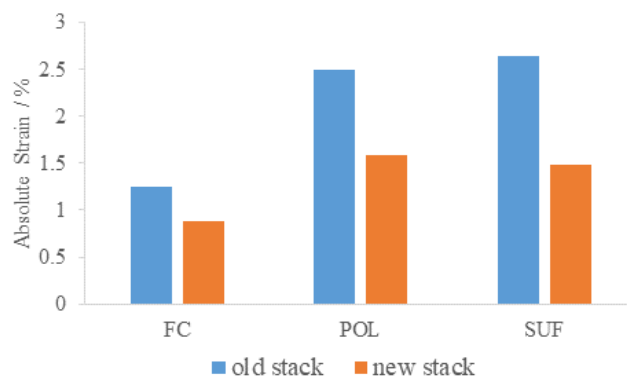


Figure 7. The comparison of absolute strain between the old and new stack

图 7.叠构优化前后膜层绝对应变对比

3.3 卷曲

在未来的终端产品设计中，卷曲是另一种潜在的应用。在卷曲的过程中，胶层整体发生剪切变形，由于底部膜层受到胶层向中间挤压的切应力，一旦超过临界值将会发生屈曲。屈曲的发生会对显示屏造成严重的损坏，主要是膜层断裂以及 OLED 层的剥离，因此需要仔细设计堆叠以避免上述问题。

在卷曲仿真中，所采用的屏幕叠构厚度与外折相同，显示面朝向圆心，卷曲半径设置为 12mm。模型中采用不同杨氏模量的 FC 进行仿真分析，其中高弹性模量的为低弹性模量的 7 倍。

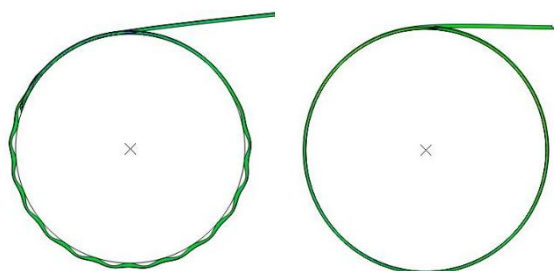


Figure 8. The deformation of rolling with “soft” FC (left) and “hard” FC (right). In the case of “soft” FC, the buckling effect occurs periodically with a wave-like feature.

图 8.分别采用“软”FC (左)和“硬”FC (右)的卷曲变形。在采用“软”FC 的情况下，屈曲效应呈现周期性特征。

图 8 展示了卷曲仿真中采用不同 FC 带来的显著差异。在采用模量较小 FC 的情况下，屈曲效应呈现周期性分布。屈曲的发生显著增加了所有膜层内的弯曲应变，进一步导致电路、TFE 或 FC 的断裂。然而，当 FC 的模量提高 7 倍以上时，屈曲现象消失了，如图 8 所示。为了验证有限元模型，进行了相应的卷曲试验。图 9 展示了一条横贯面板的裂缝，这是面板在卷曲过程中发生了屈曲导致的。这种屈曲还会损坏面板上的驱动电路，因此有一半的画面是暗的。同时，较厚的 FC 层在减少屈曲方面具有类似的效果。

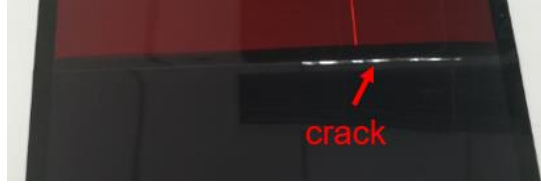


Figure 9. Typical failure mode of a display model caused by buckling during the rolling test
图 9.卷曲实验中，由屈曲效应所引发的失效模式

3.4 OLED 层界面结合强度

OLED 层的界面结合强度通常较弱，界面剥离的现象时常发生。例如，在制造过程中，需要从显示模组上撕下临时保护膜，这可能会导致 OLED 层之间的剥离，特别是在与阴极层相关的界面。为了提高成品率，应慎重选择保护膜的剥离力。因此，为了指导对保护膜的选择，有必要对 OLED 的界面强度进行测试，用胶带进行剥离力试验是常用方法。本文提出了一种基于虚拟裂纹闭合技术^[2] (VCCT)的新方法。表面能密度，是一个常常用来表征界面强度大小的物理量，衡量生成单位面积物质界面所需要的功。较大的表面能密度意味着界面结合强度较高，裂纹较难扩展。

在断裂理论中，裂纹尖端附近的应变能对裂纹的扩展起着重要作用。当裂纹扩展时，应变能释放，同时表面能增加。在这里引入能量释放率作为裂纹扩展的驱动力^[3]，其定义为：

$$G = \frac{\delta \Pi}{\delta A}$$

其中 Π 和 A 分别表示系统的势能和裂纹面积。

如果能量释放率超过界面结合强度，裂纹就会扩展，直到达到新的平衡。当能量释放率小于界面结合强度时，裂纹将趋于稳定。在临界状态下，能量释放率等于界面结合强度，表示为

$$G = G_c$$

根据这一理论，本文设计了一个弯曲试验来测量 OLED 层之间的界面结合强度。在这种测试之前，选取 TFE 的一小方形区域，与其他区域分开，使得该处的 TFE 可以自由的发生剥离。在弯曲试验中，记录了弯曲半径 R 和相对应的剥离长度 L ，如图 10 所示。实验设备构造非常简单，实验成本很低，且较容易实施。实验过程是准静态的，因此能量释放率等于界面结合强度。因此，要获得界面结合强度，关键在于如何计算能量释放率。



Figure 10. Illustration and equipment for the bending test. Before test, a small region of the TFE is separated from other domains so that the isolated TFE can peel freely.

图 10.弯曲试验的示意图和设备。在测试前，选取 TFE 的一小方形区域，与其他区域分开，使得该处的 TFE 可以自由的发生剥离。

由于涉及大变形、旋转、非线性材料行为，要导出弯曲试验的解析解是非常困难的。为此，本文建立了基于 VCCT 方法的弯曲试验有限元模型，以求得在相同载荷条件下的能量

释放率。在模拟之前，在阴极层和其他 OLED 层之间设置了一个预定义的裂纹，其长度与弯曲试验中记录的相同。然后，两块刚性板相互移动，直到显示器弯曲到预期的半径，如图 11 所示。

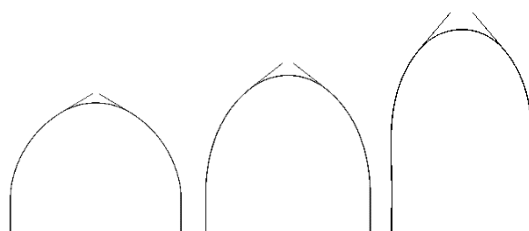


Figure 11. The FEA model of bending test. The bending radius R and crack length L equal to the recorded data in the bending test.

图 11.弯曲试验的有限元模型。弯曲半径 R 和裂纹长度 L 等于弯曲试验记录的数据。

表 1 列出了三个实验条件下的模拟结果，尽管实验结果中， L 值相对变化较大，但是能量释放率的百分比变化相对较小，表明这种方法的一致性较好，能够满足工程需求。

	R	L	G
S1	15.0 mm	7.5 mm	$4.19 \times 10^{-4} \text{N/mm}$
S2	14.8 mm	10.0 mm	$3.86 \times 10^{-4} \text{N/mm}$
S3	14.8 mm	8.0 mm	$4.19 \times 10^{-4} \text{N/mm}$

Table 1. The experiment results and energy release rate by VCCT

表 1.实验结果和能量释放率

4 总结

针对柔性显示屏建立了几种有限元分析模型，并进行了验证。有限元分析模型有助于我们更好地理解柔性显示模组的机械变形所引起的潜在问题。

参考文献:

- [1] Salmon F., Everaerts A., Campbell C., et al. Modeling the Mechanical Performance of a Foldable Display Panel Bonded by 3M Optically Clear Adhesives [C]. Sid Symposium Digest of Technical Papers: John Wiley & Sons, Ltd, 2017, 938-941.
- [2] Rybicki E. F., Kanninen M. F. A finite element calculation of stress intensity factors by a modified crack closure integral [J]. Engineering Fracture Mechanics. 1977, 9(4):931-938.
- [3] Griffith A. A. The Phenomena of Rupture and Flow in Solids [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1921, 221:163-198.

PVI-4

柔性 OLED 显示提高屏占比的创新研究

王守坤, 秦韶阳, 葛泳, 杜哲, 单奇, 王刚, 李俊峰

(维信诺科技股份有限公司, 河北 固安, 065500, wangsk@visionox.com)

摘要: 本文主要介绍柔性 OLED 屏体提高屏占比的创新研究。通过研究在 OLED 屏体像素显示区域的通孔设计和工艺, 将柔性 OLED 屏体进行开孔, 同时解决 OLED 柔性屏体封装的可靠性难题, 将摄像头等功能器件放置此显示区域, 极大的提高屏占比, 从而为实现 OLED 柔性全面屏显示提供了一种全新的解决方案。

关键字: OLED, 柔性屏体, 通孔, TFE 封装, 显示区域开孔, 全面屏显示

Innovative Research on Flexible OLED Display to Improve the Proportion of Screen

WANG Shoukun, QIN Shaoyang, GE Yong, DU Zhe, SHAN Qi, WANG Gang, LI Junfeng
(Visionox Technology Inc., Gu'an, Hebei 065500 P. R. China, wangsk@visionox.com)

Abstract: This paper mainly introduces the innovative research of flexible OLED panel to improve the proportion of screen. By using through-hole design and technology in the pixel display area of flexible OLED screen, the flexible OLED screen is perforated, moreover the reliability problem of flexible OLED screen packaging is solved. The camera and other functional devices are placed under this display area, which greatly increases the proportion of flexible full screen display of OLED.

Key words: OLED, Flexible screen, Through hole, TFE encapsulation, Hole in display, Full screen display

1. 引言

有机发光显示器 AMOLED (Organic Light Emitting Diode, OLED) 因其具有响应快, 低功耗, 宽视角和高对比度以及轻薄柔性等优点, 被大家广泛关注和应用^[1-4]。为提高 AMOLED 显示屏幕的屏占比, 我们进行了相应的研究, 在 AMOLED 屏体的显示区域进行通透开孔, 将摄像头等装置放置于显示区域, 可极大增加屏幕的视觉效果, 如图 1; 但是相比于 LCD 屏幕的显示区开孔, AMOLED 的显示区域的开孔挑战比较大, 需要解决 AMOLED 的可靠性, 防止外界环境的水氧入侵, 保证屏体的显示性能。本文主要介绍提高 OLED 屏占比的相关 AMOLED 显示区通透开孔的创新研究, 并分析技术难点, 从而为全面屏的实现提出了一种解决方案。

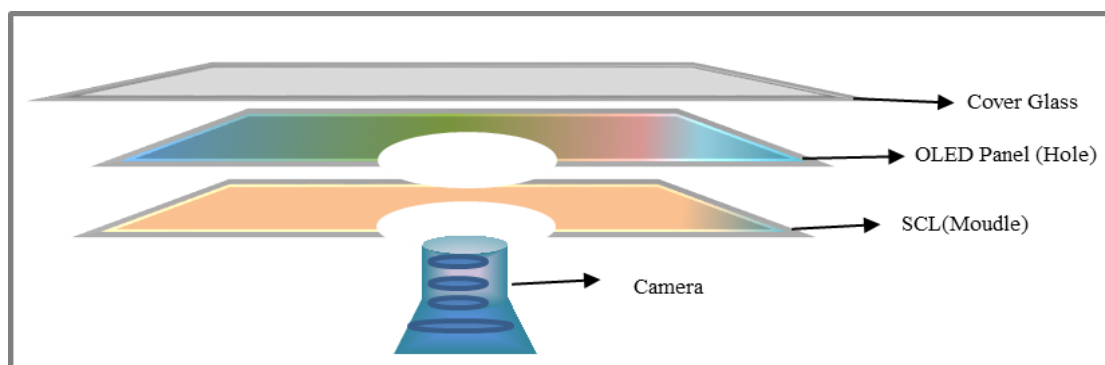
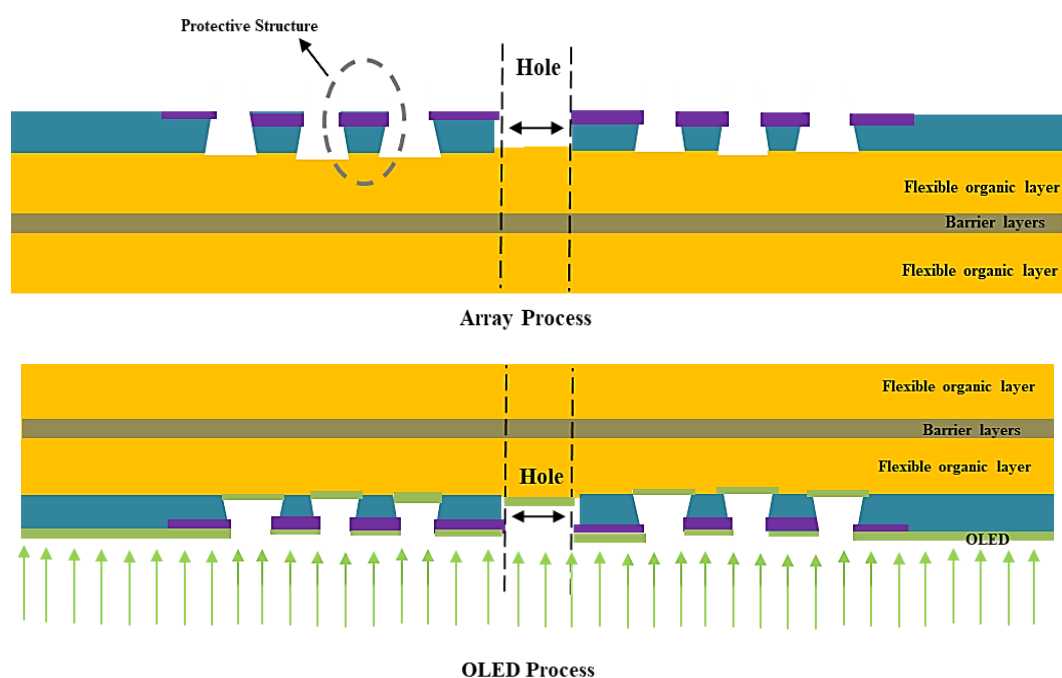


图 1.AMOLED 屏体显示区开通孔的示意图

Fig. 1 Schematic diagram of hole in display area of AMOLED panel

2. 样品制备

通过阵列工艺，在屏体显示的开孔周边区域形成保护结构，此保护结构可通过阵列的复合膜层形成凸出和凹槽结构，并且复合膜层有多个制备方法：可由金属的复合膜层形成，或者由无机膜层和柔性有机衬底膜层组合形成；也可由金属或者半导体膜层来形成凸出的顶部部分，下部为无机膜层或者有机膜作为支撑的结构来形成复合膜层；然后进行 OLED 蒸镀工序和柔性屏体的封装；最后在模组工序通过激光工艺将开孔区进行激光开孔，完成屏体样品的制备，工艺流程如图 2 所示。



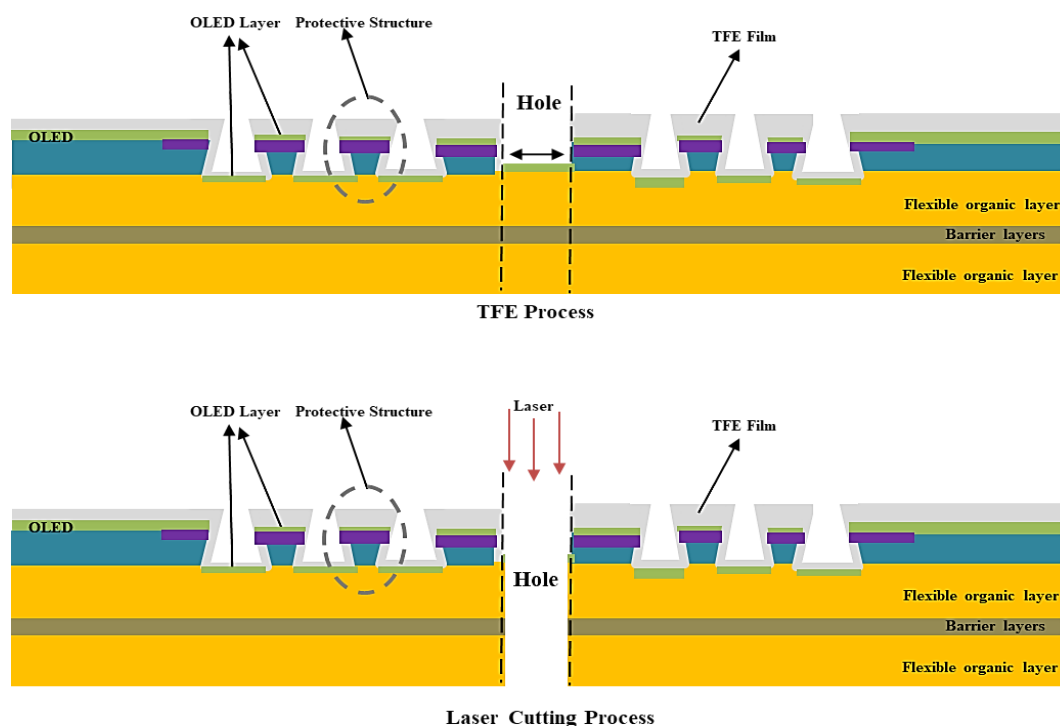


图 2 样品制备工艺流程
Fig. 2 Process flow of sample preparation

3. 结果分析

通过上述工序完成样品的制备。我们对此样品进行极端条件下的信赖性测试，测试条件为温度 85℃，湿度为 85% 的高温高湿环境，结果发现屏体在经过 240h 后，孔区出现黑斑现象，如图 3a。我们对此样品进行 FIB 分析(图 3b)和显微镜分析(图 3c)，发现孔区的周边防护结构有明显的损坏。根据此不良分析推测，应该为外力导致的破坏，而且发生在 OLED 蒸镀之前，在此工序之前有极大外力产生的工序，应为水洗单元工序；为验证此推测的准确性，我们进行了加剧恶化验证，将样品基板经过水洗单元两次，结果发现样品经过两次水洗单元后，比经过一次清洗单元的样品，损坏严重加剧，如图 3d；因此，确认此水洗单元应为造成此不良的工序。

分析确认不良产生原因后，我们对工艺进行了优化。通常的水洗单元里面设有高压水洗，为避免水洗单元对保护结构的损坏，我们将此高压水洗的参数进行优化设置（压力 Pressure 降低 50%），然后再次进行样品制备，经过此水洗单元和模组工序后，显微镜检查结构都是完整无损坏，如图 3e。然后再次进行温度 85℃，湿度 85% 的高温高湿环境验证，屏体经过 360h 的高温高湿的极端条件后，屏体开孔区仍完美显示(图 3f)，说明此防护结构，能成功防止外界环境的水氧入侵，保证屏体性能的可靠性。

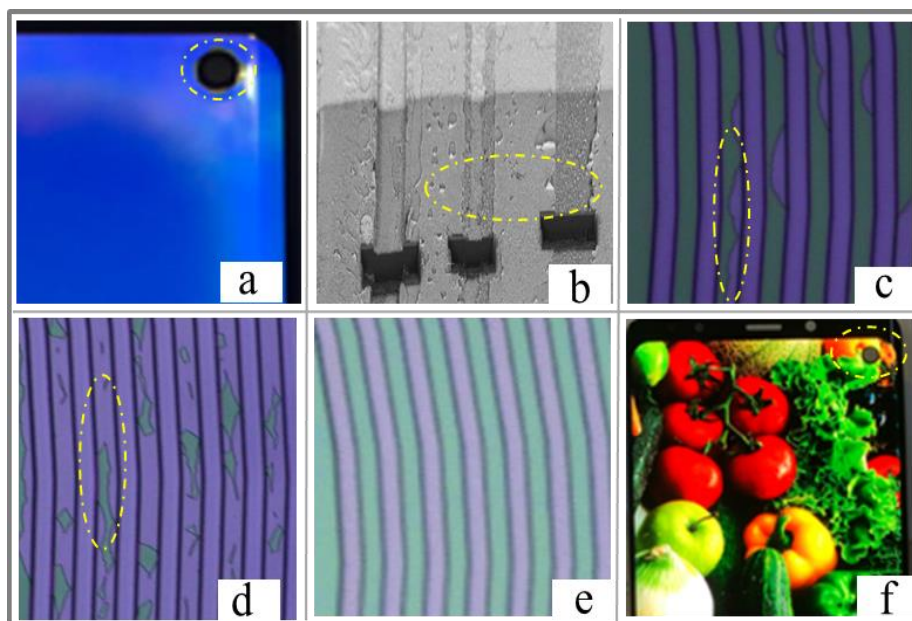


图 3 样品测试结果

Fig. 3 Reliability test result of samples

4. 讨论分析

OLED 材料对外界的水氧非常敏感, 若 OLED 的屏体封装不佳, 外界水氧会沿着 OLED 等膜层进入屏体内部, 极易导致 OLED 屏体发生黑斑不良, 引起屏体失效, 失效原理示意如图 4。所以, 如果在柔性屏体显示区域开通孔, 必须进行阻隔水氧的特殊设计和工艺, 保证封装的有效性。本文在屏体内部开孔的周围的防护, 通过保护结构将蒸镀 OLED 材料进行断开, 隔断水氧入侵的路径, 保证屏体显示的可靠性, 防护结构的工作原理示意如图 5。

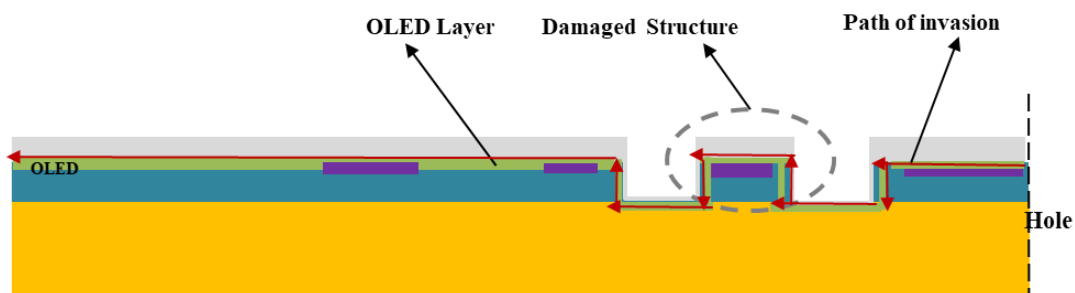


图 4 失效原因示意图

Fig. 4 Schematic diagram of reliability failure mechanisms

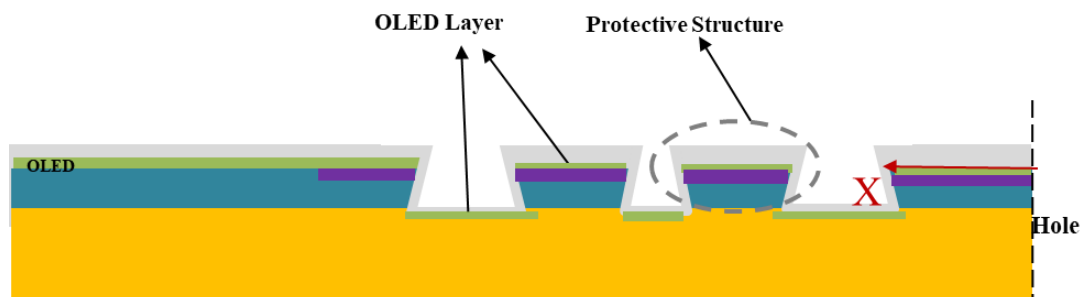


图 5 保护结构示意图

Fig. 5 Schematic diagram of protective structure

5. 结论

本文通过研究 OLED 柔性屏体提高屏占比技术,创新性的采用特殊的通孔保护结构设计,经过工艺优化和改善,成功实现柔性 AMOLED 的显示区域开孔,研发出满足于 OLED 产业的工艺流程,并且样品已顺利通过严苛的环境验证,极大提高柔性 OLED 屏体的屏占比和显示效果,为全面屏显示的解决给出了新的方案。

参考文献:

- [1] Sasabe H, Kido J. Development of high performance OLEDs for general lighting [J]. Journal of Materials Chemistry C, 2013.
- [2] T. Kohno, H. Kageyama, M. Miyamoto, et al. High-speed programming architecture and image-sticking cancellation technology for high-resolution low-voltage AMOLEDs [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2011, vol.58, no.10: 3444-3452.
- [3] Tang C W. CW Tang and SA VanSlyke, Appl. Phys. Lett. 51, 913 (1987) [J]. Appl. Phys. Lett., 1987, 51: 913.
- [4] 李继军, 聂小梦, 甄威等. 显示技术比较及新进展[J]. 液晶与显示, 2018; 1:77-81

PVI-5

柔性折叠屏模组支撑层结构弯折应力分析

汪文强, 贾永臻, 李浩群, 蒋茂圆, 张卓*

(武汉华星光电半导体有限公司, 武汉, 430078, wangwenqiang@tcl.com)

摘要: 柔性 OLED 屏幕模组在弯折过程中, 常存在显示器件层断裂失效、胶层与支撑层脱粘问题, 这一现象直接影响产品的良率。调整模组各膜层、胶层、支撑层的材料性能、厚度是解决这类问题的主要举措。本文针对支撑层与胶层存在脱粘问题, 设计一种周期性网孔薄板结构, 以替代整面型模组支撑结构, 并基于 Abaqus 有限元分析方法, 建立模组支撑层结构的分析模型, 研究了支撑层弯折区周期性网孔子结构特征值范围与局部应力集中的之间的关联性。结果表明, 采用周期性网孔薄板结构设计方式, 可以使支撑层弯折区局部结构模量有效降低, 并能显著提高模组支撑层的延伸率, 从而在弯折过程中能与临近胶层变形协调性, 有效降低了弯折过程中该区域胶层脱粘的问题; 此外, 周期性网孔子结构峰值应力值与单体子结构的特征值有直接的关联性; 合理设计子结构的关键特征尺寸值是降低模组折叠时支撑层的局部峰值应力的重要途径。

关键字: 柔性 OLED, 折叠屏, 脱粘, 周期性结构, 峰值应力

Bending stress simulation of foldable OLED support layer structure

Wenqiang Wang, Yongzhen Jia, Haoqun Li, Maoyuan Jiang, Zhuo Zhang

(Wuhan China Star Optoelectronics Semiconductor Display Technology Co., Ltd, Wuhan, 430078, China, wangwenqiang@tcl.com)

Abstract: In the bending process of flexible OLED screen module, display component fracture failure and adhesive layer and support layer debonding problem often occur, which directly affects the yield of the product. To overcome such problems, the main solution is to adjust the material properties and thickness of film layers, including adhesive layer and support layer. In this paper, a periodic mesh structure is designed to replace the faceted module support structure in order to solve the debonding problem between the support layer and the adhesive layer. Based on the Abaqus finite element analysis method, an analytical model of the module support layer structure is developed to investigate the correlation between the eigenvalue range of the periodic mesh substructure and the local stress concentration in the bending zone of the support layer. The results show that the use of periodic mesh sheet structure design can decrease the local structural modulus in the bending zone of the support layer, and can significantly improve the elongation of the support layer of the module. It allows the deformations of adjacent layers to be coordinated during the bending process, thus effectively reducing the debonding problem. In addition, the peak stress values of the periodic mesh substructure are directly related to the eigenvalues of the substructure. Finally, a proper design of the critical feature size of the substructure is important to reduce the local stress concentration in the support layer when the module is folded.

Key words: Flexible OLED, Folding screen, Peeling, Periodic structure, Peak stress

1. 引言

近年来, 有机发光二极管(Organic Light Emitted Diode, OLED)显示技术日趋成熟, OLED

模组叠构在 LED(Light Emitted Diode,LED)技术的基础之上, 其厚度得到明显的降低, 这使得柔性 OLED 的制造良率有效提升^[1-5], 有机光学膜层、胶层材料性能的不断改善, 加快了柔性显示商用化的进程^[6]。近年来, 各终端厂商已陆续推出柔性折叠、卷曲式显示电子产品, 但价格较为昂贵导致产品的普及性相对较低。柔性显示屏的生产良率较低是导致这一现象的直接原因。其中, 当前阶段柔性显示模组在生产过程中模组叠构膜层材料之间出现脱粘、断裂失效等现象频频出现, 直接影响产品的使用寿命和生产良率。

因此, 如何改善整个结构中的变形协调性情况成为了多层堆叠结构屏幕所面临的主要问题, 针对这些情况, 已有学者从结构设计的角度对柔性屏幕进行性能改进^[6-9], 但仅比较了保护盖板厚度对中性层的影响, 对模组支撑层的研究较少, 且对胶层剥离问题没有讨论。

本文重点探究模组支撑层结构的柔性化设计的思路, 通过采用周期性网格子结构设计, 合理降低模组支撑层结构的局部模量, 调整支撑层在弯折过程中变形的协调一致性, 避免弯折过程对显示层造成的过度破坏现象, 改善局部胶层剥离问题。并运用有限元分析的方式, 确定了周期性网格子结构的关键特征尺寸范围, 达到有效降低局部应力集中, 提高柔性模组弯折良率的目的。

2. 实验

2.1 实验现象

一般而言, OLED 典型的模组叠构中, 为保证模组的整体平整性, 叠构最底下一层材料通常采用较薄的不锈钢板(SUS)作为支撑层, 具体叠构示意图如图 1 所示。

OLED 模组叠构主要包括保护盖板(CW)、偏光片(POL)、显示层及触控层(Panel)、基板(BP)以及模组支撑层。其中 OCA、PSA 为光学胶层, 在结构上起到胶粘连接作用, 呈透明状, 具有良好的光学特性, 同时且具备高黏着力、高耐候、耐水性、耐高温等特性, 属于粘弹性材料。各膜层按照图示所示以不同的厚度通过 OCA、PSA 胶连而成。

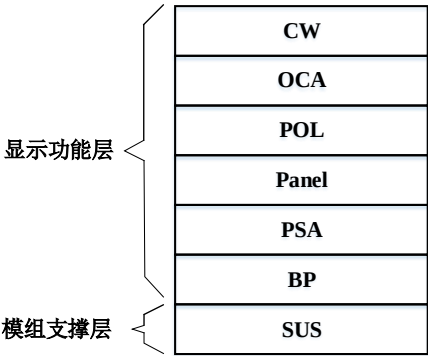


图 1. 典型柔性 OLED 模组叠构形式示意图

然而由于膜层、胶层弹性模量相对较低, 且胶层具有明显的粘弹性, SUS 模量高达 200GPa 左右。故因两者之间材料的模量存在显著的数量级关系(单向等效模量相差 100-1000 倍), 导致弯折刚度必然存在明显的差异性, 故在弯折过程中因受力变形不协调, 常常引发膜层之间的脱粘(Peeling)现象, 如图 2 所示。胶层所存在的脱粘现象, 进而引光学发器件层、触控层的连续失效, 直接导致产品损坏。

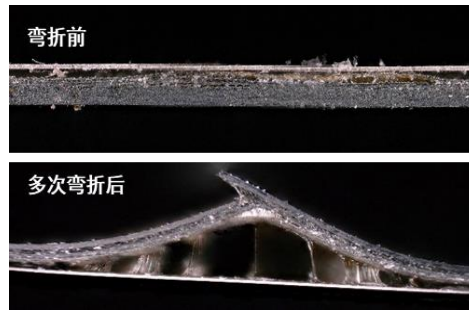


图 2.疲劳弯折后模组支撑层脱粘现象

鉴此，在保证模组非弯折区整体的刚度和支撑性能的前提下，必须要对弯折区进行合理设计，杜绝胶层脱粘现象。

2.2 模组支撑层结构设计

为改善实验过程中所存在的支撑层与胶层出现的脱粘现象，将整面 SUS 的弯折区内制成网格形，即带 Pattern 图案的结构形式，如图 3 所示。该结构的主要特点为采用长条形子结构，以平行于弯折中心线的方式呈周期性排布于弯折区内。子结构特征尺寸均一，对称，其特征尺寸值如图 4 所示，其中包括子结构长度 L 、横向间距 X 、纵向间距 Y 、直径 D 。为保持各子结构加工成型的精度，采用干蚀刻方式进行加工处理，并严格控制蚀刻速度，加工误差控制在 $2\mu\text{m}$ 范围内。

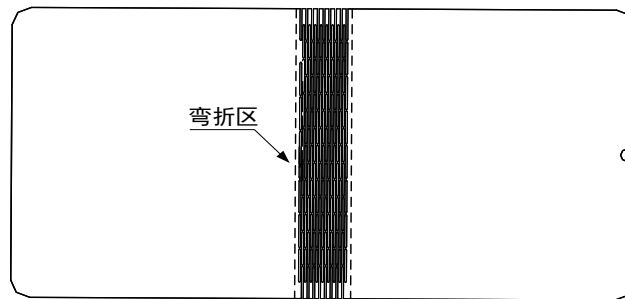


图 3.带 Pattern 图案模组支撑层结构形式

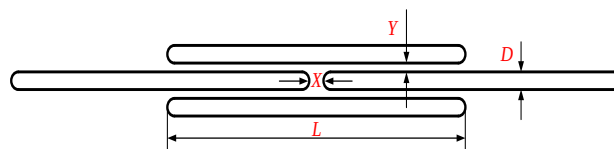


图 4.带 Pattern 图案模组支撑层子结构单元

然而，以增加网格孔洞的方式改善弯折区的刚度提高弯折柔性，其本质是通过破坏 SUS 整面材料的连续性。但孔洞子结构引入，必然会带来新的局部应力集中效应。诚然，这一方案相比整面 SUS 在一定程度上有效解决了 Peeling 现象，但在长时间弯折疲劳试验中(弯折折叠次数 >20 万次)，常出现局部断裂的现象，如图 5 所示。这一断裂问题的存在直接影响 OLED 模组的使用寿命。

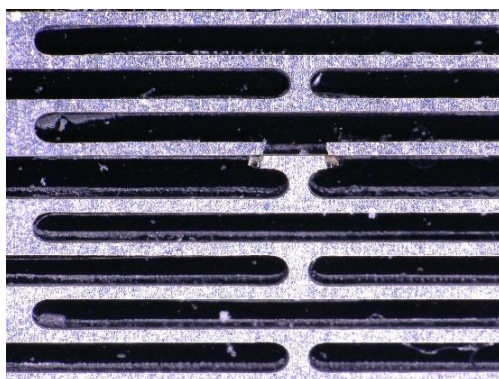


图 5.Pattern SUS 模组支撑层局部断裂现象

Pattern SUS 局部存在断裂现象的关键在于周期性分布的子结构尺寸设计匹配不合理所致。尺寸过渡跨度较大，尺寸不均引发峰值应力集中的主要诱因^[10~12]。为此，必须明晰模组弯折 Pattern SUS 的实际受力状态，确定局部应力集中峰值与周期性子结构关键尺寸长度 L 、横向间距 X 、纵向间隔 Y 、孔直径 D 之间的关系，即各项特征值的尺寸效应。通过优化设计各特征值的组合关系与设计选型范围是减少 Pattern SUS 断裂风险的关键所在。

3. 仿真分析

3.1 仿真模型建立

Pattern SUS 仿真模型具体参考几何尺寸图示如图 6 所示，厚度为 0.15mm。该型 OLED 柔性模组的弯折直径为 $r=3\text{mm}$ ，最终弯折形态呈半圆形折叠。建模时，模组下方结构设置为刚性体，并建立参考点 A、参考点 B，两侧刚性体的运动轨迹与 A 点 B 点分别耦合；弯折时，由刚性形体的转动带动整体模组的弯折动作，同时对称转动 90° 形成如图 7 所示形态。

为研究 Pattern SUS 在弯折过程中的应力集中峰值与周期性子结构特征参数 L 、 X 、 Y 、 D 之间的关联性，故建立多种不同的特征尺寸值进行对比分析。

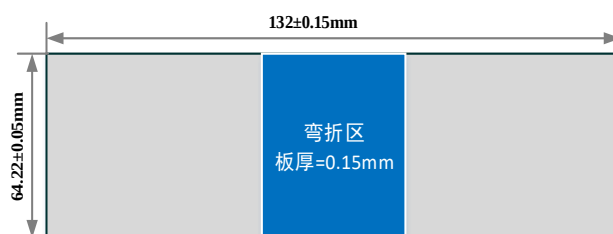


图 6. Pattern SUS 模型具体参考几何尺寸

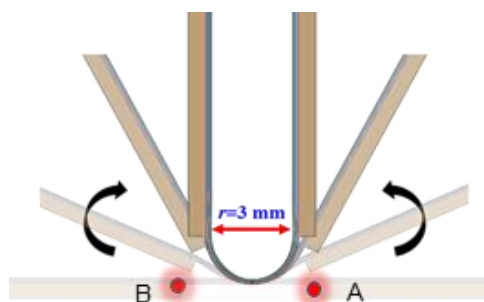


图 7.模组叠构最终弯折形态图示

3.2 网格划分

本文采用 Abaqus 分析软件，建立 OLED 三维有限元分析模型，分析模型采用六面体网格进行划分，单元尺寸为 0.06mm，厚度方向所有结构均划分为三层。网格单元类型为杂交、

减缩积分单元。其中，Pattern SUS 子结构局部圆弧尺寸过渡位置，设置不低于八个单元划分网格，以减少计算误差。具体如图 8 所示。此外，Pattern SUS 材料参数弹性模量为 192GPa，泊松比为 0.33。局部网格如图 9 所示。

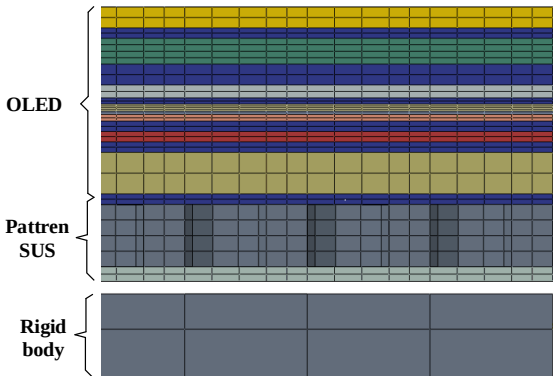


图 8. 全模组三维网格图示

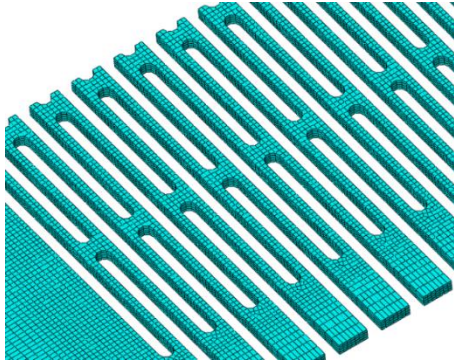
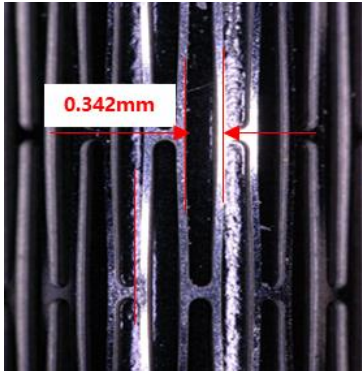


图 9. Pattern SUS 三维网格局部图示

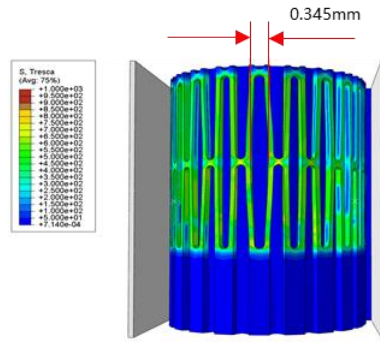
4. 结果分析

本文重点研究 OLED 模组弯折后降低 Pattern SUS 的峰值应力的具体措施。故模型中各膜层、胶层的厚度、模量等参数不作对比分析，只分析 Pattern SUS 子结构关键特征值与应力的关联性，以此确定最优尺寸选型范围。并通过对比 Pattern SUS 实验实测变形值与仿真值校验仿真结果的准确性。

如图 10a 所示为模组弯折时，Pattern SUS 子结构实测变形形貌；图 10b 为 Pattern SUS 子结构仿真变形图示。结合仿真计算结果和实测值对比发现，Pattern SUS 子结构最大变形位置位于弯折对称中心位置，且该处子结构最大实测变形值为 0.342mm，与仿真值 0.345mm 相差较小，这表明仿真结果能准确预测 Pattern SUS 在弯折过程中的实际力学行为。



(a) Pattern SUS 子结构实测变形形貌



(b) Pattern SUS 子结构仿真变形图示

图 10 .Pattern SUS 实验与仿真对比图示

图 11 为 Pattern SUS 单体弯折应力云图，为观察分析局部应力分布情况，其余膜层、胶层计算云图已作隐藏处理。结合应力云图可知，应力最大位置主要分布于子结构横向梁结构，且在工字型横纵结构交界处应力出现峰值。

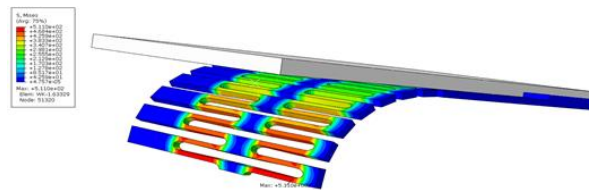


图 11. Pattern SUS 单体局部弯折应力云图

为研究子结构特征值的与峰值应力的关联性，将各特征值进行解耦分析，即各组特征值相互对照时，控制单一不变量，即确定其他相关值，只改变单一特征变量进行对比分析。图 12~图 15 分别为 Pattern SUS 子结构不同特征值与峰值应力之间的对照曲线。

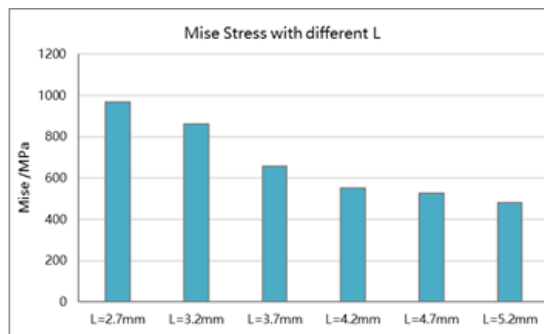


图 12. Pattern 子结构长度 L 值与峰值应力趋势图

如图 12 所示为 $L=2.7\text{mm}\sim 5.2\text{mm}$ 区间范围时对应应力的关系图。从图中可知，在其他特征尺寸一定的前提下，弯折峰值应力随 L 值增大呈降低趋势，且在 $4.2\text{mm}\sim 5.2\text{mm}$ 时应力降低幅度不明显。这是由于 Pattern SUS 子结构纵向间距尺寸与厚度尺寸相差不大，弯折过程中整面 Pattern SUS 位置弯折曲率最小，形变梯度最大，则每一根子结构在弯折宽度方向不仅承受弯折应力，而且会承受因弯折而引起的局部扭转应力的作用，故而在子结构交横纵交界位置应力达到峰值。而子结构的扭转应力会随着 L 长度的增大而被均分，横梁根部应力峰值相应减小。但随着 L 增大，每一处子结构的反向扭转力也会降低，即弯折区的相对刚性随之降低。

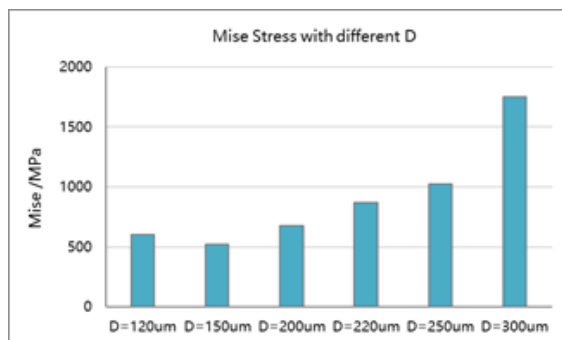


图 13 .Pattern 子结构孔径 D 值与峰值应力趋势图

图 13 为 $D=120\mu\text{m}\sim 300\mu\text{m}$ 区间范围时对应应力的关系图。从图中可知，在其他特征尺寸一定的前提下，弯折峰值应力随 D 值增大呈增大趋势，且在 $D\geq 250\mu\text{m}$ 时，峰值应力大于 1000MPa，超过普通钢材许用强度范围。且在 $D=300\mu\text{m}$ 时，峰值应力变化较为急剧。这是由于在其他尺寸不变的前提下，D 值增大，弯折区孔洞化程度相应增大，而弯折区的最终弯折形态没有发生变化，导致纵向单体子结构局部弯折曲率发生变化，应力集中程度相应恶化。因此，降低合理减小子结构 D 值，是降低弯折应力峰值的重要措施之一。

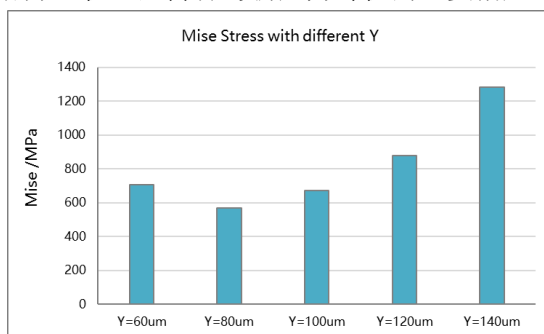


图 14. Pattern 子结构纵间距 Y 值与峰值应力趋势图

图 14 为 Pattern 子结构纵向间距 Y 值与峰值应力趋势图。由图可知，局部应力峰值与 Y 值呈先减小后增大趋势，且在 $Y=120\mu\text{m}$ 时，峰值应力接近 1000MPa, $Y=140\mu\text{m}$ 时，增幅明显。这是由于 Y 值增大，即每一根 Pattern 子横梁结构纵向宽度增大，弯曲刚度相应递增，且与该值呈指数型对应关系。因此在其他特征尺寸一定条件下，总体结构弯折曲率不变时，峰值应力会相应递增。

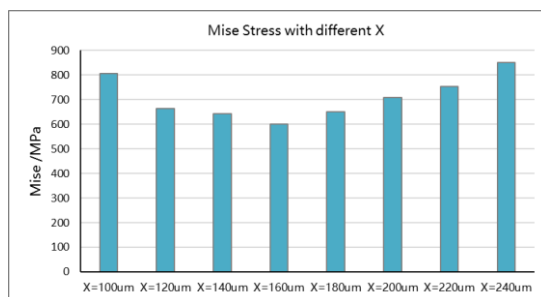


图 15. Pattern 子结构横间距 X 值与峰值应力趋势图

图 15 为 Pattern 子结构横向间距 X 值与峰值应力趋势图。通过不同的 X 值对比发现，局部应力峰值与 X 值呈先减小后增大趋势，且在 $X=160\mu\text{m}$ 时应力达到最小。这是由于子结构横向间距相对位置的大小决定应力集中系数。间距过小，应力集中系数急剧增大；距离过大会使每个子结构单元独立受力，因板厚尺寸效应，引起附加应力集中现象，从而失去减小应力集中的意义^[12]。因此，但在降低应力集中因素的过程中，必须着重考虑子结构的之间的

横向间隔位置,以使板内全局应力集中系数最小。

此外,对比 Pattern 子结构与各特征值与峰值应力趋势图发现,直径 D 值、纵向间距 Y 值对峰值应力的影响最为显著,因此设计 Pattern 结构时,需结合全模组叠构着重考虑该值的取值范围。

5. 结论

本文针对支撑层与胶层存在脱粘问题,设计一种周期性网孔薄板结构,替代整面型模组支撑结构,进行了全模组的弯折实验对比分析。并基于 Abaqus 有限元分析方法,建立模组支撑层结构的分析模型,研究了支撑层弯折区周期性网孔子结构特征值范围与局部应力集中的之间的关联性。得出以下结论:

1. OLED 柔性模组叠构中,选用整面 SUS 作为模组支撑层,当折叠半径较小,且 SUS 厚度相对较厚时,在弯折过程中因与相邻胶层受力变形不协调,是引发膜层之间的脱粘 (Peeling)重要原因之一;
2. 采用 Pattern 化的 SUS 支撑层结构,能有效改善弯折区的延展性,能明显降低弯折过程中的 Peeling 失效风险;
3. 模组弯折时,Pattern 的 SUS 支撑层结构的峰值应力与子结构的长度尺寸 L、直径 D、横向间距 X、纵向间距 Y 值直接相关;弯折峰值应力随 L 值增大呈减小趋势,与 D 值呈增大趋势,且与横向间距 X、纵向间距 Y 值均呈先减下后增大趋势;
4. 直径 D 值、纵向间距 Y 值对峰值应力的影响最为显著,因此设计 Pattern 结构时,需结合全模组叠构着重考虑该值的取值范围。

参考文献:

- [1] 马东阁.OLED 显示与照明——从基础研究到未来的应用[J].液晶与显示,2016,31(3),229-241.
- [2] 张军杰,杨铸.全球 OLED 产业发展现状及趋势[J].现代显示,2010,113(6):25-30.
- [3] Guo Z, Aboudi U, Peumans P, et al. A super stretchable organic thin-film diodes network that can be embedded into carbon fiber composite materials for sensor network applications[J]. Journal of Microelectromechanical Systems, 2016, 25(3): 524-532.
- [4] 刘晋红,张方辉.OLED 薄膜干燥剂的制备及其对 OLED 的影响[J].发光学报,2017,38(1),76:84.
- [5] 李琛,黄根茂,段炼,等.柔性有机发光二极管材料与器件研究进展[J].中国材料进展,2016,35(2):101-107.
- [6] 杨永强,段羽,陈平等.离子层沉积氧化铝作为有机电致发光器件的封装薄膜[J].发光学报,2014,35(9),1087-1092.
- [7] 曹艳,汪辉.OLED 技术及柔性 OLED 性能、缺陷的研究[J].现代显示,2008,(6):36-39.
- [8] LEOK Organic light-emitting diodes: efficient and Flexible solution.[J] Photonics,2011,5(12):716-718.
- [9] Yongzhen Jia, Zhengzhou Liu, Di Wu, Jifeng Chen, Hong Meng, Mechanical simulation of foldable AMOLED panel with a module structure.[J] Organic Electronics, 65(2019), 185-192.
- [10] D.H.Cho,O.E.Kwon, Y.S. Park,B, G.Yu,J.Lee, J.Moon, H.Lee,N,S.Cho,Flexible integrated OLED substrates prepared by printing and plating process, Org. Electron. 50 (2017) 170-176.
- [11] Y.F.Niu, S.F.Liu, JYChioumCY.Huang, Y.W.Chui, M.H.Lai, Y.W.Liu, Improving the flexibility of AMOLED display through modulating thickness of layer stack structure, J.Soc.Inf.Disp.24(5)(2016) 293-298.

[12] S.M.Lee, J.H.Kwon, S.Kwon, K.C. Choi, A review of flexible OLEDs toward highly durable unusual displays, IEEE Trans. Electron. Dev.64 (5) (2017) 1922-1931.

PVI-6

基于弱微腔结构优化的柔性封装堆叠结构的仿真设计

许正印, 马洪虎, 安菲菲, 申莹*

(上海天马微电子有限公司, 上海 201201, zhengyin_xu@tianma.cn)

摘要: 采用 setfos 模拟软件对有机电致发光器件, 主要基于弱微腔结构优化的柔性封装堆叠结构进行仿真设计, 目的在于寻找基于本公司器件材料体系下最优柔性封装堆叠结构。模拟柔性封装堆叠结构为 LiF/SiON/IJP/SiN。通过设定不同梯度厚度及折射率变化模拟仿真发现, 影响柔性有机发光器件功耗权重较高者为 LiF 及 SiON, 并结合产线实际状况给出柔性封装堆叠结构建议折射率及厚度。

关键字: setfos, 弱微腔结构, 柔性封装

Simulation Design of TFE Stack Structure Based on Weak Micro-cavity Structure Optimization

XU Zhenyin, MA Honghu, AN Feifei, SHEN Ying*

(Shanghai Tianma Microelectronics Co., Ltd, Shanghai 201201, CHN, zhengyin_xu@tianma.cn)

Abstract: Using setfos simulation software to simulate the design of organic light-emitting devices (OLEDs), mainly based on the TFE stack structure optimized by weak micro-cavity structure, in order to find the best TFE stack structure based on our device material system. The stack structure of simulated TFE is LiF/SiON/IJP/SiN. By setting different gradient thickness and change the refractive index, it is found that LiF and SiON are the most important factors affecting the power consumption of flexible organic light-emitting devices, and the refractive index and thickness of flexible packaging stack structure are proposed according to the actual situation of the MP line.

Key words: setfos, weak micro-cavity, TFE

1 引言

伴随着人类进入信息化时代, 信息的存储及显示形式也呈现出飞速发展趋势, 显示器作为视觉信息显示形式在信息交流中扮演重要角色。有机电致发光显示器件呈现出低功耗、广色域、视觉色差小、无需背光板、高对比度、响应时间快、高低温环境显示效果优异^[1-4], 同时, 结合柔性衬底及柔性封装, 其展现出可弯曲特性, 尤其进入 2019 年, 伴随着三星公司量产可折叠手机 Galaxy Fold, 正式开启折叠手机元年, 正吸引越来越多面板厂的投资与关注。

作为柔性有机电致发光器件关键项-柔性薄膜封装, 其封装结构、封装材料及封装方式是制约 OLED 器件寿命及可靠性的关键因子, 常用的柔性封装方式主要包括单层薄膜封装、多层薄膜封装、原子层沉积封装技术、有机物及无机物交替的 Barix 薄膜封装技术^[5-6]。柔性薄膜封装在满足 OLED 器件寿命和可靠性的前提下, 下一步动作便是优化柔性封装堆叠结构以满足 OLED 器件对光学和功耗方面的需求。然而就目前而言, 显示面板厂对于柔性薄膜封装的要求主要集中在可靠性方面, 对器件光学和功耗的考量较少。

因此, 本文采用 setfos 光学仿真软件结合经典物理学原理, 分析柔性薄膜封装各层对 OLED 器件白光色偏和功耗的影响程度, 并提供出一种柔性薄膜封装堆叠结构, 该研究对柔

性封装堆叠结构的设计具有重要指导意义。

2 模拟仿真

2.1 微腔效应原理

微腔效应指当器件发光区夹在一个全反射阳极和半反射阴极之间时，特定波长的光得到加强，非特定波长的光被减弱，进而导致发射光谱窄化的光学现象，其理论模型通常参考 Fabry-Perot 谐振腔结构，如图 1 所示。当特定波长的光满足公式 1 时，发生微腔共振加强：

$$\frac{2\pi}{\lambda} \sum_m 2n_m d_m \cos\theta_0 - \Phi_1(\lambda) - \Phi_2(\lambda) = k2\pi \quad (1)$$

其中， λ 是光波长； n_m 和 d_m 分别是夹在阳极和阴极之间的第 m 层有机层的折射率和厚度（默认消光系数为 0）； θ_0 是沿微腔法线方向的内观察角； $\Phi_1(\lambda)$ 和 $\Phi_2(\lambda)$ 分别是在反射阳极/有机材料和在有机材料/半透明阴极界面的相变； k 是模数。

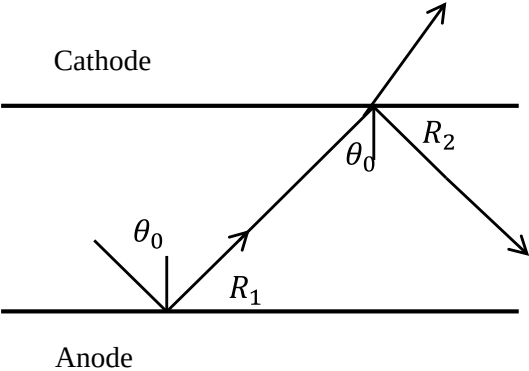


图 1 Fabry-Perot 谐振腔结构

Fig.1. The basic structure of Fabry-Perot resonance devices

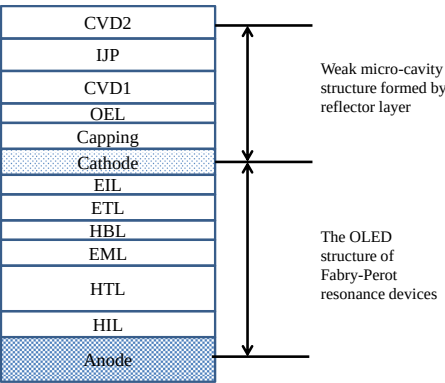


图 2 有机电致发光顶发射器件结构

Fig.2. The Structure of OLED top emitting devices

对于柔性封装顶发射 OLED 器件，除了上述阳极到阴极之间的强微腔效应，还有一个阴极到封装膜层之间的弱微腔效应，如图 2 所示。此弱微腔的两个反射界面一个主要源于阴极的反射，另一个主要源于 TFE 膜层间折射率差异引起的界面反射，后者反射情况可以参考布拉格结构模型，如图 3 所示。

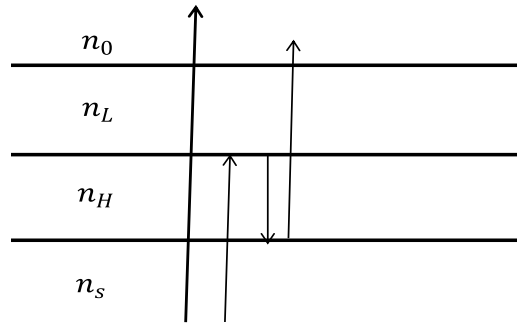


图 3 基本的布拉格结构

Fig.3. The basic of Bragg structure

布拉格结构反射率 $R^{[7]}$ ，见如下公式 2：

$$R = \left[\frac{n_0 - n_s \left(\frac{n_L}{n_H} \right)^2}{n_0 + n_s \left(\frac{n_L}{n_H} \right)^2} \right]^2 \quad (2)$$

由公式 2 可知， $\frac{n_L}{n_H}$ 比值越小，则反射率 R 越大，有可能会导致弱微腔效应有一定的增强。因此，阴极到 TFE 间的弱微腔效应要重点关注不同膜层的折射率及厚度情况。

2.2 仿真结构

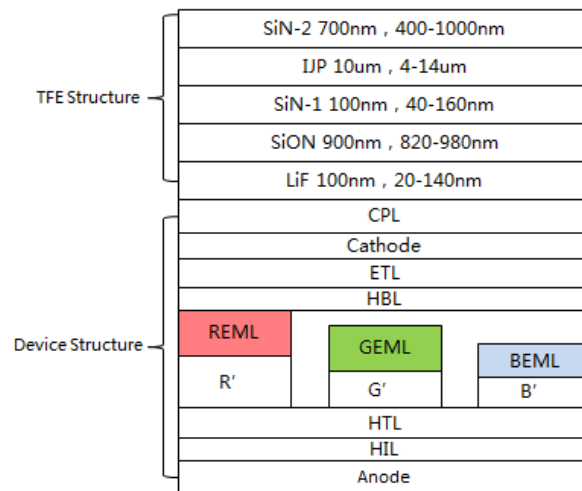


图 4 器件和薄膜封装堆叠结构

Fig.4 Device and TFE Structure

表 1 薄膜封装各层折射率

Table 1.Refractive index of TFE

Wavelength/nm	LiF	SiON	SiN-1	IJP	SiN-2
460nm	1.43	1.82	1.84	1.56	1.84
530nm	1.43	1.79	1.82	1.55	1.82
620nm	1.43	1.78	1.81	1.55	1.81

我们基于本公司器件体系，改变薄膜封装各层厚度和折射率，利用 Setfos 仿真软件模拟 TFE 各层对光学和功耗的影响。图 4 为我们模拟所使用的器件结构和柔性薄膜封装结构，模拟条件是在标准厚度附近设置梯度变化，如 LiF 标准厚度为 100nm，我们以 20nm 为间隔、从 20nm 模拟到 140nm，分析 LiF 厚度对性能影响。表 1 为薄膜封装各层实测折射率，我们将实测折射率谱图数据乘以特定系数如 0.8、0.9、1.1、1.2、1.3，得出不同大小的虚拟折射

率谱图，以此分析折射率变化对性能影响。

首先，模拟不同薄膜封装堆叠结构对红光、绿光、蓝光影响数据。其次，将红光、绿光、蓝光合成白光，分析对白光色偏和功耗的影响。在模拟过程中，微调光学调整层厚度，保持红光 CIE_x 0.684、绿光 CIE_x 0.245、蓝光 CIE_y 0.045 基本固定，白光以 (0.30,0.31) 作为合成目标色点。

2.3 仿真计算过程及结果

首先，我们针对 LiF 膜层进行系统的模拟，包括固定折射率改变膜厚及固定膜厚改变折射率，综合分析厚度及折射率对白光功耗和色偏的影响，结果如图 5 所示。由图 5(a)和图 5(b)可以看出，白光功耗和色偏随 LiF 厚度都有一个先降低后增加的过程，其中功耗最低 LiF 厚度为 100nm，色偏最小 LiF 厚度为 80nm。对于白光功耗，在 LiF 20nm-140nm 范围内，LiF 最大可影响 9.3%，具有显著影响效应。图 5(c)和图 5(d)是 LiF 折射率改变的影响，按照

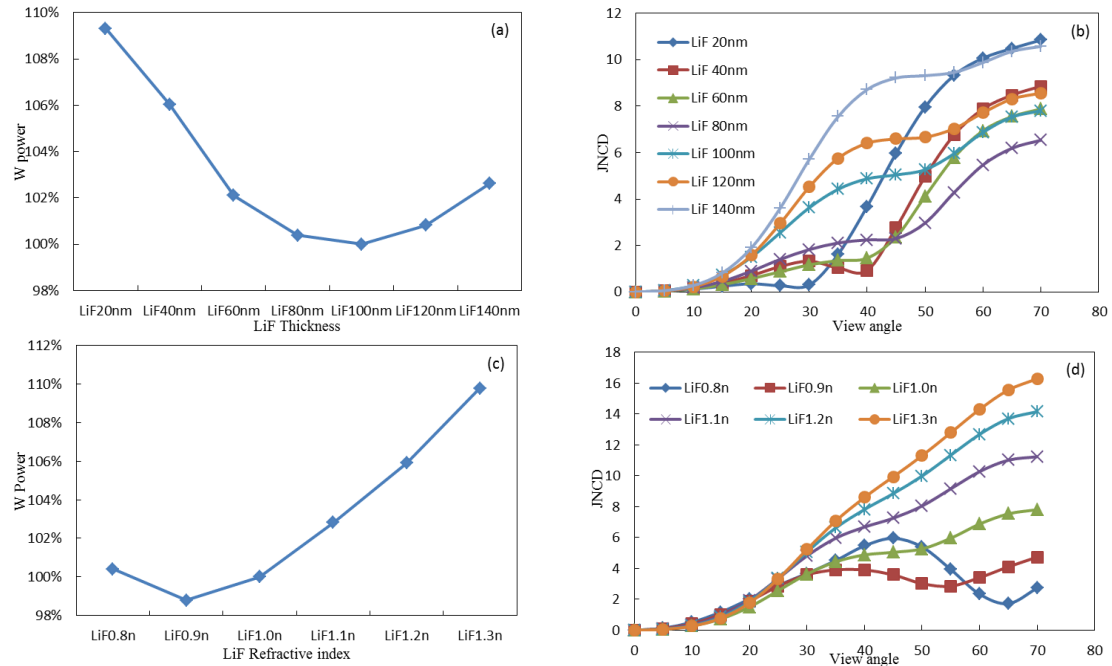
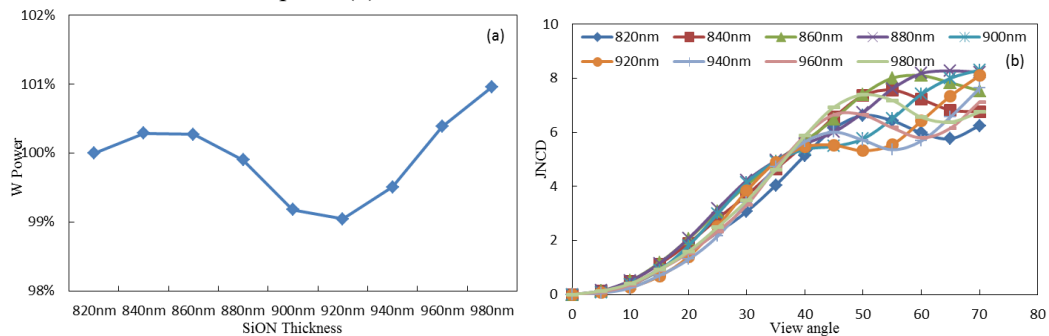


图 5 模拟 LiF 对白光性能影响 (a)厚度对功耗影响; (b)厚度对色偏影响; (c)折射率对功耗影响; (d)折射率对色偏影响

Fig.5. Simulation influence of LiF on white performance (a) Influence of thickness on power consumption;(b) Influence of thickness on color shift;(c) Influence of refractive index on power consumption;(d) Influence of refractive index on color shift.



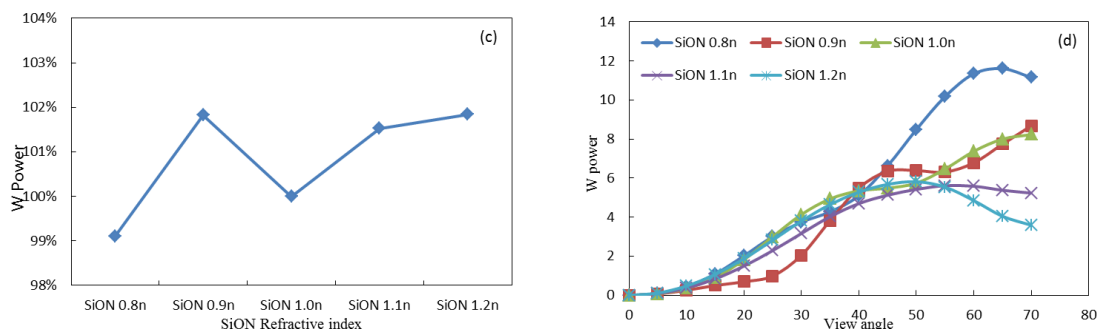


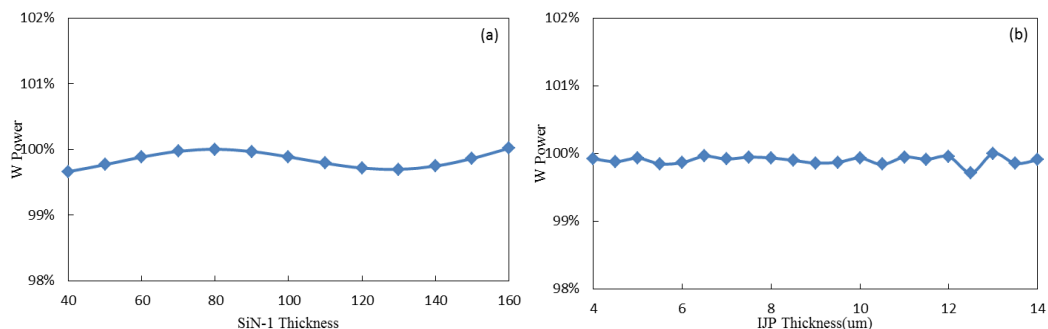
图 6 模拟 SiON 对白光性能影响 (a)厚度对功耗影响; (b)厚度对色偏影响; (c)折射率对功耗影响; (d)折射率对色偏影响

Fig.6. Simulation influence of SiON on white performance (a) Influence of thickness on power consumption;(b) Influence of thickness on color shift;(c) Influence of refractive index on power consumption;(d) Influence of refractive index on color shift.

之前设置的虚拟折射率进行模拟，图中 0.8n 表示对 LiF 折射率谱图乘以 0.8 得出的折射率（即 LiF 折射率为 $1.14@530\text{nm}$ ）。LiF 折射率对白光性能也是一种渐进式的影响，从 0.8 倍到 1.3 倍，功耗和色偏先降低后增加，折射率 0.9 倍（ $1.29@530\text{nm}$ ）时功耗和色偏最优，其中功耗最高和最低相差 11%，也具有显著影响效应。

其次，我们按照 LiF 模拟思路对 SiON 膜层进行了模拟，其厚度和折射率影响结果如图 6 所示。根据图 6(a)和图 6(b)，SiON 厚度从 820nm 到 980nm 区间内，白光功耗和色偏有一定的规律性变化，基本遵循先增大后减小再增大的趋势，由于光学的周期性，在其他厚度范围内，也必然遵循特定的周期性变化。白光功耗最大（980nm）和最小（920nm）相差约 2%，色偏在小视角（ $0\sim40^\circ$ ）差异较小，大视角（ $40\sim70^\circ$ ）有一定差异。图 6(c)和图 6(d)是 SiON 折射率影响模拟结果，在 0.8 倍折射率到 1.2 倍折射率变化区间内，功耗最大（ $1.2n/2.15@530\text{nm}$ ）和最小（ $0.8n/1.43@530\text{nm}$ ）差异约 2.7%，0.9~1.3n 色偏差异较小，0.8n 大视角色偏较大。综合 SiON 厚度和折射率来看，其对白光性能影响程度明显低于 LiF 影响。

最后，我们对 SiN-1、IJP、SiN-2 厚度影响进行了模拟，因为此三层远离金属阴极，并且由于较厚的 SiON 的存在，SiON 以上膜层通常认为几乎不参与弱微腔效应，不再进行折射率变化的相关模拟，其模拟结果如图 7 所示。SiN-1 膜层从 40-160nm 厚度范围内，白光功耗最大变化仅有 0.3%左右，如图 7(a)所示。IJP 厚度利用相干模式（coherent mode）进行模拟，在 4-14 μm 区间内，功耗最大变化仅 0.2%，如图 7(b)所示。SiN-2 膜层在 400-100nm 厚度范围内，白光功耗能显示出完整的周期性变化，最大变化范围约 1%，如图 7(c)所示，但是由于 SiN-2 膜层与外界环境接触，其影响基本来源于界面两侧介质折射率差异引起的反射效应，与弱微腔效应关系不大。



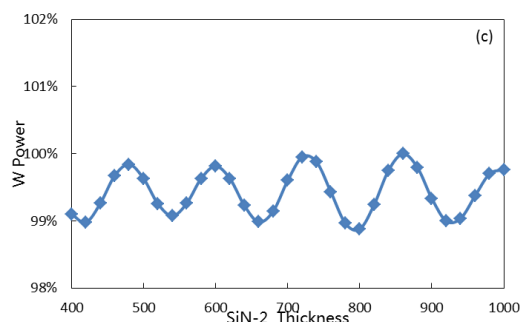


图 7 模拟 SiN-1 厚度、IJP 厚度、SiN-2 厚度对白光功耗影响 (a) SiN-1 厚度对功耗影响 (b) IJP 厚度 (相干模式) 对功耗影响 (c) SiN-2 厚度对功耗影响

Fig.7. Simulation influence of SiN-1/IJP/SiN-2 thickness on white performance (a) Influence of SiN-1 thickness on white power consumption (b) Influence of IJP thickness(coherent mode)on white power consumption (c) Influence of SiN-2 thickness on white power consumption

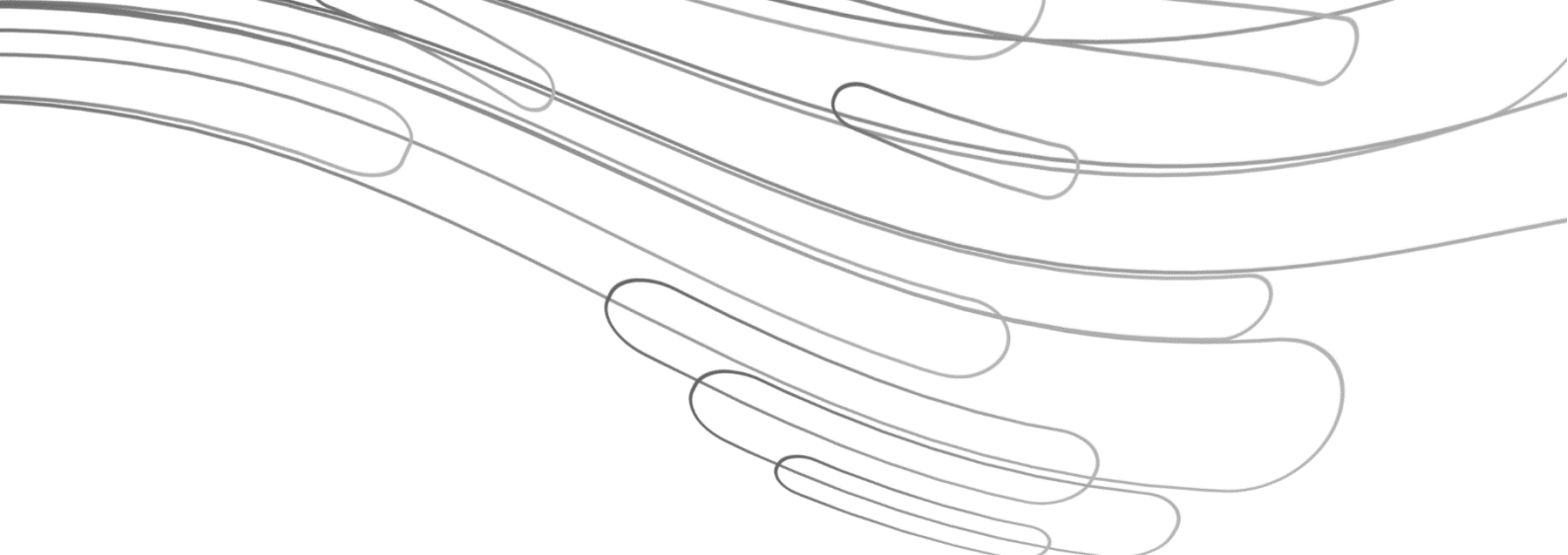
综合从 LiF 到 SiN-2 膜层的仿真结果, LiF 膜层的厚度和折射率对白光性能影响很大(约 11%),显著参与了弱微腔过程。而 SiON 厚度和折射率对白光性能有一定的影响(小于 3%),对弱微腔效应也有一定的贡献。更上方的 SiN-1、IJP、SiN-2 膜层厚度变化对白光性能影响均小于 1%,可视为几乎不参与弱微腔过程。需要说明的是,本文模拟所使用折射率为各层膜实测折射率乘以特定系数所得虚拟折射率,仅代表一种变化趋势,如 LiF 折射率降低至 1.29@530nm 时功耗比 1.43@530nm 更低,但实际无法制备折射率 1.29@530nm 的 LiF 膜层。

3 结论与展望

本文利用光学仿真软件模拟了 TFE 各层膜厚及折射率对白光功耗和色偏的影响,模拟结果表明 LiF 影响极大、SiON 有一定的影响,而 SiN-1/IJP/SiN-2 几乎不参与弱微腔过程,因此从光学性能优化角度而言,TFE 各层膜中只需要关注 LiF 及 SiON 即可。根据模拟结果,LiF 厚度 100nm 和折射率 1.29@530nm、SiON 厚度 920nm 和折射率 1.43@530nm 是较优的条件。但是结合实际工艺制备能力,LiF 厚度 100nm 和折射率 1.43@530nm、SiON 折射率 1.79@530nm 时是较为可行的封装堆叠组合。

参考文献:

- [1] 段炼, 张粲, 张国辉. 柔性 OLED 制备及性能[J]. 中国科技论文在线, 2010(04):37-40.
- [2] Kido J, Okamoto Y. Organo Lanthanide Metal Complexes for Electroluminescent Materials[J]. Chemical Reviews, 2002, 102(6): 2357-2368.
- [3] Kido J, Matsumoto T. Bright organic electroluminescent devices having a metal-doped electron-injecting layer[J]. Applied Physics Letters, 1998, 73(20): 2866-2868.
- [4] Xu Y H , Peng J B , Cao Y . Progress of White Organic Light-Emitting Diodes[J]. Progress in Chemistry, 2006, 60(4):389-398.
- [5] 梁宁, 李军建. OLED 封装技术进展(Progress of Encapsulation Technology for OLED)[J]. 激光与光电子学进展, 2011, 48(9).
- [6] 黄建军. OLED 封装技术介绍[J]. 记录媒体技术, 2010(05):50-53.
- [7] Bonifacio L D , Lotsch B V , Puzzo D P , et al. Stacking the Nanochemistry Deck: Structural and Compositional Diversity in One - Dimensional Photonic Crystals[J]. Advanced Materials, 2010, 21(16):1641-1646.



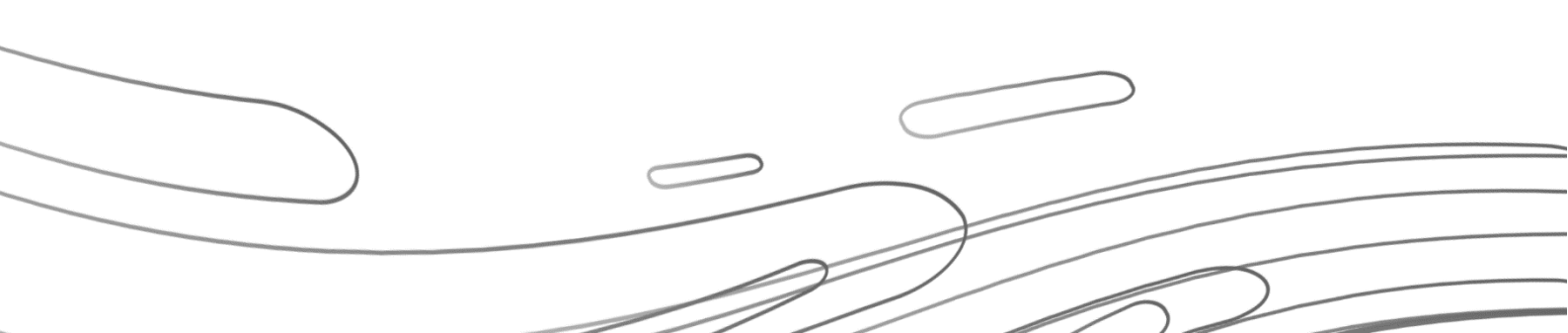
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第七章

电子纸显示



低功耗电润湿电子纸驱动系统设计

林珊玲^{1,3}, 郭冠峥^{2,3}, 熊铃铃^{2,3}, 林志贤^{*1,2,3}

(1. 福州大学 先进制造学院, 福建 晋江 362200

2. 福州大学 物理与信息工程学院, 福建 福州 350116

3. 中国福建光电信息科学与技术创新实验室, 福建 福州 350116
526176333@qq.com)

摘要: 电润湿电子纸是基于电流体快速响应的新型“类纸”显示技术, 具有实现“彩色”和“视频播放”两项其他电子纸无法实现的能力, 为显示市场提供全“绿色”显示技术, 具有巨大的市场前景。但电润湿显示面板存在油墨回流、电荷捕获等问题, 导致面板响应速度慢。因此本文提出基于直流平衡的精准调制驱动波形, 在保持电极间的电压差不变情况下, 翻转电极极性, 使一帧内正极性的总时间等于负极性的总时间, 从而保证像素的直流平衡。同时为进一步降低功耗, 提出根据相邻像素灰度调整驱动波形的电极翻转以及控制驱动电压模块的压摆率。实验结果表明, 本文提出的驱动波形有效改善了直流残留、电荷捕获问题, 像素响应时间下降了约 16.7%, 驱动电路功耗 165.25mW。

关键字: 电润湿电子纸, 驱动波形, 低功耗, 显示驱动系统

Design of low power consumption electrowetting display driving system

LIN Shanling^{1,3}, GUO Guanzheng^{2,3}, XIONG Lingling^{2,3}, LIN Zhixian^{*1,2,3}

(1. School of Advanced Manufacturing, Fuzhou University, Fujian Jinjiang 362200, CHN

2. College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fujian
Fuzhou 350116, CHN

3. Fujian Science & Technology Innovation Laboratory for Optoelectronic Information of
China, Fujian Fuzhou 350116, CHN
526176333@qq.com)

Abstract: Electrowetting display is a new kind of “paper” display technology based on rapid response of electrofluids. It can realize the full color and video playback which can’t be achieved by other electronic papers. Electrowetting has huge market prospects with “eco-friendly” display technology. However, the electrowetting display has problems such as oil backflow and charge trapping, which leads to slow response time. Therefore, this paper proposes a precise modulation driving waveform based on DC balance. The driving waveform inverts the polarity of the driving electrode and keeps the total time of the positive polarity equal to the negative polarity in one frame. Thereby ensuring the DC balance of the pixel. At the same time, in order to reduce power consumption, adjusting the electrode inversion according to the grayscale of adjacent pixels and control the slew rate of the drive voltage module are proposed. The experimental results show that the proposed driving waveform effectively improves the problems of DC residual and charge trapping. The pixel off time is reduced by about 16.7%, and the power consumption of the driving system is 165.25mW.

Keywords: electrowetting display, driving waveform, low power consumption, driving system

0 引言

不同显示器因其材料、器件、显示原理的不同, 其调制方式、驱动波形也不同。因而需根据器件的光电特性, 设计器件的驱动波形。电润湿电子纸是一种电压驱动式显示器, 仅施

加简单的驱动电压即可驱动电润湿电子纸。电润湿因其非线性光电特性和动力学失稳导致显示面板存在油墨回流、电荷捕获、油膜破裂不均等问题,进一步导致面板响应速度慢,显示图像灰度级数低等问题。因此本文探索适用于电润湿电子纸的驱动波形。根据电润湿光电特性、失稳影响显示特性,提出基于直流平衡的精准调制驱动波形。同时为降低功耗,提出根据相邻像素灰度调整驱动波形的电极翻转和控制驱动电压模块的压摆率的方法来降低功耗。

1 电润湿电子纸的驱动波形设计

目前没有专用的电润湿电子纸驱动芯片,因电泳电子纸驱动芯片的驱动电压可满足电润湿的驱动电压,因而选择电泳电子纸的驱动芯片。电润湿电子纸目前能正常显示的 source 电压最低为 $\pm 8\text{V}$, Gate 电压为 $\pm 20\text{V}$ 。本文以 $\pm 15\text{V}$ 为例,对所设计的电润湿电子纸驱动波形进行阐述。

如图 1(a)所示为传统的实现 16 灰阶的驱动波形,图中驱动波形实现了 16 灰阶中的第 11 灰阶,其中 V_{bottom} 为驱动电极, V_{common} 为公共电极。在驱动显示的过程中,像素电极的电压从 0 上升到 15V 比 0 上升到 30V 之间的响应时间少 6us,对一幅图像的显示时间可相差更多,因此将公共电极设置为+15V,可进一步提高视频的帧刷新率^[1]。并且在第 4 子帧中驱动电极设置为+15V,使得电压差为 0,从而避免电润湿电子纸像素连续 4 子帧的开启,进一步减少电润湿电子纸的电荷俘获和油墨回流现象^[1]。第 8 子帧为复位帧,复位帧^[2]采用了电压为 15V 且脉宽动态可变的子帧。电润湿面板的驱动显示过程中,容易出现电荷捕获现象,会导致显示效果变差,复位帧中像素电极采用和公共电极相同的 15V 电压,极板间无电势差,水中的电荷不会聚集在基板边缘,而是回到原来的初始状态,这样每一帧的图像显示都能从初始状态开始,但由于复位帧前的显示帧的驱动电压不固定,因此可采用脉宽可变的复位帧能节省驱动时间,提高帧率。

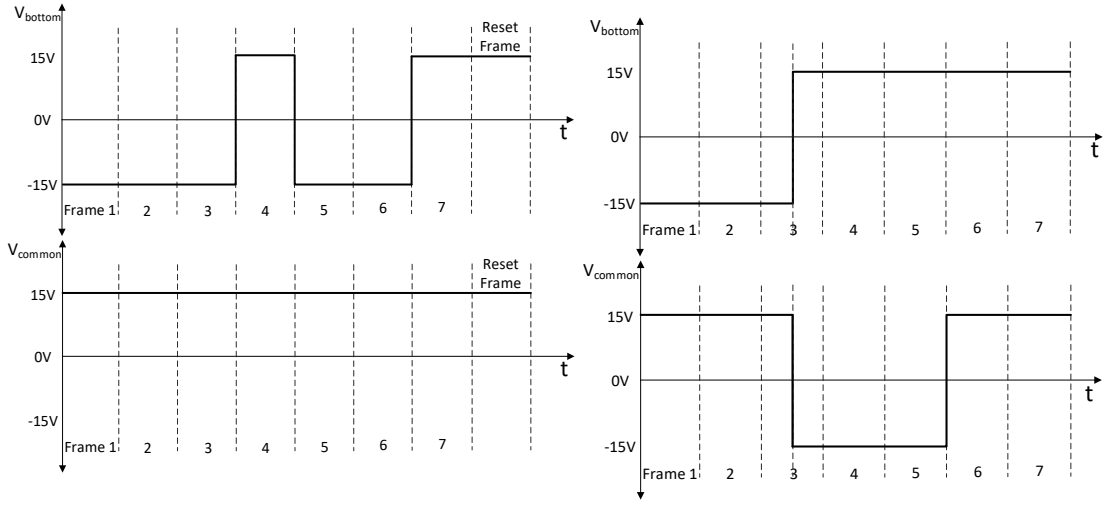
传统电润湿电子纸的驱动波形,考虑到了油膜破裂、油墨回流和电荷捕获问题。但预脉冲和复位脉冲,占用了显示时间,从而使电润湿的响应时间延长,其播放视频的帧率也相应减小。且因公共电极一般设置在+15V 或-15V,没有翻转,像素上的电压仅有一种极性。电润湿电子纸是基于两相流体在电场作用下伸缩而实现开启或关闭,而两种流体在电场作用下,会出现“电离”等作用,造成电荷在界面处或在电介质层上的累积。从而造成电润湿电子纸上电荷捕获现象,使电润湿电子纸出现极化现象,残留的电荷形成内建电场,长期对器件结构造成损坏^[3]。

鉴于此,本文提出基于直流平衡的子帧驱动波形,利用该驱动波形可实现电润湿电子纸的精准调制,减少极性单一的情况,提高电润湿电子纸的使用寿命。

为保持电润湿电子纸像素的直流平衡,本文提出基于直流平衡的子帧驱动波形,该驱动波形在子帧的驱动方式下,对每一子帧或某一子帧进行分割,得到子子帧,在每一子子帧内,根据图像数据或图像灰度,除了调整驱动电极极性翻转,同时调整公共电极的极性翻转。在保持电极上下的电压差不变即灰阶一致情况下,使一帧内正极性的总时间等于负极性的总时间,从而保证像素的直流平衡。如图 1(b)所示为实现直流平衡的 16 灰阶中第 11 灰阶波形图。

由于传统驱动波形在实现第 11 灰阶时,在像素上施加的是单数帧 30V 的电压,因而本文提出的直流平衡驱动波形,是从长子帧中任选其中一个子帧,将其平均拆分成两个短子帧,如图 1(b)所示,将第 3 长子帧平均拆分成两个短子帧,在第 2 个短子帧开始时,公共电极和驱动电极同时翻转一次,此时施加在像素上的累积电压与传统驱动波形一致,保证了电润湿电子纸的显示灰度不变。同时,保持了直流平衡,有效释放静电,像素的极化问题得到进一步降低,保障电润湿电子纸的寿命。直流平衡减少了像素中电荷量,从而减少了电荷捕获的可能性;同时极性翻转的交流电压抑制了油墨回流问题,因而本文提出的驱动波形不需要额

外的复位帧。



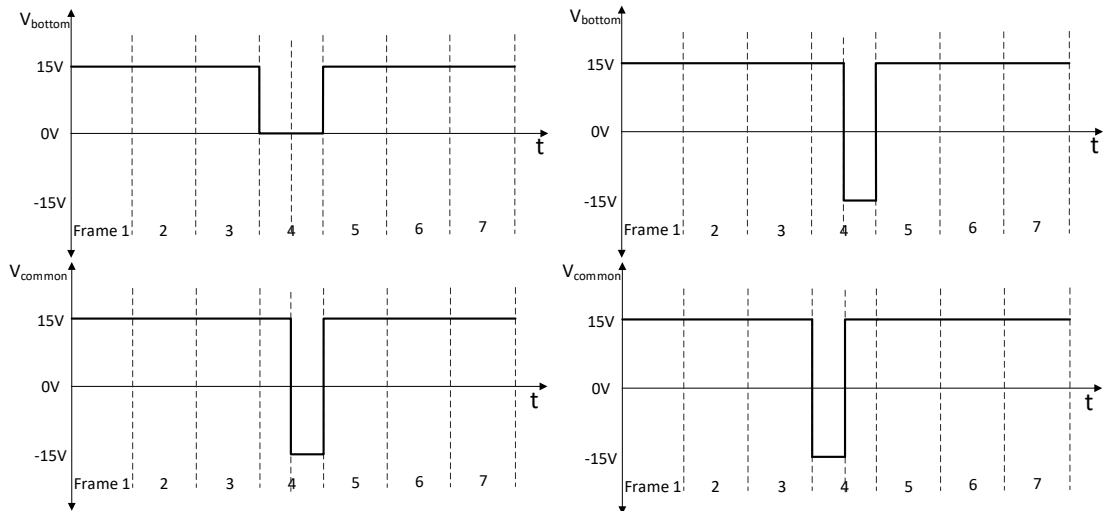
(a) 传统的电润湿电子纸驱动波形

(b) 基于直流平衡的电润湿电子纸驱动波形

图 1 电润湿电子纸驱动波形

2 低功耗驱动设计

基于功耗考虑,对于峰值功率 $P \propto C \times f \times (\Delta V)^2 \times V_{source}$,其中 C 为电容量, f 为频率, ΔV 为电压翻转, V_{source} 为电源电压,因此应尽可能减少相邻像素之间在同一子帧或多子帧内电压的翻转或跨距^[4-6]。且因本文提出的驱动波形,公共电极也参与翻转,因此可控制电压翻转的电极包括驱动电极和公共电极。假设两相邻像素的灰度分别为第 2 灰阶和第 3 灰阶,如图 2 所示,为保持直流平衡在第 4 子帧进行子帧划分,然后进行公共电极的翻转。对两相邻像素进行驱动时,在驱动电极上,两个子子帧电压跨距 2 次 15V;在公共电极上,两个子子帧电压翻转 2 次 30V。为减少翻转次数,对第 3 灰阶的驱动波形进行调整,调整为如图 3 所示。则在驱动电极上,两个子子帧电压跨距还是 2 次 15V;在公共电极上两相邻像素保持一致,无额外的翻转,功耗减少到原来功耗的五分之一,大大降低了功耗。



(a) 第 2 灰阶

(b) 第 3 灰阶

图 2 两相邻像素的灰度的驱动波形

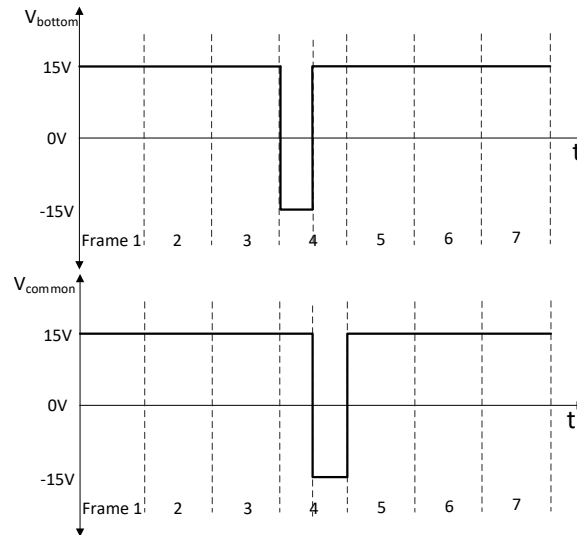
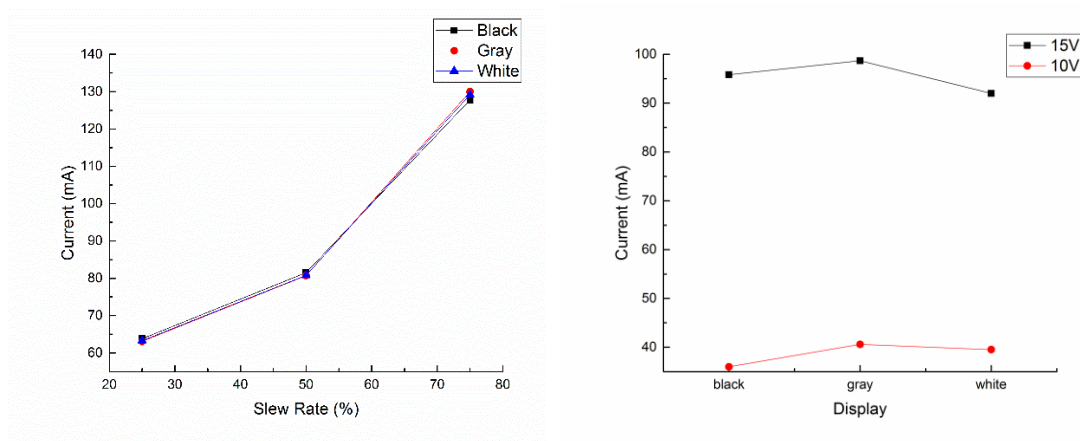


图 3 调整后的第 3 灰阶驱动波形

为进一步降低功耗，对驱动 IC 电压模块的压摆率进行调整并测试，测试结果如图 4 所示。图 4(a)为 Source 电压为 $\pm 15\text{V}$ ，Gate 电压为 $\pm 18\text{V}$ ，在不同压摆率下显示黑、灰、白三种灰阶的输入电流。可看到，在相同压摆率下，不同灰阶的电流基本一致，而压摆率越低的情况下，输入电流越低。图 4(b)为 Source 电压分别为 $\pm 15\text{V}$ 、 $\pm 10\text{V}$ 情况下的输入电流，由图可知，电压的降低可进一步降低输入电流。其中各百分比对应的压摆率如下表所示。

表 1 各百分比对应的压摆率

百分比	压摆率 (us)
25%	<50
50%	10
75%	3.6
100%	2.6



(a) 不同压摆率下显示三种灰阶的输入电流 (b) 不同 Source 电压情况下的输入电流

图 4 驱动 IC 电压模块的压摆率

3 实验结果与分析

为测试本文提出的电润湿电子纸的子帧式直流平衡驱动波形，对驱动波形驱动下的电润

湿电子纸的亮度-时间关系进行测试。

图 5 为电润湿电子纸在两种驱动波形下的响应时间，图 5 中虚线为传统无复位帧的电润湿电子纸驱动波形，像素关闭时间约为 12ms。实线为本文提出的直流平衡驱动波形，像素关闭时间约为 10ms，相对传统驱动波形关闭时间节省了约 16.7%，成功抑制了电荷捕获现象。

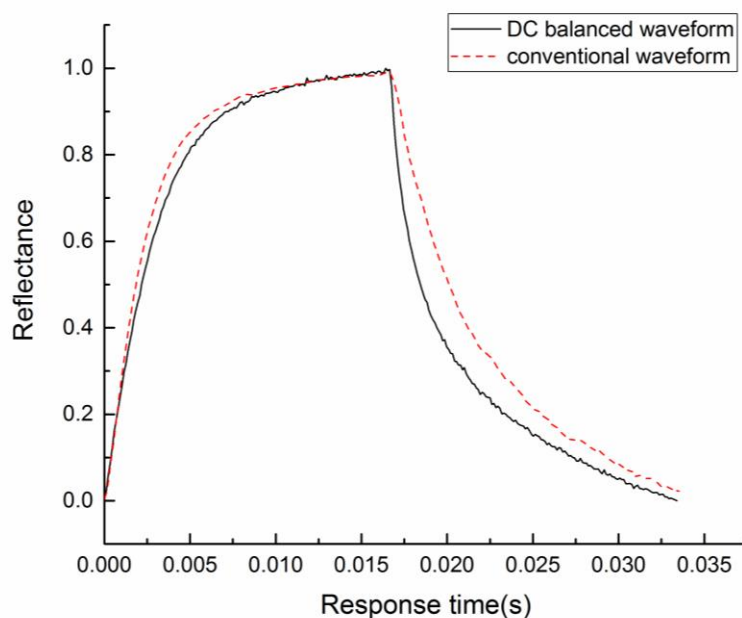


图 5 两种驱动波形的响应时间

根据测试标准，IEC 61747-6-2 液晶显示器-第 6.2 部分-反射型显示模组测量方法^[7]和 IEC 62679-3-2 电子纸显示-测量方法-电光性能^[8]，对驱动系统进行功耗测试，系统电源电压为 5.116V，系统电流为 32.3mA，如图 6 所示。根据功耗公式(1)，系统驱动电路功耗为 165.25 mW。

$$P = VI$$

公式 (1)

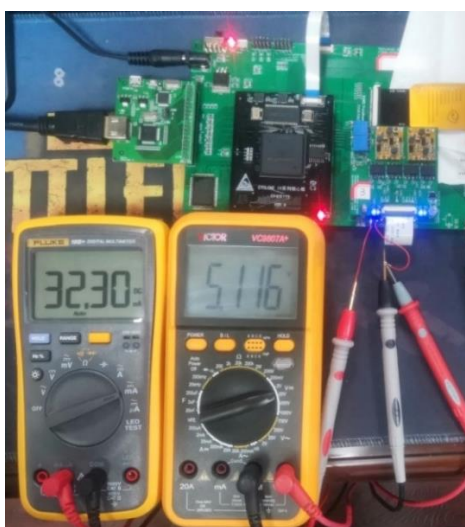


图 6 系统测试电流及电压

4 结论

本文提出的驱动波形有效改善了直流残留、电荷捕获等问题，像素响应时间下降了约16.7%，像素的最高灰度达到16阶。基于峰值功率的根据相邻像素灰度调整电压极性翻转顺序和驱动电压压摆率控制的方法进一步降低了功耗，系统驱动电路最终功耗为165.25 mW。

致谢

本课题由国家重点研发计划课题(No.2016YFB0401503)；广东省科技重大专项(No.2016B090906001)；福建省科技重大专项(No.2014HZ0003-1)；广东省光信息材料与技术重点实验室开放基金资助项目(No.2017B030301007)资助。

参考文献：

- [1] Z. J. Luo, W. N. Zhang, L. W. Liu, et al. Portable multi-gray scale video playing scheme for high-performance electrowetting displays[J]. Journal of the Society for Information Display, 2016, 24(6): 345-354.
- [2] 约·奥贝特, 亨利克斯·彼得罗妮拉·玛丽亚·德克斯. 电润湿显示驱动系统: CN102947873A[P]. 2013-02-27.
- [3] 林志贤, 林珊玲, 郭太良, 等. 一种保持电润湿电子纸直流平衡的驱动方法: CN109545154A[P]. 2019-03-29.
- [4] G·周, A·V·亨岑, J·范德卡默, 等. 用于具有精确灰度和最小化平均功耗的电泳显示器的驱动方法: CN1849640A[P]. 2006-10-18.
- [5] G·周, A·V·亨岑, J·范德卡默, 等. 具有高帧频及低峰值功耗的电泳显示器的驱动方法: CN1849639A[P]. 2006-10-18.
- [6] G·周, J·V·D·卡默, N·艾尔内. 用于具有高帧速率和低峰值功率消耗的电泳显示器的驱动方法: CN1842836A[P]. 2006-10-04.
- [7] Part 6-2: Measuring methods for liquid crystal display modules-reflective type, Liquid crystal display devices, DIN EN 61747-6-2[S], IEC, German, 2013-05-31.
- [8] Part 3-2: Measuring methods-electro-optical, Electronic paper display, DIN EN 62679-3-2[S], IEC, German, 2012-03-01.

PVII-2

高对比度全反射液晶显示及其应用

刘浩, 张瑞辰, 王凯旋, 陈延青, 张昭, 刘燕妮, 郑琪, 薛海林, 占红明, 陈希
(北京京东方显示技术有限公司, 北京, 100176, l_h@boe.com.cn)

摘要: 全反射显示装置在强光下可读性高, 同时具备对人眼蓝光伤害较低的特点, 近年来在户外、教育产品市场获得广泛关注。本文介绍一种基于 TN 模式的高对比度全反射液晶显示装置, 通过对全反射 LCD 显示光路的分析, 优化调整二分之一、四分之一波片的材质、光轴取向; 同时, 在偏光片中集成高雾度散射层或散射膜, 相比于传统 Bump 结构, 对比度显著提升。这种设计已应用于 32inch、10.5inch 全彩全反射产品中, 表现出良好的显示效果。

关键字: 全反射 LCD, 波片材质及光轴取向, 散射结构, 对比度提升

High Contrast Ratio Reflective LCD and its Application

LIU Hao, ZHANG RuiChen, WANG KaiXuan, CHEN Yanqing, ZHANG Zhao, LIU Yanni,
ZHENG Qi, XUE Hailin, ZHAN Hongming, CHEN Xi

(Beijing BOE Display Technology Co., LTD, Beijing, 100176, CHN, l_h@boe.com.cn)

Abstract: RLCD has high availability under strong light and low blue light damage to human eyes. In recent years, it has gained widespread attention in the outdoor and educational product markets. This article introduces high contrast reflective liquid crystal display design scheme. Based on the TN mode, we analyzed the reflective LCD optical model. Material nd optical axis angle of the quarter and half wave plate are optimized, which greatly improves the contrast of the reflective liquid crystal display device. At the same time, scattering particles or diffuser films are integrated into the polarizer, and the contrast of reflective LCD is significantly improved compared to applying bumps. This design has been applied to 32inch, 10.5inch full-color reflective LCD prototypes, showing good display effects.

Keywords: Reflective LCD, type and optical axis angle of wave plate, diffusion structure, contrast enhancement

1. 引言

全反射 LCD (以下简称 RLCD) 完全利用自然光或环境光作为光源进行显示, 强光下仍然具有很高的可读性, 在户外产品市场已有广泛的应用。近年来, 随着人们健康保护意识的增强, 对蓝光引起的用眼疲劳等问题日益关注。透射式液晶显示的蓝光伤害主要来自背光源, 而 RLCD 利用自然光作为光源的特点使其在抗蓝光伤害方面具有天然的优势^[1-3], 目前在青少年教育市场成为热点之一, 为教育平板、课堂教具等教育产品提供了理想的显示方案。然而, 现有的 RLCD 存在对比度过低、颜色表现力差等问题, 显示效果差强人意。

本文通过对光学结构的解析, 提出 RLCD 对比度提升的方案: 通过优选波片材质, 并调整二分之一波片和四分之一波片的光轴取向, 减少出射光在偏光片透过轴方向上的分量, 减少黑态下漏光, 从而实现对比度的大幅提升; 同时, 在偏光片中集成高雾度层或散射膜来代替液晶盒内 Bump 散射结构, 从而消除了加电状态下 Bump 结构附近液晶异常偏转带来的相位延迟, 光的偏振状态不受这部分相位延迟的干扰, 出射光被偏光片吸收, 对比度提升。

2. 高对比度 RLCD 设计方法

2.1 RLCD 光路原理

本文中 RLCD 为相位延迟型全反射液晶显示装置^[4], 与透射式显示装置相比, 增加相位差板、反射层等光学结构。其原理为通过液晶偏转控制偏振光的相位延迟量, 经液晶、波片调制后出射的偏振光平行或垂直于偏光片的透过轴, 实现白态和黑态显

示。自然光经过偏光片的 PVA 层变为线偏振光，线偏振光在 $\lambda/2$ （二分之一波片，下同）和 $\lambda/4$ （四分之一波片，下同）的相位延迟作用下变为圆偏光。不加电状态下，TN 液晶扭转排列，液晶起 $\lambda/4$ 作用，将经过 $\lambda/4$ 圆偏光重新转换为线偏光。偏振光在反射层产生半波损失，此时出射的偏振光经过 $\lambda/4$ 、 $\lambda/2$ 后变为线偏振光，偏振方向与偏光片透过轴相同，RLCD 表现为白态。加电状态下，TN 液晶不产生相位延迟，液晶对偏振光不产生调制作用，反射后的线偏光偏振方向与偏光片透过轴取向正交，偏振光大部分被吸收，呈现黑态。

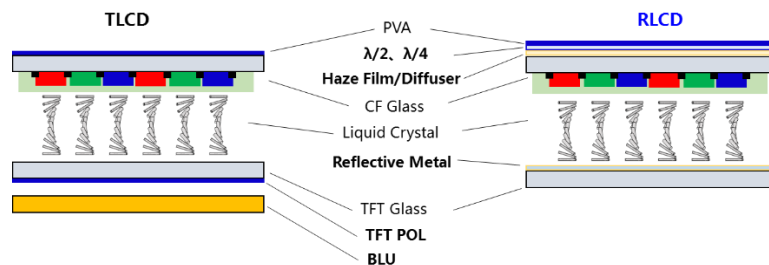


图 1

RLCD 通过添加 $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ ，连同液晶一起来完成对偏振光的转换和调制。实际情况下，不同材质波片对 380nm~780nm 波长范围内单色偏振光的相位延迟能力不同，某些波段内经过 $\lambda/4$ 后的偏振光可能为椭圆偏光，此时再经过液晶、波片调制后的出射偏振光不能完全被二相色性的偏光片吸收，导致黑态漏光发生，RLCD 对比度降低，影响视觉观感。因此，要改善黑态漏光问题，需要根据色散特性对 $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ 材质进行优选， $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ 慢轴间的夹角，保证波片、液晶对偏振光的调制达到最佳状态。

2.2 波片光轴取向设计及材质选择

如前所述，改善 RLCD 对比度的主要措施是减少黑态漏光。加电状态下，液晶分子竖起，光轴方向和光传播方向平行，几乎不起相位延迟作用。黑态下出射光的偏振状态与波片组合对偏振光的调制紧密相关。

如图 2 所示的反射式液晶显示光路示意图，我们设定偏光片中 PVA 层透过轴取向为 α 、 $\lambda/2$ 慢轴取向 β 、 $\lambda/4$ 慢轴取向 γ 。那么根据波片对线偏振光的作用原理^[5]， $\lambda/2$ 出射线偏光取向应为 $2\beta - \alpha$ ，设定此时线偏光与 $\lambda/4$ 慢轴夹角为 θ ，出射椭圆偏光长轴与 $\lambda/4$ 慢轴平行。偏振光经过反射产生半波损失，反射光的自旋方向相反。反射光线经过 $\lambda/4$ 后重新变为线偏光，取向为 $(2\beta - \alpha) + 2\theta = 2\gamma - 2\beta + \alpha$ ，再经过 $\lambda/2$ 调制后取向变为 $4\beta - \alpha - 2\gamma$ 。这样，出射线偏光的取向已经明确，为使线偏光完全被偏光片的 PVA 层吸收，出射线偏光取向应与 PVA 透过轴正交，即 $(4\beta - \alpha - 2\gamma) - \alpha = 90^\circ$ ，由此推出 $(2\beta - \alpha) - \gamma = 45^\circ$ 。这说明只有在入射阶段，只有当 $\lambda/2$ 出射光与 $\lambda/4$ 慢轴取向呈 45° ，即经过 $\lambda/4$ 后出射光为圆偏光时，反射后出射的线偏光才能与 PVA 透过轴正交，此时偏振光完全被 PVA 吸收，L0 亮度最低，对比度提升。因此，为使 $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ 对偏振光的调制作用达到最佳效果，设计重点在于调整波片材质以及 PVA 透过轴、 $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ 相互之间的夹角。

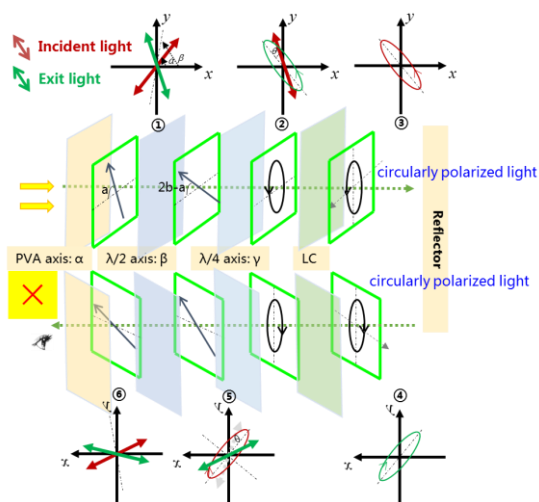


图 2

除角度设计调整以外， $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ 的材质同样影响偏振光的调制效果。目前常用的波片材质为聚碳酸酯（英文简称 PC）和环烯烃聚合物（英文简称 COP）材料，其色散特性如图 3 所示。

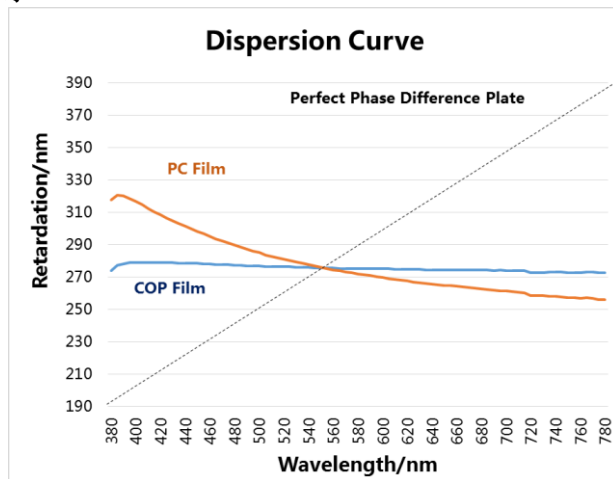


图 3

对于 $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ 来说，理想的相位延迟状态是对应每种单色光的相位延迟量均是波长的二分之一或四分之一，在 380nm–780nm 波长范围内，相位延迟量线性增加。然而，PC 和 COP 两种材料均无法接近这一理想状态。针对 $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ ，需要尝试各种材质组合，验证 RLCD 对比度的波动情况。团队针对两种材质、不同相位延迟量的 $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ 进行组合，优化设计方案，实际效果如图 4 示。

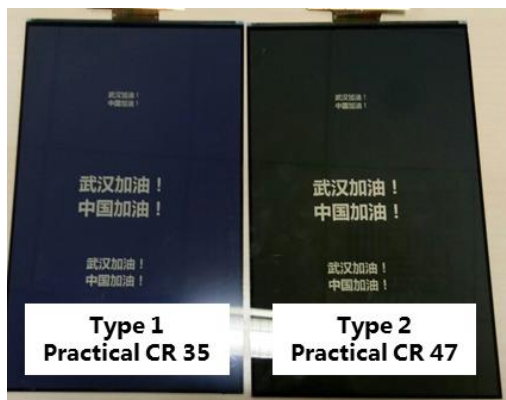


图 4

各种波片组合中选择 2 种方案进行制作：方案 1 为低成本方案，对比度 35:1；方案 2 为高对比度方案，可达 48:1，成本相对较高。以上 2 种方案均在固定波片组合的基础上，通过角度调整将对比度优化至最佳水平。未来根据产品的不同需求，可在 2 种波片组合方案中选择一种进行光学结构的搭建。

2.3 散射结构

对于 RLCD，由于使用的是镜面反射结构，因而光强主要集中于入射光的法线对侧方向上，可视范围相对较小，需增加散射结构增大 RLCD 的视角范围。目前广泛使用的散射结构主要包含三种：高雾度层、散射膜以及 Bump，结构对比如图 5 所示。前两种结构散射结构应用于液晶盒以外，可集成在偏光片当中；Bump 制备于液晶盒内、TFT 基板上。

散射结构对 RLCD 对比度同样有着一定的影响。Bump 凹凸结构存在一定的深度和倾角，TN 液晶分子在加电状态下依然沿着 Bump 的坡度结构取向，造成液晶光轴与入射光成一定角度，起相位延迟作用，导致液晶盒内偏振状态被破坏，最终出射偏振光在偏光片透过轴方向上仍存在分量，对比度降低。在偏光片中集成高雾度的散射层或散射膜，并不会对原有的反射式光路产生影响，最大程度的保持光路中光的偏振状态，而是使黑态漏光减轻；并由于对光路影响较小的特点，在 RLCD 光学结构设计阶段，可暂不考虑散射层对对比度带来的影响，简化了设计流程。从实际产品效果来看，偏光片中集成高雾度层或散射膜，对比度均有一定程度的提升。

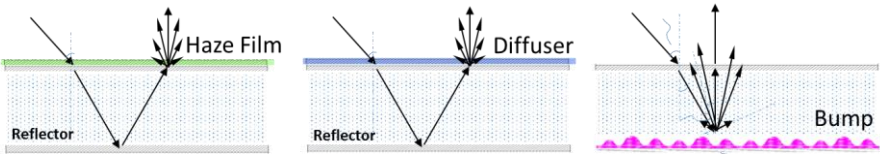


图 5

3. 高对比度 RLCD 应用

通过对 RLCD 光学结构的优化，得到高对比度显示方案，大大提升了 RLCD 的显示画质。我司 32inchRLCD 全彩智能水牌产品具有 48:1 高对比度，NTSC 15%色域，目前已经投放市场使用，在户外场景下显现出良好的显示效果。另外，10.5inch RLCD 全彩平板电脑样品也已经展出，对比度 35:1，色域达到 NTSC 10%，未来在教育产品市场上将有突出表现。



10.5" RLCD

Resolution: 800 x 1280
 Reflectivity: 50%
 Contrast Ratio: 35
 Color Gamut: 10%



32" RLCD

Resolution: 1920 x 1080
 Reflectivity: 10%
 Contrast Ratio: 48
 Color Gamut: 15%

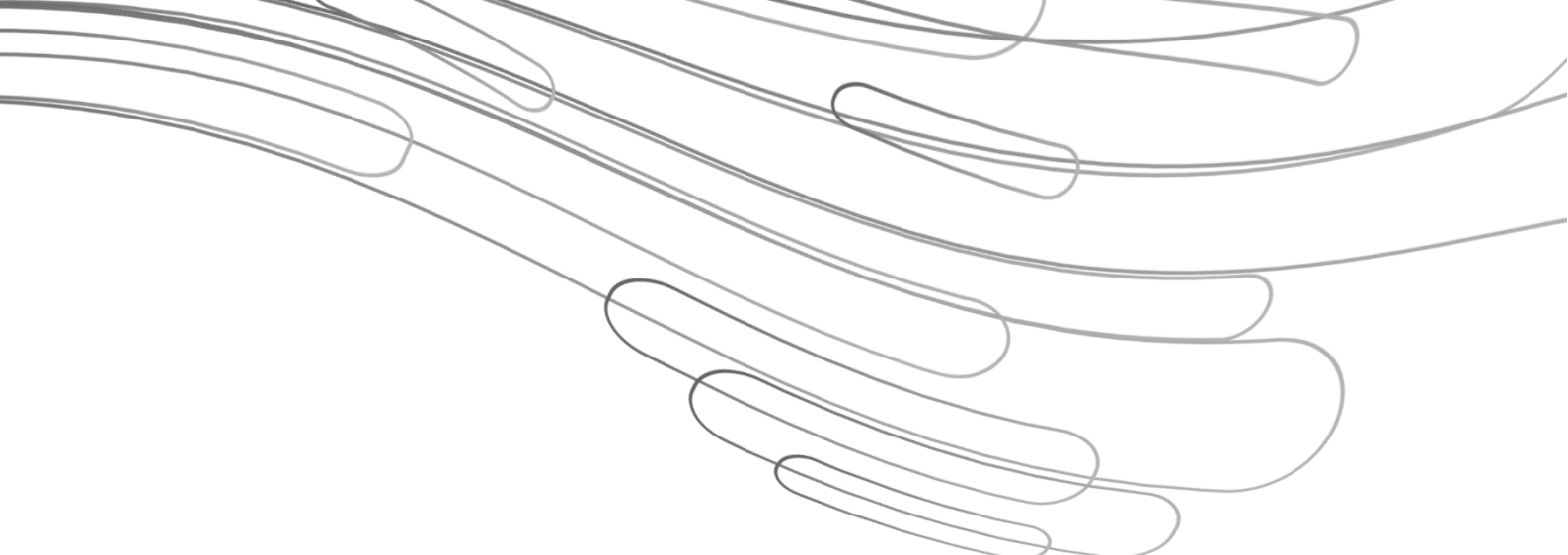
图 6

4. 结论与展望

本文中方案通过对不同波片材质组合的筛选,同时优化波片光轴相对取向,获得了三种对比度规格、成本的不同梯度的设计方案。全彩显示装置对比度的提升使低灰阶画面细节表现力、全彩显示色阶表现力进一步增强。搭载高对比度规格 RLCD 面板的显示产品将逐步推向户外智能显示、教育教学市场,未来会为消费者带来更加丰富的视觉体验。

参考文献:

- [1] Nathanson A I , Fries P T . Television Exposure, Sleep Time, and Neuropsychological Function Among Preschoolers[J]. Media Psychology, 2014, 17(3):237-261.
- [2] Berson, D. M . Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock[J]. ence, 2002, 295(5557):1070-1073.
- [3] 宋丽妍,李俊凯,牟同升. 以发光二极管为背光源的平板显示对人体非视觉的影响[J]. 光子学报, 2013, 42(007):768-771.
- [4] 卜倩倩,王丹,邱云,等. 反射显示技术的研究进展[J].液晶与显示,2019,34(002):169-176.
- [5] 梁铨廷. 偏振器件的琼斯矩阵[J]. 光学仪器(4).



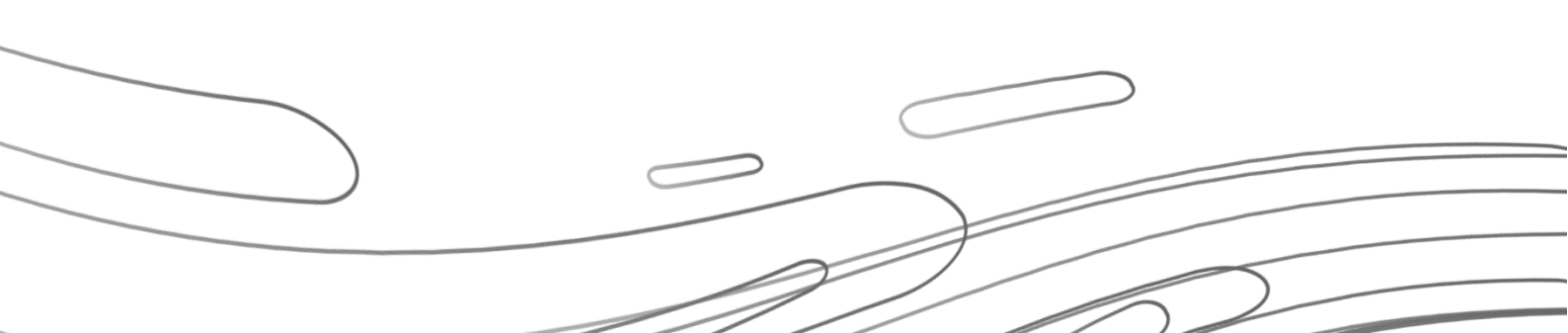
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第八章

其他显示技术



PVIII-1

倒装准二维蓝光二极管研究

张斌斌, 王娟红, 麦超晃, 王坚

(华南理工大学, 广州, 510640, msbinbinzhang@foxmail.com)

摘要: 近年来, 钙钛矿材料由于其高载流子迁移率、可溶液加工、高量子产率、色纯度高、发光峰可调等特性在发光二极管领域具有极大应用潜力。我们曾报道实现了纯甲脒体系的全溶液加工钙钛矿发光二极管。为进一步扩展其应用, 本文采用了基于准二维铅卤钙钛矿体系的倒装结构。通过调整准二维层状结构和钝化缺陷, 实现了从深蓝到亮绿的发光颜色可调的量子尺寸限域效应。最终, 发光峰 496 nm、外量子效率 0.036% 的蓝光层状钙钛矿发光二极管, 是迄今为止报道最高效的倒装蓝光准二维钙钛矿发光二极管。

关键字: 钙钛矿, 准二维, 发光二极管

Inverted blue quasi-2D perovskite light-emitting diodes

Binbin Zhang, Juanhong Wang, Chaohuang Mai, Jian Wang

(South China University of Technology, Guangzhou, 510640,
CHN, msbinbinzhang@foxmail.com)

Abstract: Based on the advantages of high carrier mobility, solution-processable, high photoluminescent efficiency, narrow spectrum, and color tuning, metal halide perovskite have recently shown unprecedented radical progress in the field of light-emitting diodes.^{1,2} Our group has successfully realized all-solution-processed pure formamidinium-based perovskite light-emitting diodes with record performance.³ To explore the application of perovskite in blue-emitting devices, in this work, a inverted structure based on a novel quasi-2D lead halide perovskite material has been employed. By synthetically manipulating the quasi-2D layered structure and passivating defects, different quantum size confinement effects can be realized to enable a precise color tuning of emissions ranging from deep blue to bright green. Notably, blue layered perovskite light-emitting diodes with 496nm electroluminescent peak exhibit the maximum external quantum efficiency of 0.036%, representing the most efficient inverted blue perovskite light-emitting diode to date.

Keywords: perovskite, quasi-2D, light-emitting diodes

参考文献:

- [1] Li, W.; Wang, Z.; Deschler, F.; Gao, S.; Friend, R. H.; Cheetham, A. K., Chemically diverse and multifunctional hybrid organic–inorganic perovskites. *Nature Reviews Materials*, **2**, 2017.
- [2] Veldhuis, S. A.; Boix, P. P.; Yantara, N.; Li, M.; Sum, T. C.; Mathews, N.; Mhaisalkar, S. G., Perovskite Materials for Light-Emitting Diodes and Lasers. *Adv. Mater.* **28**, 2016.
- [3] Wang, J.; Song, C.; He, Z.; Mai, C.; Xie, G.; Mu, L.; Cun, Y.; Li, J.; Wang, J.; Peng, J.; Cao, Y., All-Solution-Processed Pure Formamidinium-Based Perovskite Light-Emitting Diodes. *Adv. Mater.* **30**, 2018.

PVIII-2

In Situ Inkjet Printing Strategy for Fabricating Quasi-two-dimensional Perovskite Blue Light-Emitting Diodes

王俊杰

(华南理工大学, 广州, 510641, 1182679448@qq.com)

摘要: 金属卤化物钙钛矿(MHP) 由于其低成本、高效率、可溶液加工等优点被认为是一种潜力巨大的显示材料。喷墨印刷是一种实现全彩色 RGB 钙钛矿 LED 显示的可行方法。然而, 很少有人研究喷墨打印钙钛矿的结晶过程。本工作首先, 通过对比三种干燥方式, 我们发现真空干燥不仅可以调整钙钛矿晶体的维度, 还可以提高荧光量子产率(PLQY), 从而实现钙钛矿的蓝色发射和提高器件性能。其次, 通过组份工程去降低缺陷密度和缓解咖啡环效应, 我们成功地制备了 PLQY 高且均匀的准二维蓝光钙钛矿膜。最终得到 CE_{max} 为 1.71 cd A^{-1} , EQE_{max} 为 1.50%, 亮度为 233 cd m^{-2} , EL 峰为 482 nm 的 120 PPI 蓝光钙钛矿发光二极管。

关键字: 钙钛矿, 真空干燥, 缺陷密度, 显示

In Situ Inkjet Printing Strategy for Fabricating Quasi-two-dimensional Perovskite Blue Light-Emitting Diodes

WANG Junjie

(South China University of Technology, Guangzhou, 510641, CHN, 1182679448@qq.com)

Abstract: Metal halide perovskites (MHP) are promising materials for low-cost, high-efficiency, solution processability. Inkjet printing has been considered an available way to achieve full-color RGB Perovskites LED display. However, Few people have studied perovskite crystallization in the ink-jet printing process. In this contribution, firstly, through comparing the three drying methods, we find that vacuum drying is not only can adjust the dimension of the perovskite films, but also enhance photoluminescence quantum yield (PLQY) and hence perovskite blue emission can be achieved and boosts device performance. Secondly, through composition engineering, taking advantages of reducing defects density and relieving the coffee ring effect, we successfully prepare quasi-two-dimensional blue emission perovskite films with high PLQY and uniform. As a result, the device exhibits one of the best 120 PPI blue perovskite light-emitting diode performances with a CE_{max} of 1.71 cd A^{-1} , an EQE_{max} of 1.50%, and a luminance of 233 cd m^{-2} with EL peaks of 482 nm.

Keywords: perovskite, vacuum drying, defect density, display

PVIII-3

基于反射显示器的色彩还原共轭电致变色聚合物

穆兰

(华南理工大学, 广州, 510641, b11010904ml@163.com)

摘要: 共轭电致变色聚合物在诸如智能窗户, 自动天窗和显示等许多应用中具有广阔的前景。基于共轭电致变色聚合物的反射式显示器具有全彩、低功耗和易于加工等明显优势, 但当前反射式显示技术中采用的加色显示方案与本质上“减色”电致变色聚合物不兼容。

此外, 由于电致变色聚合物的显示颜色取决于氧化电位, 因此很难在保持颜色不变的情况下实现灰度。本工作根据多色电致变色(EC)器件的光学性能对反射式显示器进行模拟计算, 为共轭EC聚合物反射显示的色彩再现提供初步解决方案。

关键字: 智能窗口, 色彩还原, 反射显示, 共轭电致变色聚合物, 电子纸

Color reproduction of reflective display based on conjugated electrochromic polymer

MU Lan

(South China University of Technology, Guangzhou, 510641, CHN, b11010904ml@163.com)

Abstract: Conjugated electrochromic polymer has promising prospects in many applications such as smart windows, sunroofs and displays. Reflective displays based on conjugated electrochromic polymers have obvious advantages such as full-color, low power consumption and easy processing, however, the additive color reproduction scheme adopted in current reflective display technology is not compatible the intrinsically "color subtractive" electrochromic polymer.

In addition, since the color of electrochromic polymers depends on the oxidation level, it is difficult to achieve gray level keeping the color unchanged. Based on the optical performance of multicolor electrochromic (EC) devices, reflective displays performance is simulated, and a preliminary solution for the color reproduction of conjugated EC polymer reflective displays is provided.

Keywords : Smart window, Color reproduction, Reflective display, Conjugated electrochromic polymer

PVIII-4

一种面向非标准高分辨率显示的驱动方案设计及实现

吴佩雯¹, 张昕¹, 宁洪龙², 赵博华³, 陈苑锋⁴, 陈琦⁵, 邱天^{1*}

(1 五邑大学-中科院半导体所 数字光芯片联合实验室, 江门, 529000,

2 华南理工大学 高分子光电材料与器件研究所 发光材料与器件国家重点实验室 材料科学与工程学院, 广东 广州 510640

3 中国科学院微电子研究所, 北京市朝阳区北土城西路 3 号, 北京 100029

4 阿里云 IoT 事业部 浙江 杭州 311121

5 深圳劲拓自动化设备股份有限公司, 广东 深圳 518126

* 通信作者 timeqiu@hotmail.com)

摘要: 由于特殊显示的需要及技术的进步, 显示屏的分辨率不断提升。针对超高分辨率显示屏行列数据线过多导致驱动芯片设计困难的问题, 本文提出一种使用双 FPGA 协同工作同时再搭配特殊时序设计的方法, 用以完成和通用显示驱动芯片类似的功能, 实现超高分辨率显示屏的稳定可靠显示。本文对这一方案进行了逻辑分析、系统设计、模拟仿真。所提的方案在一定程度上简化了驱动系统的信号连接。实验证明所提供的方案实现了系统所预设的逻辑功能, 可以驱动从晶圆上切割下来的超高分辨率芯片单元。

关键字: 并口通信, 时序电路, 显示驱动, FPGA; 时分复用

A scheme and realization of driving timing for non-standard and high-resolution display

ZHANG Xin¹, WU Peiwen¹, NING Honglong³, Bohua Zhao¹, CHEN Yuanfeng¹, QIU Tian^{1*}

(1 Lab of digital optical chip, Wuyi University, Jiangmen, Guangdong 529000, China,

2. Institute of Polymer Optoelectronic Materials and Devices, State Key Laboratory of Luminescent Materials and Devices, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China

3. Institute of Microelectronics of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029 China

4. Alibaba Cloud Inc, IoT business, Hangzhou, Zhejiang, 311121 China

* corresponding author, timeqiu@hotmail.com)

Abstract: Now the function and resolution of the display are constantly improving, not only because of the continuous optimization of the performance of various luminescent materials, but also because of the continuous iteration and development of display drive technology. As the carrier of display driving technology, the display driving chip can be called the heart of the display screen. In view of the problem that the high-resolution display screen is too high and it is difficult to achieve high-quality driving, this paper proposes to use dual FPGAs to work in conjunction with a novel timing design method to improve the performance of the display driver chip of the large-size display screen. Thus, the display quality of the super-large display screen is improved.

Keywords: Parallel Communication, Timing design, Display driver, FPGA, TDM

1. 概述

随着技术的飞速发展,超高分辨率及非标分辨率的显示屏常常被应用于军事、医学、工业等特殊行业。比如,由于现阶段工作需求,所需驱动的高分辨率点阵主要应用于在各个设备中产生任意形状光场,再运用到新一代的 3D 打印、光刻机、高精度工业加工等设备中。作为非标准分辨率的像素阵列,与常规应用于显示的像素阵列驱动方案并不相同,无法使用市场上常规的显示驱动芯片,必须进行定制化的驱动电路设计。

本文基于 FPGA 对非标准高分辨率的驱动芯片的时序控制模块进行剖析,并提出一种新的可行的设计方法。论文中所提供的设计方案主要针对高分辨率点阵驱动普遍存在的传输数据、管脚,较多的问题,同时也避开了采用 DSC 算法 (Display Stream Compression) 加高速串行数据接口的技术难点。我们的主要思路是 (1)、将多数据拆分成多个小部分数据进行传输; (2)、对拆分后的小的数据单元进行二次时分复用管脚。该方法可以驱动 10000×10000 像素的非标准高分辨率单色点阵显示屏; (3)、使用双 FPGA 协同工作的方式驱动超大分辨率显示芯片。

2. 难点讨论及方案确定

普通的低分辨率和中等分辨率的屏幕都可以采用传统的串行通信的方式或并行通信的方式进行数据传输实现逻辑控制。低分辨率屏幕一般采用串行通信,因为其像素点比较少,串行通信的速度稍慢一点,但也不影响人眼识别,并且低分辨率产品成本较低,选用串行通信的方式使得低分辨率显示的整体性价比更高。但是这些方法都无法直接运用到高分辨率显示,因为高分辨率显示屏数据传输数量十分庞大,传输速度要求也更高,需要在相差不大的时间内点亮多几十倍数量的像素点,所以无法使用串行通讯。但如果直接使用并行通信的话,采用一对一传输,需要 FPGA 芯片上有超大量的 IO 口。面对这些难点,我们准备在实现高速传输的情况下,减少大尺寸高分辨率屏幕的传输管脚。

由于数据量大、传输距离短,显示屏的数据传输一般采用并口通信的方式来实现数据交互。它一般以 2^3 、 2^4 、 2^5 位作为一个单位进行传输^[2],在传输数据时各位上的数据一并进行,使得传输数据的效率极高,但直接采用并口通信会使得大尺寸屏幕产生管脚过多的问题。我们决定采用时分复用的解决方法:时分复用是以时间单位为间隔进行信号传输的,要确保在传输过程中各路信号在时间轴上不可重叠,以保证各信号可以在各自独立的时间内进行传输。通常把传输时间分割为互不重叠的时间间隔,称为时隙。通过分时复用技术,每一个信号源都可以分配到时隙,一路信号占用一个时隙^[4]。分时复用技术可以实现多路信号传输在一条电路上。利用时间上的交叉每次只发送一路信号的一部分,所以在电路上的每个时刻只存在一路信号^[5]。

3. 时序控制

要保证显示驱动芯片中的数字部分能正常稳定的工作,需要对其中的信号时序进行精确的控制和设计。时序设计的核心是使每个触发器建立时间和保持时间保持充足^[6]。在此次驱动电路的设计中,会用到两种时序电路:

1) 计数器:计数器电路比较简单,是做计数功能,在显示驱动中主要用来统计输入脉冲的个数,实现时钟分频的功能^[8]。因为芯片里一般只有一个晶振,但往往有许多不同周期的信号,通过计数器数脉冲的形式,可以控制脉冲在计数器满的情况下发生跳变,从而得到新的时钟信号,实现分频功能。计数器一般设置成 2^n 位。

2) 移位寄存器:移位寄存器在保持了寄存器优良特性的同时,还可以对数据进行移位处理^[9],这样做的好处是即使新写入数据,旧的数据也不会消失,而是向前移位,这样使得

信息量巨大的数据可以分段传输，为读写较多的数据提供可能。移位寄存器一般按照输入输出的方式进行分类，采用是串行、并行方式自由组合的方式^[10]。预期时序图如图 3.3 所示。

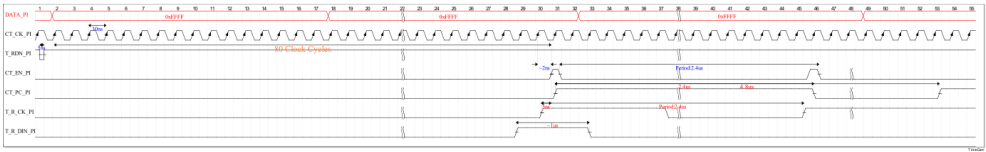


图 3.3 预期时序图

Figure 3.3 Expected timing diagram

4. 设计方案及仿真验证

4.1 双 FPGA 协同工作

本次设计实物阶段准备采用 Xilin KINTEX-7 芯片，仿真阶段暂用 Spartan-6 芯片。

由于高分辨率的大尺寸显示屏的像素点过多，即使在我们极力压缩管脚数量的情况下，为了保证刷新速度，依然可能存在着管脚过多的问题，所以我们决定使用双 FPGA 协同工作的方式来解决这一问题。

其中一块 FPGA 芯片负责时序电路和数据流控制，在数据线端做分时复用，数据线连接到第二块芯片，并将分时复用信号传递给第二块 FPGA 芯片。第二片 FPGA 芯片负责把数据分发到相应的管脚上。两块芯片合作完成对大尺寸显示屏的操作控制。

4.2 时序电路设计

在压缩管脚后，为了保证数据传输高效，我们决定采用分组分发数据的模式，即分时复用。将每一行需要传输的数据分成若干组，每组由若干个首尾相连的 D 触发器所组成^[7]，形成移位寄存器，每次输入到列扫描链即以若干位（由分组的数量决定）并行的数据，且经过若干（由总的的数据量和分组的数量共同决定）个周期之后将一行的所有数据都写入到扫描链，需要注意的是，此次驱动方案是所有数据扫描进入扫描链之后一次性写入像素阵列，因此需要对每行的数据进行处理，最先进入到扫描链的数据在扫描链的队尾。以 12 个数据为例，分为 3 组，每组 4 个数据，具体的分割方式如表 4.1 所示：

第 1 组	第 2 组	第 3 组
3	7	11
2	6	10
1	5	9
0	4	8

表 4.1 12 个数据分组方式

Table4.1 12 data grouping methods

具体的时序方案是以列扫描时钟信号为基础时钟周期，输入显示数据信号（将一行数据分为若干组数据同时输入），显示数据锁存信号对显示数据信号经过分好的若干个时钟周期进行锁存，行扫描时钟信号等于列扫描时钟信号乘以分好的时钟周期，经过一个行扫描周期，一行数据完整输入，以行扫描链输入信号标记，此时行扫描链输入信号有效。例如：显示数据信号（10000 位数据）分为 125 组数据同时输入，列扫描周期 30ns，数据锁存以 80 个基础时钟周期进行锁存，数据锁存周期 1.5 us，行扫描链时钟信号周期为 1.5us，一个完整的行扫描周期后，10000 个数据被全部输入，行扫描链输入信号有效。每一组的数据一般为 8 的整倍数，比如 40、80 个或者 160 个单元为一组，这是为了拼凑整数个 byte（8 的倍数）的方便，这一组数据有一个数据输出端，这里把一个数据输入端成为一个‘组线’。每一个组线包括 8bit 的寄存器。

FPGA 每次从 Memory 中读取 1byte 的数据，依次写入每一个‘组线’的寄存器；寄存器是一个 1 比特宽度的 FIFO，当组线的寄存器数据不为空时，每一个时钟到来，则从‘组线’的输出端输出 1 比特的数据。当组线的寄存器数据为空时，则数据的输出停止，而等待从 memory 中读取数据。对于每行 10000 列数据、每组 80 个数据的情形，总共会有 125 个‘组线’寄存器，主控逻辑循环从 memory 中读取数据，轮流写入‘组线’寄存器。组线寄存存中的数据依次驱动扫描连。由于使用单个 FPGA 管脚不够， 故使用两片 FPGA 芯片。其中一个负责传递控制信号和 50 条数据线，另外一个 FPGA 芯片负责连接 75 条数据线。两个芯片之间通过时钟信号线、数据控制线和 8 比特的数据线相连接。连接框图如图 4.1 所示。

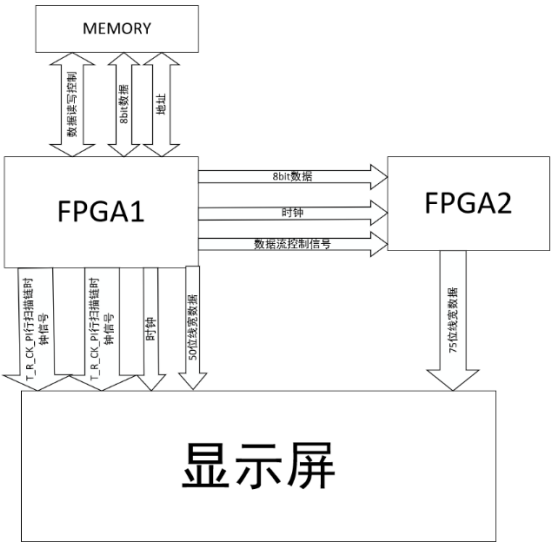


图 4.1 双 FPGA 连接框图

Figure 4.1 Block diagram of dual FPGA connection

4.3 仿真实验

我们利用 XILINX 的 ISE14.7 软件来为我们的设计思路搭建模型，并仿真结果。Xilinx 在 ISE 里为我们提供了 RAM 的 IP 核，我们通过 IP 核例化一个 RAM，根据 RAM 的读写时序来写入和读取 RAM 中存储的数据。实验中会通过 ISE 集成的在线逻辑分析仪 chipscope，我们可以观察 RAM 的读写时序和从 RAM 中读取的数据。

本次实验主要是验证我们分组分发数据的思想，所以我们一共只采用了 12 个数据。通过分组的思想，将 12 个数据分为 3 组，每组 4 个数据，重新规定 RAM 读地址的顺序，从而使数据按照分组的方式进行收发。

各端口定义如图 4.3 所示

```
reg[8:0] w_addr; //RAM write address
reg[15:0] w_data; //RAM write data
reg wea; //RAM PORTA enable
reg[8:0] r_addr; //RAM read address
reg[8:0] counter; //RAM read address counter
wire[15:0] r_data; //RAM read data
```

图 4.2 端口定义

Figure4.2 Port definition

添加对 RAM IP 的实例化，RAM IP 的实例化及程序设计如图 4.3 所示：

```

ram_ip ram_ip_inst (
    .clka      (clk      ),    // input clka
    .wea       (wea      ),    // input [0 : 0] wea
    .addra     (w_addr   ),    // input [8 : 0] addra
    .dina      (w_data   ),    // input [15 : 0] dina
    .clkb      (clk      ),    // input clkb
    .addrb     (r_addr   ),    // input [8 : 0] addrb
    .doutb     (r_data   )    // output [15 : 0] doutb
);

```

图 4.3 实例化 RAM

Figure4.3 instantiate RAM

程序上电后会对写入 12 个 0~11 的数据到 RAM 里，程序设计如图 4.4 所示：

```

always@(posedge clk or negedge rst_n)
begin
    if(rst_n==1'b0) begin
        wea <= 1'b0;
        w_addr <= 9'd0;
        w_data <= 16'd0;
    end
    else begin
        if(w_addr==11) begin //ram write in
            wea <= 1'b0;
        end
        else begin
            wea<=1'b1;
            w_addr <= w_addr + 1'b1;
            w_data <= w_data + 1'b1;
        end
    end
end
end

```

图 4.4 产生 RAM 写入的数据

Figure4.4 Generate RAM written data

采用分组收发数据的方式读出数据，程序设计如图 4.5 所示：

```

always @(posedge clk or negedge rst_n)
begin
    if(!rst_n||counter>=11)
    begin
        r_addr<= 8'd3;
        counter<=16'b000;
    end
    else if(counter>=0&&r_addr<=11) //A total of 12 data
    begin
        if(r_addr%4==0)
        begin
            r_addr<= r_addr+8'd7;//3 groups in total
            counter<=counter+1;
        end
        else begin
            r_addr<= r_addr-1;//4 data per group
            counter<=counter+1;
        end
    end
    else
    begin
        r_addr<= 8'd3;
        counter<=16'b000;
    end
end
end

```

图 4.5 RAM 分组读数据

Figure4.5 RAM Group Read Data

运行并打开 chipscope 观察 RAM 的数据信号，如图 4.6 所示：

Waveform - DEV:0 MyDevice0 (XC6SLX9) UNIT:0 MyILA0 (ILA)																					
Bus/Signal	X	O	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21				
r_addr	006	006	003	002	001	000	007	006	005	004	00B	00A	009	008	003	002	001				
r_data	0007	0007	0008	0003	0002	0001	0000	0007	0006	0005	0004	000B	000A	0009	0008	0003	0002				

图 4.6 RAM 读数据结果

Figure4.6 RAM read data result

随着 r_addr 的变化，r_data 也在变化，r_data 的数据是我们写入到 RAM 中的 12

个数据， r_addr 出现新地址时， r_data 对应的数据要延时一个时钟周期才会出现，数据比地址出现晚一个时钟周期。图中的数据都是 16 进制数，以采集到的第 7、11、15 个波形来看，是 16 进制数 003、007、00B，转化为 10 进制数为 3、7、11，加后面 3 位构成第一组数据：3, 2, 1, 0；第二组数据：7, 6, 5, 4；接着是第三组数据：11, 10, 9, 8。至此，第一行 12 个数据采集完毕，接下来读地址跳回 3，开始读取下一行的数据。

5. 小结

本文针对超大分辨率特殊显示的需求，提出一种实现其驱动电路的方法。经过原理说明与仿真验证，本时序设计方案可以驱动一种特殊的非标准高分辨率点阵。并且在与传统时序方案实现相同功能的情况下，可以有效减少 FPGA 引脚数，使整个系统更易实现逻辑控制。

参考文献：

- [1]邱元阳; 刘宗凡; 徐冬青.玩转 USB 接口[J].中国信息技术教育,2014,11:66-71.
- [2]叶艳.大容量无人机数据记录仪的数据卸载及处理技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2014.
- [3]陈斌伟.摄像直读式远传水表抄表系统的硬件设计与实现[D].北京:北京邮电大学,2015.
- [4]韩泽欣; 杨雪松.简单介绍数据通信系统的设计[J].甘肃科技,2013(03):24-26.
- [5]彭成.交流接触器节能芯片的研发与应用[D].杭州:浙江大学,2011.
- [6]李蕙.基于神经 MOS 管的多值逻辑电路设计和研究[D].杭州:浙江大学,2011.
- [7]卢润芝,赵东升等.基于 MCU 的经典数字电路逻辑功能模拟系统[J].物联网技术,2019(08):70-71.
- [8]胡桃生.基于计数器级联构成大容量计数器研究与实践[J].现代电子技术,2013(18):131-133.
- [9]张慧敏.基于时钟再生机制的 6 通道恒流 LED 驱动电路的设计[D].成都:电子科技大学,2012.
- [10]张金磊.形式化验证技术在 EDA 软件开发中的应用[D].西安:西安电子科技

PVIII-5

基于 SSB245 系列光刻机的拼接曝光工艺研究

任书铭, 吴杰

(上海微电子装备(集团)股份有限公司, 上海, 201203, ren_sm@126.com)

摘要: 本文基于上海微电子装备(集团)股份有限公司自主研制的 SSB245 系列光刻机, 对拼接曝光中出现的图形变形的问题进行了分析, 找出了多种图形补偿方法, 有效解决了光学邻近效应引起的图形变形问题, 为解决实际生产中的此类问题提供了有效方案。

关键字: 拼接, 曝光, 光学邻近效应

Study on stitching exposure technology based on SSB245 lithography machine

REN Shuming

(Shanghai Micro Electronics Equipment (Group) Co., Ltd., Shanghai, 201203, CHN,
ren_sm@126.com)

Abstract: Based on SSB245 serie lithography machine developed Shanghai Microelectronics equipment (Group) Co. Ltd, this paper analyzes the problem of graphic deformation in stitching exposure. Many kinds of graph compensation methods are found out. It can effectively solve the problem of graphics deformation caused by OPE. Effective solutions to such problems in production.

Keywords: Stitching, Exposure, OPE

引言

随着平板显示技术的不断发展, 显示屏幕的尺寸不断增大, 配套的掩模版尺寸也随之不断增大, 对应的掩模版成本也水涨船高, 同时掩模版尺寸的变大, 也导致了其重量, 弯曲度等特性的变大, 增大了生产良率的控制难度。

为了克服这些困难, 人们发明出采用尺寸较小、有效曝光面积较小的掩模版多次拼接曝光的方法来实现较大尺寸的显示屏幕的制作, 此方法在光刻领域同样有广泛的应用场景, 比如全画幅的摄像头、高性能 Fanout 封装等等, 其好处在于不需要对已有设备进行大的升级, 用较低的成本来获得需求实现。

然而在实现的过程当中往往容易出现图形变形问题(如图 1), 从而引起线宽不均匀, 甚至断线的情况。本文对其引起图形变形的原因进行了分析和揭示, 提出并通过实验验证了对应的图形补偿方法, 为实际生产中解决此类问题提供了思路。

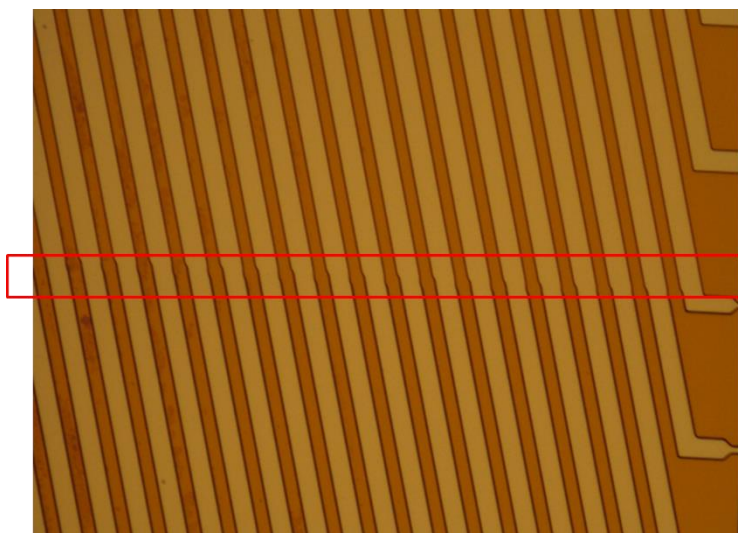


图 1 拼接区图形变形

Fig.1 Image deformation in stitching area

一、平台介绍

SSB245 系列光刻机是上海微电子装备（集团）股份有限公司自主研制的国产扫描投影式光刻机，专用于 AMOLED 和 LCD 显示屏 TFT 电路制造，满足 730*920mm 基板及以下大小的平板显示生产工艺量产要求，最高解析能力为 1.5 μm ，拼接精度为 0.5 μm ，达到国际先进水平。

二、拼接区图形变形的原因分析

导致拼接区图形变形的误差来源一般认为来源于两方面：1）光学邻近效应^[1]引起的图形畸变；2）光刻机本身的设备套刻精度、工艺加工导致的基底局部变形等引起的拼接误差。

其中拼接位置的图形因为光学邻近效应（如图 2），在实际成像时，图形会出现内缩现象，导致实际成像的位置发生偏差，出现边缘放置误差^[2]（如图 3），因此在拼接时实际的拼接图形位置与理论位置会发生偏差，从而出现拼接区图形变形的问题。

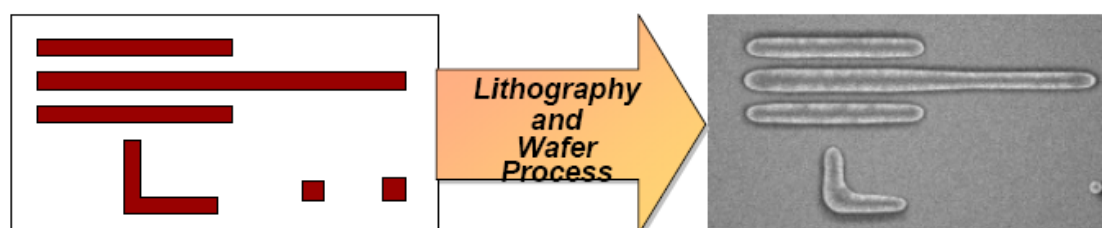


图 2 光学邻近效应

Fig.2 Optical proximity effect

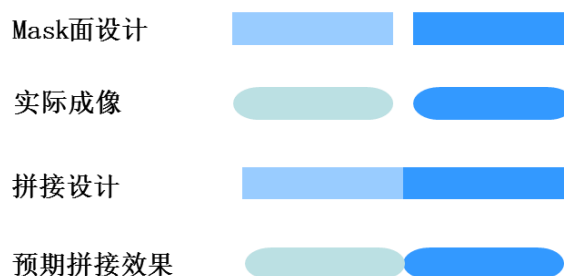


图 3 拼接曝光图形内缩示意图

Fig.3 Schematic diagram of stitching exposure pattern shrinking

三、 针对光学邻近效应引起的图形内缩现象的分析与实验

实验主要通过光刻工序的优化调整进行了对应测试，所用光刻胶为平板显示行业典型的正性光刻胶。

1. 重叠拼接曝光

只调整曝光布局，将上下拼接区的部分图形重叠曝光，避免图形内缩导致断线；同时设置的重叠区宽度需大于拼接精度指标，从而确保图形不会受到曝光拼接误差出现断线情况。

从实际曝光结果看，重叠位置图形出现了较大程度的变形，如图 4 所示。其主要原因是由于重叠位置图形受到两次曝光照射，导致曝光能量过大，其理论受到的能量是非拼接区能量的两倍，对于正性光刻胶而言，接受到的能量越大，线宽就越小，因此拼接区图形出现了较大程度的变形。

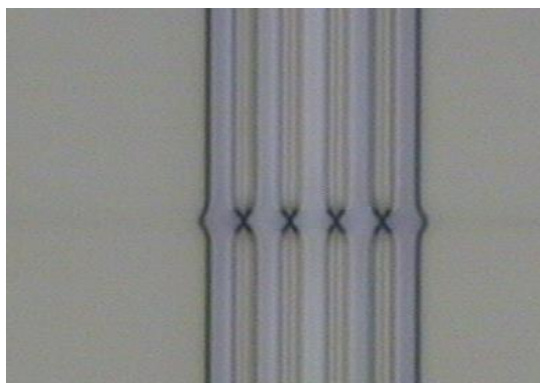


图 4 拼接效果图

Fig.4 Stitching exposure image

2. “小头”补偿图形曝光

优化设计重叠区（如图 5，图中图形为透光区），其中 x 为平行拼接方向的重叠量； y 为垂直拼接方向的重叠量， y 向大小比非拼接区线宽小；同时 x 与 y 的重叠量设置大于曝光机最小分辨率，确保图形能够正常成像。重叠区图形大小变小后，坐落在重叠区图形受到两次曝光能量照射后，其对应的图形线宽可接近非拼接区一次曝光能量照射后的图形线宽大小，从而达到减小拼接区图形变形的问题。此类补偿设计的图形小于非拼接区线宽，为了更好的便于读者理解，我们将此类补偿方法称为“小头”补偿。



图 5 “小头”补偿图形设计示意图

Fig.5 Schematic diagram of "small head" compensation graphic design

从实际曝光结果看，在合适的补偿值情况下，图形拼接位置图形与非拼接位置图形无明显差异（如图 6，T 字对应的位置为拼接线位置）。

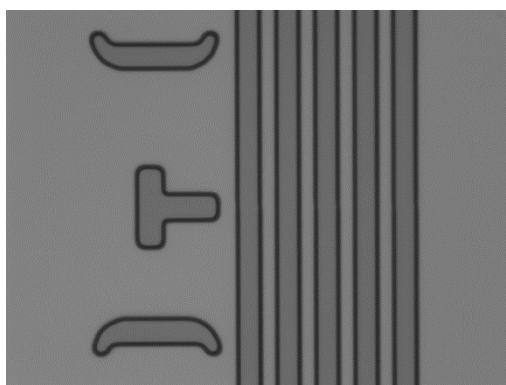


图6 优化后的拼接曝光实际成像图

Fig.6 Optimized stitching exposure image

3. “大头”补偿图形曝光

基于“小头”补偿图形曝光的结果分析发现，其存在多种补偿设计组合（如表 1 所示，其中表 1 中 x 值代表平行拼接方向的重叠量，y 值代表垂直拼接方向的重叠量），从表 1 中数据分析可知，当 x 值变小后，y 值呈现变大趋势，按此规律推测，当 x 值变小到一定程度后，y 值将可能大于本身目标线宽大小，因此判断存在重叠区图形出现转换的可能（如图 7 所示，图中图形为透光区）。

表 1 补偿值窗口

Table.1 Compensation value window

目标线宽 (μm)	最佳补偿值 (μm)					
	x	y	x	y	x	y
2.5	1.5	1.7~2.2	2	1.5~1.9	2.5	1.5~1.7

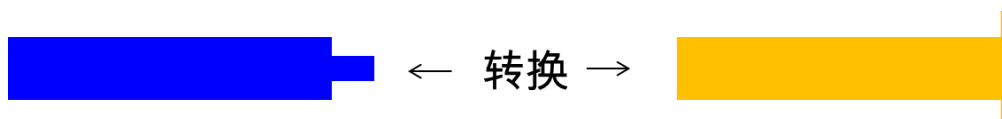


图7 重叠区补偿设计转换示意图

Fig.7 Schematic diagram of overlap compensation design conversion

为验证此设想，进行了对应的补偿图形设计（如图 8，图中图形为透光区），其中 x 为平行拼接方向的补偿量；y 为垂直拼接方向的补偿量。此补偿图形设计实际是对图形的光学邻近效应进行了补正，减小了边缘放置误差^[2]，避免图形内缩引起拼接图形变形。此类补偿设计的图形大于非拼接区线宽，为了更好的便于读者理解，我们将此类补偿方法称为“大头”补偿。

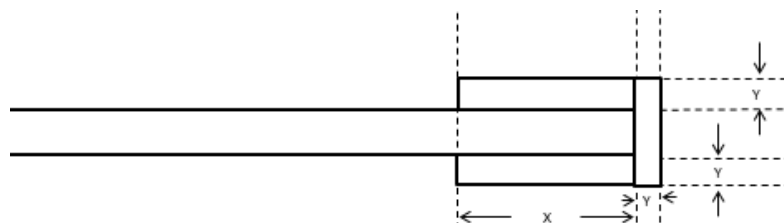


图8 “大头”补偿图形设计示意图

Fig.8 Schematic diagram of "big head" compensation graphic design

从实际曝光结果看，在合适的补偿值情况下，图形拼接位置图形与非拼接位置图形无明显差异（如图 9，T 字对应的位置为拼接线位置）。

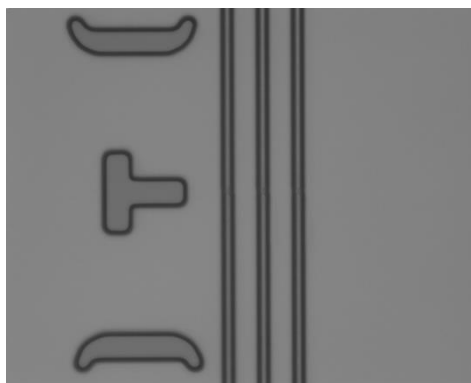


图9 “大头”补偿的拼接曝光实际成像图

Fig.9 Stitching exposure image with "big head" compensation

4. “大头”与“小头”补偿方法使用工况分析

“大头”与“小头”两种补偿方法都可以起到优化拼接图形畸变的作用，但两者有各自的优点，需根据对应工况去配合使用。

当曝光图形的线宽大于光刻极限分辨率时，应使用“小头”补偿设计，因为拼接误差在实际曝光中是一定存在，如重叠宽度较小时，容易发生断线问题，断线的发生是无法接受的，而图形变形还存在接受可能，因此补偿值需要有足够冗余度来克服拼接误差，而“小头”补偿会设计一定宽度的重叠区，满足此冗余度的需求(如图10)，从而降低拼接误差带来的影响。

当曝光图形的线宽接近光刻设备的极限分辨率时，应使用“大头”补偿设计，因为“小头”补偿设计的图形大小是小于目标图形的线宽大小的，当目标图形线宽接近光刻极限分辨率时，“小头”补偿设计的图形是小于光刻极限分辨率的，是无法实际成像的，因此无法起到补偿作用，而“大头”补偿设计能避免不能成像的问题。

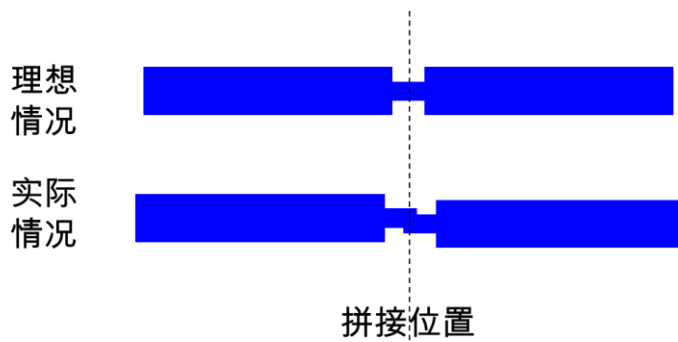


图10 “小头”补偿克服拼接误差示意图

Fig.10 Schematic diagram of "small head" compensation to overcome stitching error

四、 结论

本文基于 SSB245 系列光刻机机台针对拼接位置的图形变形问题进行了误差原因分析和实验，对应的测试结果和分析结论同样适用于其他 SSB200 系列光刻机。

对于光学邻近效应引起的拼接图形变形现象，文中讨论了对应的解决方法，并对具体补偿方法的应用场景进行了分析和建议；而对于不同的实际工艺情况而言，其基底的反射率、光刻胶特性等不同，光学邻近效应引起的变异程度也会有差异，因此具体的补偿量会有所差别的，但其设计思路可参考本文给出的补偿设计方法。

参考文献:

- [1] 石瑞英, 郭永康等.光学邻近效应的产生机理分析.激光杂志: 2000: 43-45
- [2] 韦亚一.超大规模集成电路先进光刻理论与应用.北京: 科学出版社,2016.5: 347-347

PVIII-6

基于含氟表面活性剂添加的电润湿显示器件工艺

魏妙杨^{1,2} 冯豪^{1,2} 王天友^{1,2} 蒙传芝^{1,2} 唐彪^{1,2*} 周国富^{1,2,3,4}

(1 广东省光信息材料与技术重点实验室, 华南先进光电子研究院, 华南师范大学, 广州 510006, 中国

2 广州市类纸显示材料与器件重点实验室, 华南师范大学, 广州 510006, 中国

3 深圳市国华光电科技有限公司, 深圳 518110, 中国

4 深圳国华光电研究院, 深圳 518110, 中国

*联系方式: tangbiao@scnu.edu.cn (B. Tang))

摘要: 本研究通过引入含氟表面活性剂 Surflon S-386 改善光刻胶在疏水绝缘层表面的润湿性, 从而改善涂布成膜特性, 进而避免了等离子体刻蚀和高温回流等复杂的工艺过程。文中系统研究了光刻胶中含氟表面活性剂添加比例对于其在含氟疏水层表面润湿性的调控规律; 得出 1wt% 以上含氟表面活性剂可以均匀成膜的工艺窗口。实验表明, 以上直接涂布成膜的光刻胶经过标准光刻显影工艺构建完成的像素阵列结构与疏水绝缘层具有良好的粘附性, 并且工艺后的疏水绝缘层不存在含氟表面活性剂残留, 且可以满足油墨自组装填充。制得的电润湿显示器件具有良好电润湿可逆性和重复性, 证明基于含氟表面活性剂的电润湿显示器件简化制程工艺在电润湿显示器件制备中具有潜在的应用价值。

关键字: 电润湿显示, RIE-free, 光刻胶, 含氟表面活性剂

Fabrication of electrowetting displays based on fluorosurfactant-added photolithography

WEI Miaoyang^{1,2}, FENG Hao^{1,2}, WANG Tianyou^{1,2}, MENG Chuanzhi^{1,2}, TANG Biao^{1,2*}, ZHOU Guofu^{1,2,3,4}

(1 Guangdong Provincial Key Laboratory of Optical Information Materials and Technology & Institute of Electronic Paper Displays, South China Academy of Advanced Optoelectronics, South China Normal University, Guangzhou 510006, P. R. China.

2 National Center for International Research on Green Optoelectronics, South China Normal University, Guangzhou 510006, P. R. China.

3 Shenzhen Guohua Optoelectronics Tech. Co. Ltd. Shenzhen 518110, China.

4 Academy of Shenzhen Guohua Optoelectronics, Shenzhen 518110, China.

* Correspondence: tangbiao@scnu.edu.cn (B. Tang))

Abstract: In this study, the fluorosurfactant-added surfactant Surflon S-386 was introduced to improve the wettability of the photoresist on the surface of the hydrophobic insulating layer, thereby improving the film-forming characteristics of the coating and avoiding the complex process such as plasma etching and high temperature reflow. The article systematically studied the regulation of the ratio of fluorine-containing surfactant in the photoresist on its wettability on the surface of the fluorine-containing hydrophobic layer; the process window for uniform film formation of more than 1wt% fluorine-containing surfactant was obtained. Experiments show that the above-mentioned directly coated photoresist has been constructed by standard

photolithography and development process to complete the pixel array structure and the hydrophobic insulating layer have good adhesion, and the hydrophobic insulating layer after the process does not contain fluorosurfactant-added surfactant. Residual, and can meet the ink self-assembly filling. The prepared electrowetting display device has good electrowetting reversibility and repeatability, which proves that the manufacturing process of the electrowetting display device based on fluorosurfactant-assisted surfactant has potential in the preparation of electrowetting display devices.

Keywords: Electrowetting display, RIE-free, Photoresist, Fluorosurfactant

引言

电润湿显示是通过施加电压来改变液-固的接触角,控制液体运动的一种显示技术。电润湿显示器 (Electrowetting display, EWD) 具有高亮度、低能耗、响应速度快、色彩丰富、适用于柔性显示等优点^[1,2], 电润湿显示技术被认为是 21 世纪显示行业最具潜力的发展方向之一。

疏水绝缘层作为电润湿显示器件的重要组成部分,同时起绝缘和疏水的作用,对于电润湿显示器件的开关性能、驱动电压、可靠性等都有着十分重要的影响——以含氟聚合物材料为例,本身具有清洁、无粘性、疏水性、化学稳定性高的特点^[3],但其与大多数分子的相互作用也极为微弱,因此大部分的光刻材料不能通过湿涂法沉积在基体上。人们为材料相容性的改善做了大量的工作,类似 O₂-等离子体处理^[4], UV-O₃ 处理^[5]。在传统的电润湿显示器件制造过程中,为了改善光刻胶成膜性,引入等离子体刻蚀这一方法。但通过氧等离子体刻蚀实现表面改性的方法工艺窗口小,工艺链复杂,并且使得表面粗糙度提升,容易造成显影后的残留。另外这种修改会导致润湿性污染,从而破坏含氟聚合物原本干净的特性^[6]。为了恢复疏水绝缘层的疏水性,引入的高温回流过程容易引起光刻胶变形造成疏水绝缘层表面污染的问题,给现有的电润湿显示器件制造工艺控制及器件的稳定性带来极大挑战,且增加了工艺的复杂性和成本。因此,对于技术开发和工业化,非常需要更简单、更清洁的制造工艺。

本研究通过引入非离子聚合物氟表面活性剂 Surflon S-386,采用没有反应离子刻蚀 (Reactive Ion Etching free, RIE-free) 工艺来制备 EWD 器件。在光刻胶中加入合适比例的 Surflon S-386,可以实现直接在疏水表面通过光刻工艺建立像素格而不需要额外的表面处理,且无需高温回流过程。这种制备 EWD 器件的方法我们称之为基于添加表面活性剂的 RIE-free 工艺。最后制得的 EWD 器件具有良好电润湿可逆性与稳定性,为简便地在含氟聚合物表面制备光刻胶薄膜以及简易制备电润湿显示器件提供一定参考。

1. 实验

实验均使用具有 0.7 毫米厚的钢锡氧化物 (ITO) 顶涂层,电阻为 100 Ω / cm² 的玻璃作为衬底。将基材在 3%碱性玻璃清洁剂溶液中彻底超声清洗 5-8 分钟,然后在去离子水中冲洗 2-3 分钟。通过吹入惰性气体(N₂)将清洁后的基板上的水干燥,然后在烤箱中于 110℃ 加热 30 分钟。通过旋涂 (1500 rpm, 持续 60 s) 的 3 wt% 的 Teflon AF1600 将含氟聚合物的绝缘疏水层涂覆在清洁的玻璃基板上。将旋涂的基材在热板上于 85℃ 加热半小时,然后在烤箱中于 185℃ 加热半小时以蒸发所有溶剂。这些步骤产生了含氟聚合物光滑疏水涂层的 0.80±0.02 μ m 厚的层。为了检查含氟表面活性剂 Surflon S-386 对含氟聚合物润湿性的影响,用接触角测量仪测量了含氟表面活性剂重量百分比变化的光刻胶溶液的接触角。对于光刻工艺,我们优化了工艺参数,并以图 2(a)所示的光刻工艺制造像素墙结构。按照我们的配方进行墨水填充和器件封装。介电润湿 (EWOD) 实验通过在插入 5 μ L 水滴中的铂丝和导电的 ITO 衬底之间施加电压来完成,并同时通过皮安表测量系统的泄漏电流。EWD 设

备由 WK6500B 精密阻抗分析仪电驱动从而测试 C-V 曲线与 I-V 曲线。

2. 结果与讨论

3.1 RIE-free 工艺研究

为了将光刻胶溶液旋涂在聚四氟乙烯 AF (Teflon AF) 涂层的基板上, 通过光刻技术制作亲水性像素墙, 我们在光刻胶溶液中加入聚合物氟表面活性剂 Surflon-S386, 获得含氟表面活性剂添加的光刻胶 (fluorosurfactant-added photoresist, FS-PR)。如图 1(a)所示, Surflon-S386 是一种非离子表面活性剂, 由亲氟性、亲脂性和亲水性基团组成^[7]。图 1 (b)显示了含氟表面活性剂的 HN-018N 光刻胶溶液在 Teflon AF 涂层基体上的润湿性, 它与 Surflon S-386 浓度的函数关系。不添加表面活性剂的光刻胶溶液滴表现出较高的接触角在 80°左右, 这使得其很难在 Teflon AF 基片上形成连续的光刻胶膜。加入一定浓度的 Surflon S-386 后, 接触角逐渐减小, 当添加浓度在 5wt%时, 接触角可以达到 43°左右, 此时光刻胶在 Teflon AF 表面变得高度湿润。

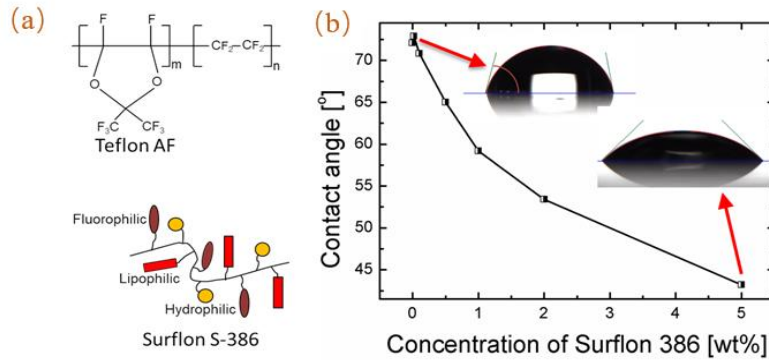


图 1 (a) Teflon AF 与 Surflon S-386 化学结构 (b) 添加不同浓度的表面活性剂 Surflon-S386 的 HN-018N 光刻胶液滴在 AF 的润湿性曲线图

Fig1.(a) Chemical structure of Teflon AF and Surflon S-386.(b) Wettability curves of HN-018N photoresist drops on AF with surfactant surflon-S386 at different concentrations

Cho^[8]等人在他们的工作中, 在光刻胶中加入了浓度为 15% wt% 的含氟表面活性剂, 这不仅降低了光刻胶的性能, 而且需要在加热的基板上自旋涂层两次。我们根据添加了表面活性剂的光刻胶在疏水绝缘层的涂膜表现后续的性能测试以及填充封装表现, 发现在光刻胶中添加含氟表面活性剂 Surflon S-386 的最优剂量为 1wt%。于是我们选用 1wt% 添加的光刻胶实现在疏水绝缘层表面的直接涂布。另外, 我们利用剥离法^[9]对薄膜的附着力进行测试。光刻胶和疏水绝缘层的粘附力主要根据剥离区间的平均力, 平均力在 10gf 以上, 根据公式

$$F = \frac{b\gamma}{1 - \sin \theta}$$

其中 b 为薄膜宽度, θ 为剥离角度, 根据测量所得的 F 便可计算出附着能。计算

可以得到添加了表面活性剂的光刻胶薄膜的附着能为 2200gf/m 左右, 根据光学薄膜粘附力测试标准 ASTM D 可以认为光刻胶与疏水绝缘层之间有较好的粘附性。

为了在氟聚合物涂层的基板上制造亲水的像素墙, 工艺流程如图 2 所示。通过该工艺, 我们利用光学显微镜可以观察到微结构的表面形貌。该工艺可以在疏水绝缘层表面得到边界清晰的阵列式亲水像素墙结构, 其表面的 AFM 图测得 RMS (表面均方根粗糙度) 为 0.5nm, 证明结构表面平整光滑。

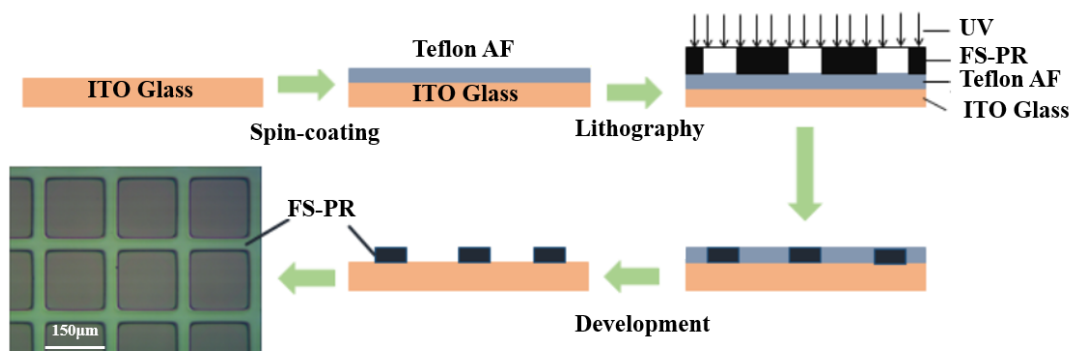


图 2 RIE-free 光刻工艺流程图及像素墙结构光学显微镜图

Fig.2. Schematic of the patterning process flow and optical micrograph of patterned FS-PR stripes with 25 μm ridge with 150 μm spacing

另外，显影后像素格内部的含氟聚合物表面保持了原有的洁净性，并具有与涂覆的含氟聚合物相同的疏水性。这是通过在涂覆和清洗含氟表面活性剂的光刻胶溶液后，分别对清洗前后的含氟聚合物基材进行电润湿曲线和漏电流测量来证实的。为了准备用于 EWOD 实验的基板，按照图 2(a)所示的步骤对氟聚合物涂层基板进行处理，然后使用不同的清洁方式（UV / O₃ 清洗，丙酮溶液，PGMEA 和 IPA 溶液）清洗光刻胶膜。原始样品和清洁后的样品在未施加电压时显示出相似的初始水接触角（110° 左右），这证实了含氟聚合物表面在光刻构图过程后仍保持其固有的疏水性。如图 3(a)，EWOD 实验表明，原始物质以及清洁后的样品均具有良好的可逆性，这表明含氟表面活性剂已被清除。这也反映在 EWOD 实验期间的泄漏电流测量中，如图 3 (b) 所示，即使在施加 40 V 的高电压时，泄漏电流仍保持在 $\pm 0.2\mu\text{A}$ 范围内。这些额外的 EWOD 和泄漏电流测量结果证实了像素内部的含氟聚合物表面在像素壁图案化后仍保持其固有特性而没有任何污染，适合在 EWD 器件中使用。在该过程中，省略了光刻之前和之后的含氟聚合物的表面改性和回流。为 EWD 器件提供了一种非常简单，快速且无污染的制造思路。

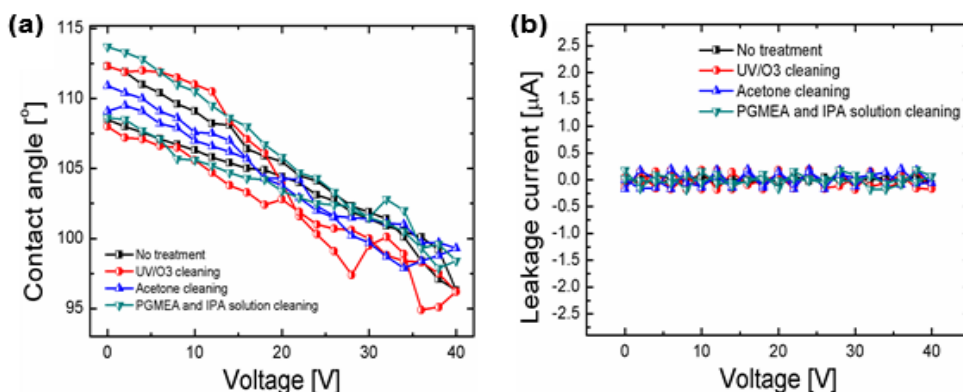


图 3(a) 5 μL 去离子水在疏水绝缘层表面的介电润湿曲线和(b)漏电流曲线

Fig.3. (a) Electrowetting on dielectric experiment and (b) leakage current measurements during EWOD experiment.

2. 2 RIE-free 工艺的电润湿显示器件验证

通过该创新工艺，制备出了基于添加表面活性剂 Surflon S-386 的 RIE-free 制备的 EWD 器件，如图 4 (a) 所示，像素格大小为 150 μm *150 μm ，每个像素中含有的去离子水为极性导电液，染色油墨为非极性液体。

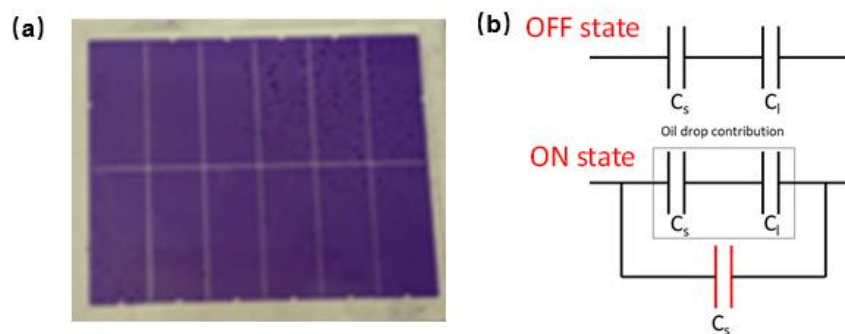


图 4 (a)RIE-free 工艺制备得到的 EWD 器件(b)开/关状态下单位像素的等效电路图
Fig.4.(a) The EWD device was prepared by RIE-free process.(b) Equivalent capacitance diagram for unit pixel in on/off state

EWD 器件本身可看作是一个电容器，图 4 (b)为 EWD 器件单位像素在开关时的等效电路图^[10]。在关闭状态，彩色油覆盖整个像素，因此氟聚合物层和油层的串联是单元像素总电容的主要贡献，此时 $C = \frac{C_s C_l}{C_s + C_l}$ ，式中 C_s 和 C_l 分别为含氟聚合物和油层的电容。在开启状态下，当像素的大部分区域被水覆盖，部分区域被油滴覆盖时，此时总电容等于油墨覆盖区域和水覆盖区域的电容之和，此时 $C = C_s + \frac{C_s C_l}{C_s + C_l}$ ，总电容呈现增大的趋势。基于现有研究工艺，我们利用相同的工艺参数制作多个电润湿显示器件，用阻抗分析仪输出电压并测量电容值，设置 0V 到 40V 到 0V 直流电压，步幅电压为 2V/s，每次改变电压后记录器件的电容和泄漏电流，检验器件的性能和可靠性。如图 5 (a) 所示，我们看出电润湿显示器件的阈值电压为 30V 左右，电容变化趋势以及磁滞效应基本一致。随着电压的增加，油滴收缩得更大，因此电容值增加得更多。由于油墨层逐渐破裂堆聚，疏水层与导电液体（水）的接触面积逐渐增大，导致了漏电流的产生。如图 5 (b) 所示，采用 RIE-free 工艺制备的电润湿显示器件的漏电流基本保持恒定且变化趋势相似。证明了 RIE-free 工艺的重复性以及可靠性。

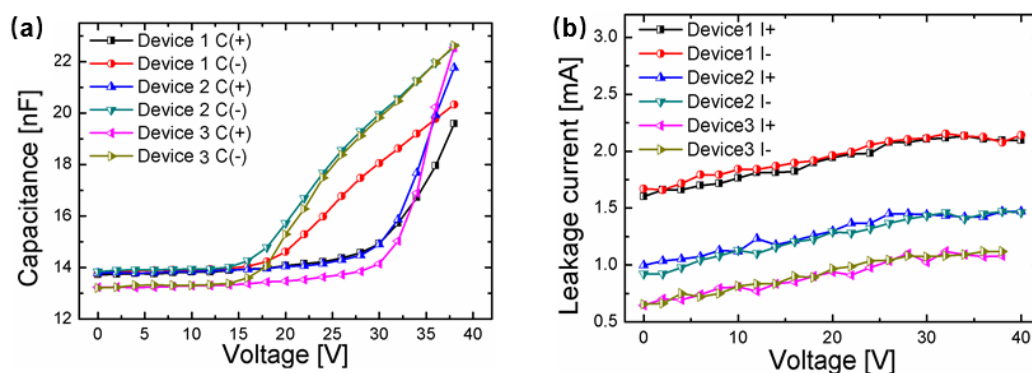


图 5 (a) 多个 EWD 器件的电容随电压变化情况 (b) 多个 EWD 器件漏电流随电压变化情况

Fig.5.(a) The capacitance of EWD devices varies with voltage.(b) The leakage current of EWD devices varies with the voltage

3. 总结

本文提出并实现了一种简便的光刻方法，用于在疏水性含氟聚合物表面上绘制亲水性像素墙来制造 EWD 器件。这是通过在光刻胶溶液中混合少量的非离子聚合物氟表面活性剂

Surflon S-386 来实现的。这种对光刻胶溶液的简单修饰使我们能够在不需要任何表面改性修饰的疏水性氟聚合物上旋涂光刻胶。该工艺省略了耗时且容易污染的步骤,如在光刻工艺之前和之后的氟聚合物表面改性和高温回流。开放体系下 EWOD 实验和同时进行的漏电流测量证实,器件像素内的含氟聚合物表面未被污染。此外,多个电润湿显示器件电容和漏电流测量结果表现出可逆性和重复性,证实了该方法制作的显示器件是十分可靠的。因此,我们认为该技术在制造电润湿显示器件方面具有很高的潜力。

4. 致谢

感谢国家重点研究与开发项目(2016YFB0401505)、教育部“长江学者和创新团队发展计划”项目(编号:IRT_17R40)、“广东省特支计划”本土创新创业团队(No. 2019BT02C241),广州市科技计划项目(编号 201904020007, 2019050001),广东省光学信息材料与技术重点实验室(编号 2017B030301007),教育部光学信息技术国际实验室和国家高等学校学科创新引智计划 111 引智基地项目。

参考文献:

- [1] Feenstra R a H a B J. Video-speed electronic paper based on electrowetting[J]. Nature 425, 383, 2003.
- [2] Mugele F, Baret J C. Electrowetting: From basics to applications[J]. Journal of Physics-Condensed Matter, 2005, 17(28): R705-R774.
- [3] Seyrat E, Hayes R A. Amorphous fluoropolymers as insulators for reversible low-voltage electrowetting[J]. Journal of Applied Physics, 2001, 90(3): 1383-1386.
- [4] Kim D Y, Steckl A J. Complementary electrowetting devices on plasma-treated fluoropolymer surfaces[J]. Langmuir, 2010, 26(12): 9474-9483.
- [5] Liu Y, Lin Z, Lin W, et al. Reversible superhydrophobic-superhydrophilic transition of ZnO nanorod/epoxy composite films[J]. ACS Appl Mater Interfaces, 2012, 4(8): 3959-64.
- [6] Wang J, Zhang X, Deng W, et al. A facile method for fabrication of highly integrated organic field-effect transistors on photoresist-unwettable insulators with remarkable stability[J]. Organic Electronics, 2016, 34: 104-110.
- [7] Sakanoue T, Mizukami M, Oku S, et al. Fluorosurfactant-assisted photolithography for patterning of perfluoropolymers and solution-processed organic semiconductors for printed displays[J]. Applied Physics Express, 2014, 7(10): 101602.
- [8] C. -C. Cho R M W, And L. A. Piles-Sensler. Patterning and Etching of Amorphous Teflon Films[J]. Journal of Electronic Materials, 1994, 23(8).
- [9] 张殷华,黄伟,张云洞. 光学薄膜附着测量方法[C]. 中国光学学会光电技术专业委员会. 光电技术与系统文选——中国光学学会光电技术专业委员会成立二十周年暨第十一届全国光电技术与系统学术会议论文集.中国光学学会光电技术专业委员会:中国光学学会,2005:385-390.
- [10] Mchale G, Herbertson D L, Elliott S J, et al. Electrowetting of Nonwetting Liquids and Liquid Marbles[J]. Langmuir 2007, 23(2): 918-924.

Aligned Crystalline Film of TIPS-Pentacene and Perovskite Printed by an Ultra-sonic Dispenser and their Application in Photodetectors

Chenning Liu¹, Hang Zhou², Chuan Liu¹

(¹ State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technologies and the Guangdong Province Key Laboratory of Display Material and Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, China, liuchn3@mail2.sysu.edu.cn

²Shenzhen Key Lab of Thin Film Transistor and Advanced Display, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen, China)

Abstract: The crystallization of organic or perovskite semiconductors reflects the intermolecular interactions and crucially determines the charge transport in opto-electronic devices. In this report, we demonstrate and investigate the use of an ultra-sonicated dispenser to guide the formation of crystals of organic and perovskite semiconductors. The moving speed of the dispenser affects the match between the concentration gradient and evaporation rate near the three-phase contact lines, and thus, the generation of various crystallization morphologies. The mechanism of crystallization is given by a relationship between the calculated concentration gradient profile and the degree of crystal alignment. Highly ordered, aligned crystals are achieved for both organic TIPS-pentacene and perovskite MAPbI₃ semiconductors. Absorption spectra, Raman scattering spectroscopies, and grazing incidence wide-angle X-ray scattering measurement reveal the strong anisotropy of the crystalline structures. The aligned crystals lead to remarkably enhanced electrical performances in an organic thin-film transistor (OTFT) and perovskite photodetector. As a demonstration, we combine the OTFT with photodetectors to achieve an active-matrix of normally off, gate-tunable photodetectors that operate under ambient conditions.

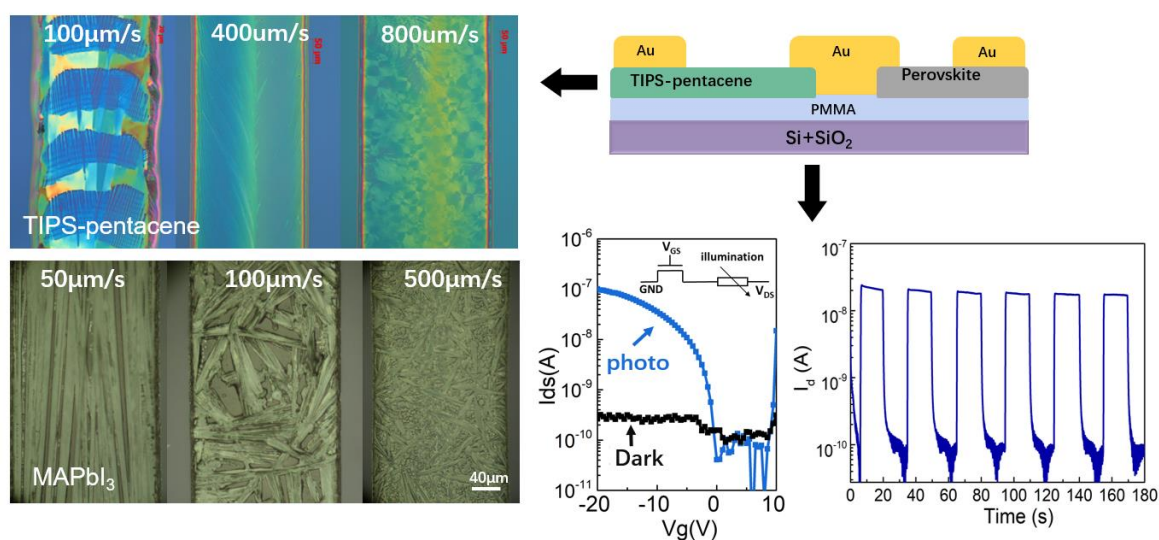
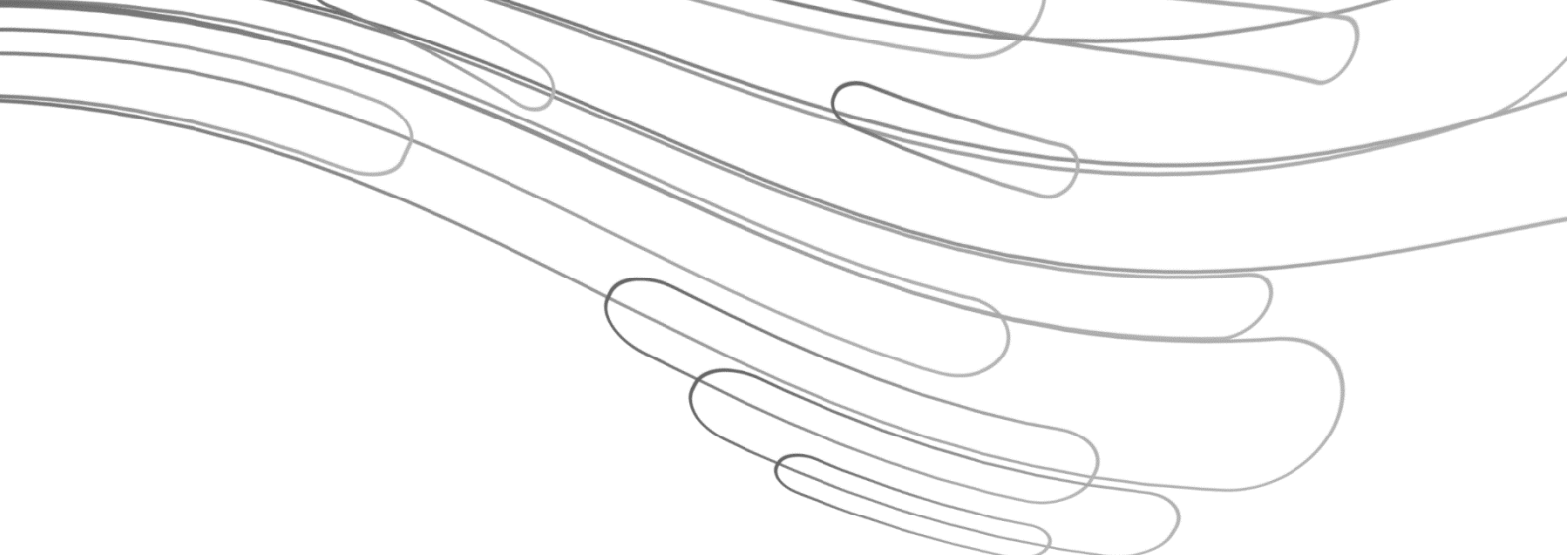


Fig. 1. (a) Images of TIPS-pentacene and perovskite films obtained at different printing speeds. (b) The schematic representation of the active matrix of the OTFT-photodetector cell. (c) The

transient response of an OTFT-photodetector cell with periodic illumination.

参考文献:

- [1] Li, L.; Pan, L.; Ma, Z.; Yan, K.; Cheng, W.; Shi, Y.; Yu, G. All Inkjet-Printed Amperometric Multiplexed Biosensors Based on Nanostructured Conductive Hydrogel Electrodes. *Nano Letters* 2018, 18, 3322-3327.
- [2] Deng, W.; Zhang, X.; Huang, L.; Xu, X.; Wang, L.; Wang, J.; Shang, Q.; Lee, S.-T.; Jie, J. Aligned Single-Crystalline Perovskite Microwire Arrays for High-Performance Flexible Image Sensors with Long-Term Stability. *Advanced Materials* 2016, 28, 2201-2208.



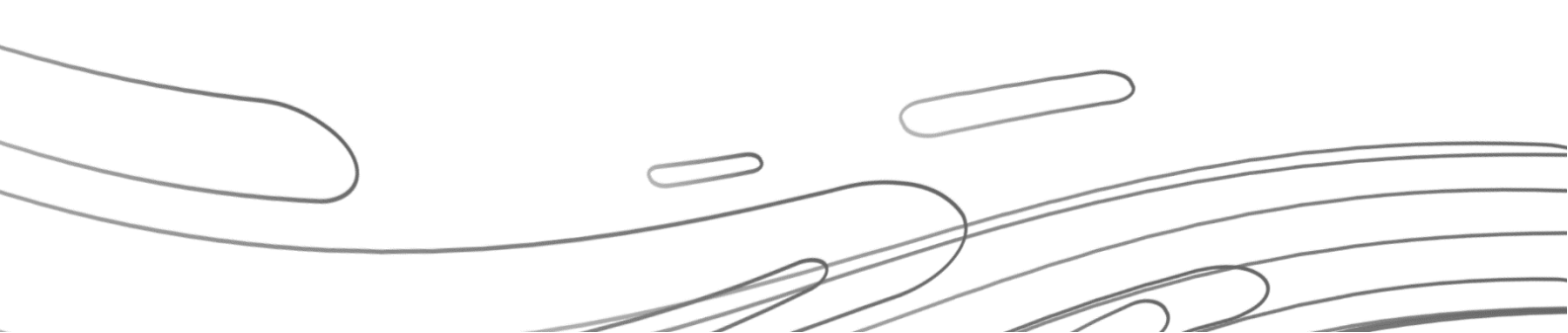
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第九章

触控技术



PIX-1

TDDI 产品 Diff 不良原因分析与改善方案探究

任艳伟*, 贾磊, 谢建云, 唐乌力吉白尔, 徐敬义, 赵欣

(鄂尔多斯市源盛光电有限责任公司, 内蒙古, 鄂尔多斯, 017000,

renyanwei@boe.com.cn)

摘要: 为解决TDDI产品Diff值偏高引发的触控不良问题, 本文基于TDDI产品触控显示原理, 从干扰电容及测试初始环境温度两个维度对Diff不良影响展开进行分析探究。研究表明: 采用高阻BM、将驱动IC内部Grid输出信号由LFD变更为HiZ信号均可以有效降低diff值; 其中尤以IC内部变更Grid输出信号最为显著; 面板Panel边角TX-CITO不再进行外扩可使左右两侧边角地方diff值显著降低。基于上述研究将对后续TDDI产品设计存在一定指导价值。

关键字: Diff 不良, 干扰电容, 电容耦合

Research on Cause Analysis and Improvement Scheme of TDDI

Product Diff NG

REN Yanwei* JIA Lei, XIE Jianyun, TANG wulijibaier, XU Jingyi, ZHAO Xin

(Ordos Yuan shen Optoelectronics CO., Ltd., Ordos 017000, China, renyanwei@boe.com.cn)

Abstract: In order to solve the problem of touch NG caused by the high Diff value of TDDI products, based on the general principle of touch implementation of TDDI products, this paper analyzes and explores the adverse effects of Diff from two dimensions, namely interference capacitance and initial temperature of the test. Studies have shown that using high-impedance BM and changing the internal Grid output signal from LFD to HiZ signal could effectively reduce the diff value; among them, changing the Grid output signal inside the IC is the most significant; The TX-CITO corners of the panel are no longer expanded, so that the diff value at the left and right corners could be significantly reduced. Based on the above research, there will be some guidance value for subsequent TDDI product design.

Key words: Diff NG, Interference capacitance, Capacitive coupling

1 引言

TDDI(Touch and Display Driver Integration)技术作为新一代显示触控技术, 由于其拥有较好的触控性能、更高的透过率、且可以满足当下市场窄边框产品设计需求, 被广泛用于 Mobile 产品中^[1,2]。其中自容 Full in cell 产品通过分时复用 VCOM ITO 的方式进行 Touch 驱动, 即将 AA 区的 VCOM ITO 分割成为若干 sensor 单元, 并由 TX 线连接到 IC channel 上。Sensor 单元在 Display 阶段输出 VCOM 信号, 而在 Touch 阶段作为识别触摸的 sensor 电极。手指触控会导致相应位置 sensor 单元对地电容的增加, IC 通过检测 sensor 单元电容的变化, 以此识别触控发生的位置。

模拟前端 (Analog Front-End AFE), 其目的是处理信号源给出的模拟信号, 对其进行数字化及分析处理。IC 处理信号基本逻辑为: 面板上 Sensor 的电容及走线电阻组成 RC 电路,

触控 IC 发出驱动脉冲对 RC 电路进行充电，之后 IC 的 AFE 模块对 RC 电路的电量 CV 进行积分获取 Rawdata。算法定义：Diff 值=Rawdata-Baseline，即后面的触控帧获取到的数据减去 Baseline 得到 Diff 值，这里的 Diff 大于设定值及认为有触控动作。Diff 不良是指 Panel 在无手指触控状态下，Diff 值就已高于正常设定阈值，此时就会引发鬼手不良^[3]。本文主要从影响 Sensor 电容因素出发，从干扰电容及温度两个维度对 Diff 不良影响进行分析研究，并提出相应改善措施及 Design Rule，对后续新开 TDDI 项目设计具有一定指导意义。

2 Diff 不良模型猜想与测试方法

2.1 不良电容模型

一般来说首帧下检测到的自电容偏低容易引发 Diff 不良。在没有外界干扰状态下可认为首帧下 Panel Sensor 块中心电荷量是一定的，经 IC 的 AFE 模块对 RC 电路的电量 CV 进行积分获取 baseline。如图 1 所示，当 Sensor 块存在并联干扰电容下，中心 Sensor 块上的电荷量就会被干扰电容所分流，导致首帧中心电荷量偏低，当输入脉冲电压不变情况下自电容就会偏低，经 IC 放大处理得到的信号量（baseline）就会偏低。Diff 值偏高，在设定阈值不变的情况下增加 Diff NG 风险。

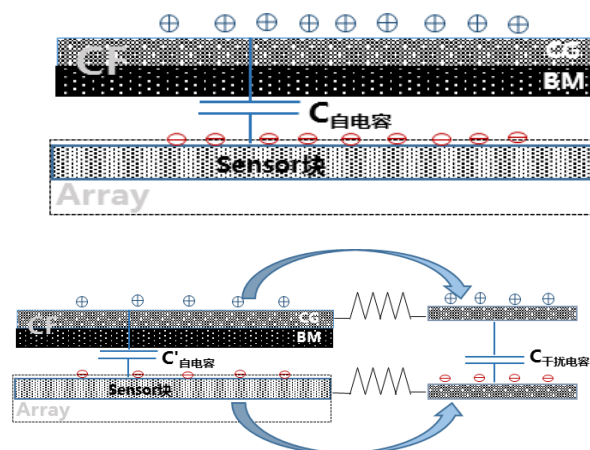


图 1 Diff 不良干扰电容模型图

Fig.1 Interference capacitance model diagram in Diff NG

2.2 测试与评价方法

将待测样品置于 Chamber 中低温（-15℃）aging 0.5h，后快速取出放置在常温（25℃）绝缘木板上。采用 MTF2000P 进行单体点亮，通过 NOVATEK (以下简称 Nova) 科技公司提供的 PSTOOL_V13546 _ B- OE_630_36672A 软件在线进行第 7000 帧 Diff 值测试（见图 2）。其中选用 Before ALG（未合入 IC 补偿）可监控每帧下 Panel 本身变量对 Diff 值浮动影响。由于触控阵列中 X1Y36 行结构设计和所处环境较特殊，Diff 值偏高最为显著，本文仅监控 X1Y36 行 diff 值结果进行展开讨论。

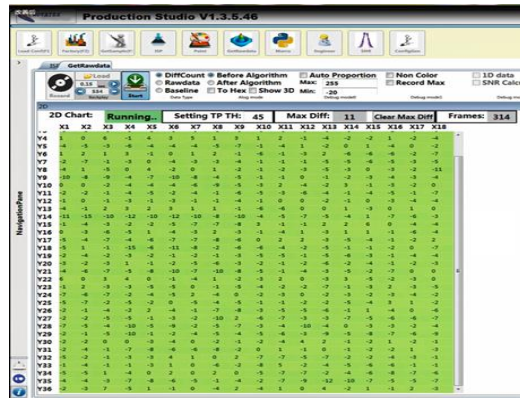


图 2 PS TOOL 软件实时监控触控阵列 Diff 值图片

Fig.2 Touch array Diff value monitored online by PS TOOL software

3 Diff 不良因子与改善分析

3.1 边角 CITO 外扩

Mobile 产品为追求极佳的握持感和美感常常需进行 R 角设计, 相应 Panel 在原始设计时四周边角同样会采用异性 Sensor 块。通常情况下异型 Sensor 块面积小于非异型 Sensor 块, Nova 36672AIC 对面板厂商 Panel 触控设计要求需满足: $75\% \leq S_{\text{异型 Sensor 块}} / S_{\text{非异型 Sensor 块}} \leq 110\%$ ^[4]; 为尽可能满足整面均一化设计需求, 设计时将 CITO 向 AA 区外延伸以补偿一定面积 (如图 3 所示)。若边角 CITO 延伸至周边密集 Source 走线正上方且与其正向交叠, 在 Touch 时刻 Source 线处于 Floating 状态, 与 TX-ITO 则会形成额外干扰电容, 如图 3 所示。

图 4 和图 5 分别为 Panel 边角有无 TX-ITO 外扩设计截面图和 Panel 有无边角 TX-CITO 外扩对 Diff 值影响曲线。可以看出, 去除 TX-CITO 外扩后, 两边角 Touch 块 Diff 值降低明显, 其中左侧边角降低 67, 右侧边角可降低 81; 中部 Diff 值基本无改善, 说明影响 Diff 残留的因子不唯一。

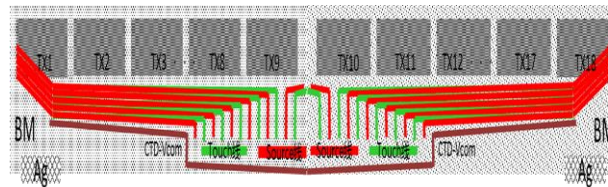


图 3 Panel 底部走线位置示意图

Fig.3. Layout of the bottom of the panel

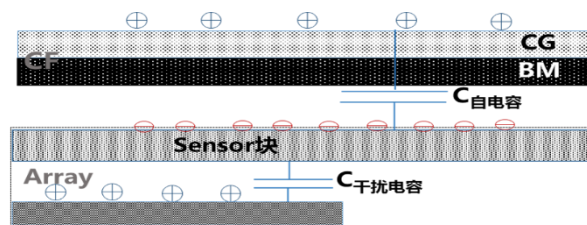


图 4(a) Panel 边角有 TX-ITO 边角外扩结构截面图

Fig.4(a). Sectional view of panel with TX-ITO corner expansion structure

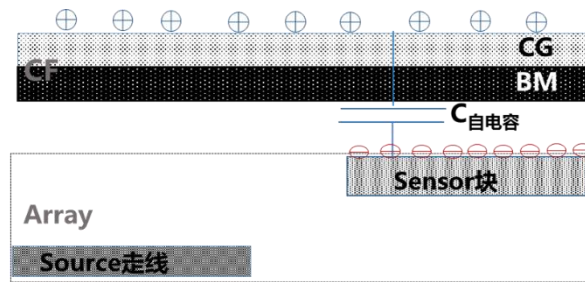


图 4(b) Panel 边角无 TX-ITO 边角外扩结构截面图

Fig4(b). Sectional view of Panel without corners of TX-ITO corner expansion

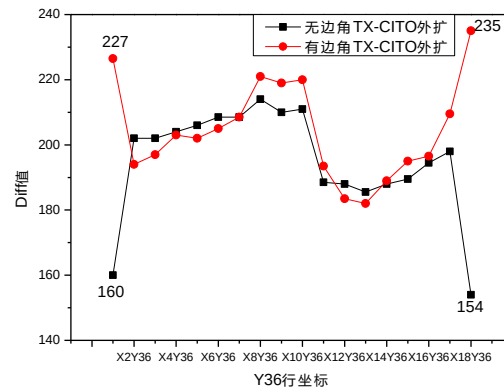


图 5 Panel 有无边角 TX-CITO 外扩对 Y36 行 Diff 值影响曲线

Fig.5. Influence curve of panel TX-CITO external expansion with or without corner on Diff value

表 1 Panel 有无边角 TX-CITO 外扩对 Y36 行 Diff 值

Table 1 Diff Value of panel TX-CITO external expansion with or without corner

位置	无边角 TX-CITO	有边角 TX-CITO
	外扩	外扩
X1Y36	160	227
X2Y36	202	194
X3Y36	202	197
X4Y36	204	203
X5Y36	206	202
X6Y36	209	205
X7Y36	209	209
X8Y36	214	221
X9Y36	210	219
X10Y36	211	220
X11Y36	189	194
X12Y36	188	184
X13Y36	186	182
X14Y36	188	189
X15Y36	190	195
X16Y36	195	197
X17Y36	198	210
X18Y36	154	235

3.2 BM(Black Matrix)阻值

BM 俗称黑色矩阵，CF 面底层优先 Coating BM 以防止 RGB 混色^[5]；其制作材料一般为 Cr、炭黑、黑色树脂等；Panel DP 侧 BM 截面会与 Array 面 Ag-Pad 点通过银浆进行连接以实现表面 ESD 快速导出的目的。BM 阻值设定会一般依据产品特定功能及设备匹配性而定。通常认为，中阻 BM 阻值范围： $1 \times 10^{10} \Omega$ - $1 \times 10^{13} \Omega$ ；高阻 BM 阻值大于 $1 \times 10^{15} \Omega$ ；BM 同样会与下方 Touch 块及 Source 走线交叠产生干扰电容从而影响到整行 Diff 值，如图 6 所示；

图 7 为不同 BM 阻值对对 Diff 值影响曲线，可以看出随 BM 阻值增加整行 diff 值均有降低，降低幅度为 23.01%，说明采用高阻 BM 可以有效降低整行 diff 值，减少因无触导致 diff 值过高带来的鬼手不良风险。

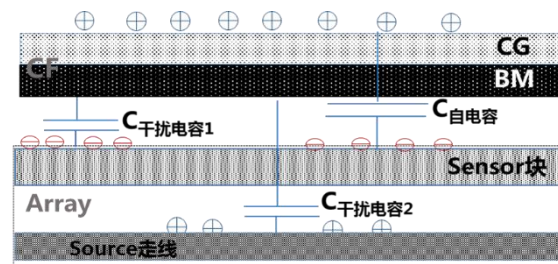


图 6 BM 干扰电容模型截面图

Figure 6 Cross-sectional view of BM interference capacitance model

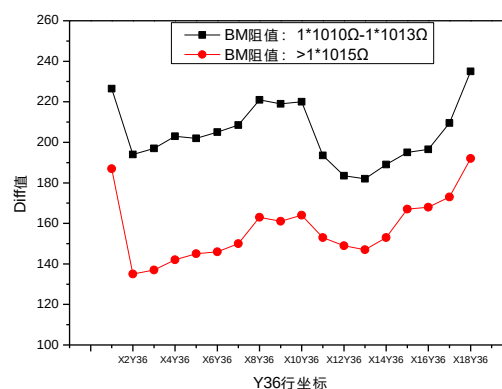


图 7 不同 BM 阻值对 PanelY36 行 Diff 值影响曲线

Figure 7 The influence curve of different BM resistance on Diff value of Panel Y36 row

表 2

位置	BM 阻值: $1*10^{10} \Omega \sim 1*10^{13} \Omega$	BM 阻 值: $>1*10^{15} \Omega$
X1Y36	227	187
X2Y36	194	135
X3Y36	197	137
X4Y36	203	142
X5Y36	202	145
X6Y36	205	146
X7Y36	209	150
X8Y36	221	163
X9Y36	219	161
X10Y36	220	164
X11Y36	194	153
X12Y36	184	149
X13Y36	182	147
X14Y36	189	153
X15Y36	195	167
X16Y36	197	168
X17Y36	210	173
X18Y36	235	192

3.3 IC 内部干扰电容

以 Nova 36672A 型号驱动 IC 为例，图 8 为 Nova 36672A IC 内部 Layout 走线，其中由于其 Y36 行模拟前端单元（AFE36）与内部 Grid 走线较近（约 $0.3\mu\text{m}$ ），当 Grid 输出 LFD 信号（一种强 modulation 信号）时，会与 AFE36 行单元进行耦合产生寄生电容 CP，Grid 外部 Loading Cgs 因温度改变，同样会造成 LFD 波形发生改变，AFE 与 Grid 波形输出不匹配使 Cp（LFD）发生变化；故将 Grid 输出为 Hiz（floating 状态），因 Grid 无外推波形，故 AFE 对 Grid 感应的 Cp 不变，当 Cgs 远大于 Cp 使 AFE 对外看到的 loading 接近为 CP(Hiz)，此时对 AFE 影响可以被大幅改善。实际从 IC 内部 Grid 两种输出方式对 Y36 行 diff 值影响曲线也可看出 IC 内部设定优化后的 Y36 行 diff 值平均可下降 47.17%，改善最为明显。

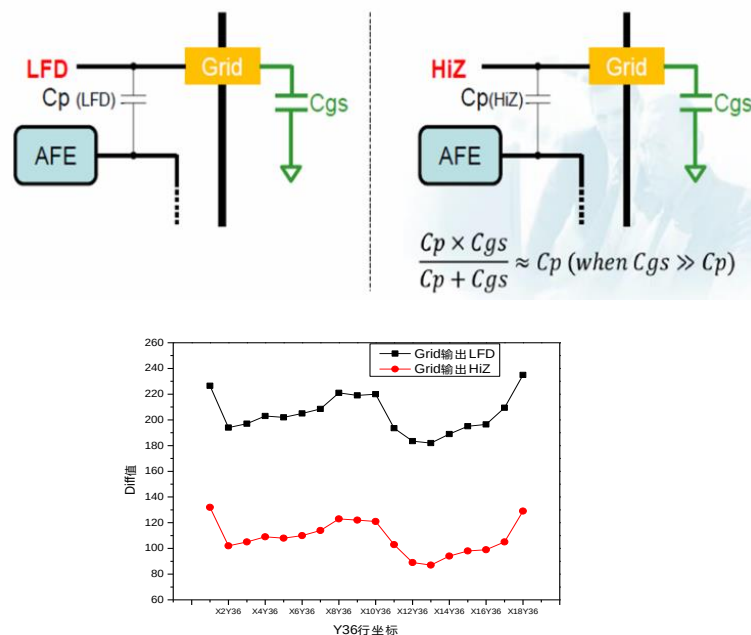


图 8 Nova 36672A IC 内部不同 Layout 走线设计对 Panel Y36 行 diff 值影响曲线
Figure 8 The influence curve of the different layout design of the Nova 36672A IC on the diff value of Panel Y36

3.4 初始环境温度影响

环境温度主要影响液晶离子析出量^[6,7]。如图 9 所示，电容 C2 由液晶等有机介质填充、上极板为 BM，下极板为 IT0 sensor。其中液晶中存在各种可以移动的离子。

如图 10 所示，若初始环境温度较低时，触控正 3.5V 电压施加在 IT0 Sensor 上，液晶中存在自由移动的正负离子移动重排。电荷量 $Q_1 = C_2 \cdot U$ ；初始 baseline 制定为 $B_{\text{低温}}$ ；

如图 11 所示，若初始环境温度为常温时，液晶中离子较低温下析出增多，可自由移动的离子浓度增大，触控正 3.5V 电压电压作用下，电荷重新排布。 $Q_2 = C_2' \cdot U$ ；初始 baseline 制定为 $B_{\text{常温}}$

其中 U 不变， $Q_2 > Q_1$ ，即 $C_2' > C_2$ ， $B_{\text{常温}} > B_{\text{低温}}$ ；后统一转移至室温，由 diff 定义公式可知初始环境温度下 diff 值较初始常温下更易偏高；实际测试结果见图与前期理论模型相一致；

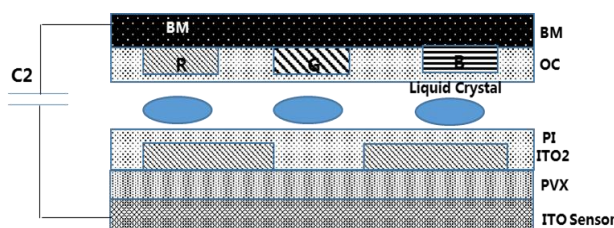


图 9 C2 电容结构低温下触控正电压驱动电荷分布
Figure 9: C2 capacitor structure under low temperature touch positive voltage drive charge distribution, charge

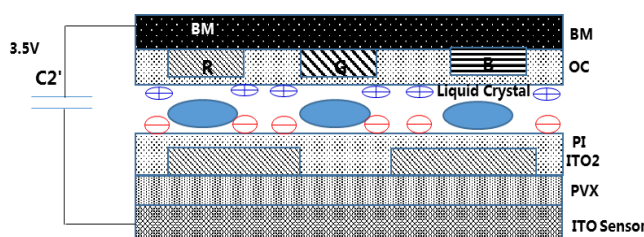


图 10 高温下触控正电压驱动电荷分布

Figure 10 Charge distribution of touch positive voltage drive at high temperature

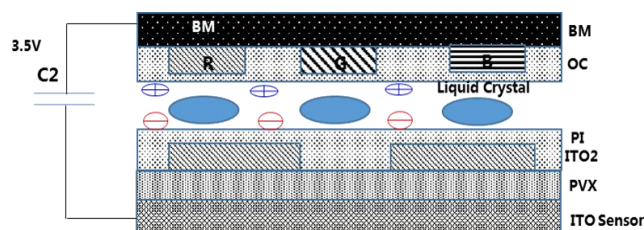


图 11 常温下触控正电压驱动电荷分布，

Figure 11: Touch positive voltage driving charge distribution at room temperature

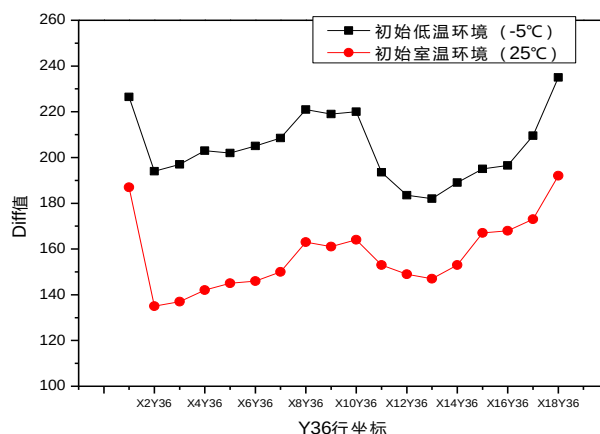


图 12 Panel Y36 行 Diff 值

Figure 12 Diff value of Panel Y36 row

4 结论

本文基于 TDDI 产品触控实现一般原理，从干扰电容及测试初始环境温度^[8]两个维度对 Diff 不良影响展开进行分析探究。研究表明：采用高阻 BM、将 IC 内部 Grid 输出信号由 LFD 变更为 HiZ 信号均可以有效降低 Y36 行 diff 值。其中尤以 IC 内部变更 Grid 输出信号最为显著；Panel 边角 TX-CITO 边角不再进行外扩可使左侧边角地方 diff 值降低 67，右侧边角 diff 值降低 81。基于上述研究将对后续 TDDI 产品设计存在一定指导价值。

参考文献：

- [1] 郝倩,李培春.新一代显示触控技术-TDDI 浅析[J].电子制作,2017,13(4):82-100.
- [2] 王健. 屏幕里的黑科技 TDDI 技术能为手机带来什么改变[J].电脑爱好者,2016,17: 108-109.
- [3] 李大国,张庆明.A/D 高速采集模拟信号的阈值设定[J].单片机与嵌入式系统应用,2005(11):72-73.
- [4] 王丽霞. 基于多点触控技术的智能仪器面板设计[D].郑州大学,2014.

- [5] Jun Choi, Woosung Lee, Jin Woong Namgoong, Tae-Min Kim, Jae Pil Kim. Synthesis and characterization of novel triazatetrabenzcorrole dyes for LCD color filter and black matrix[J]. *Dyes and Pigments*, 2013, 99(2).
- [6] 叶永, 国丽. 液晶复合材料光学薄膜的制备及性能研究[J]. 2020, 4, 2018.
- [7] 周德利. TFT-LCD 残像不良改善研究[D]. 华南理工大学, 2018.
- [8] 丛越华, 张宝砚, 王宏光, 封文娟. 液晶离聚物——分子设计与热性能[J]. *高分子通报*, 2000(01): 61-65.

PIX-2

触控采用柔性基底 LTPS 技术的研究

王守坤, 秦韶阳, 郭双, 李鹏, 马一鸿, 张萌, 葛泳, 杜哲, 单奇, 王刚, 李俊峰

(维信诺科技股份有限公司, 河北 固安, 065500, wangsk@visionox.com)

摘要: 本文主要介绍柔性材料和技术在触控方面应用的相关研究。通过采用柔性基底及低温多晶硅技术, 将触控电路制作在柔性基底, 同时优化低温多晶硅制备过程中的相关工艺, 并探讨工艺条件对电学特性的影响, 从而保证柔性基底的 LTPS 技术在触控方面的应用。

关键字: 柔性电路, 触控, 柔性材料, 低温多晶硅工艺

Research on LTPS Technology Based on Flexible Substrate for Touch Sensor

WANG Shoukun, QIN Shaoyang, GUO Shuang, LI Peng, MA Yihong, ZHANG Meng, GE Yong, DU Zhe, SHAN Qi, WANG Gang, LI Junfeng

(Visionox Technology Inc., Gu'an, Hebei 065500 P. R. China, wangsk@visionox.com)

Abstract: This paper mainly introduces the application of flexible materials and technology in touch sensor. By using flexible substrate and low temperature poly-silicon process (LTPS) technology, touch circuit is fabricated on flexible substrate. At the same time, the preparation process of low-temperature poly-silicon is optimized, and the influence of process conditions on electrical characteristics is discussed, so as to ensure the application of LTPS technology on flexible substrate in touch sensor.

Key words: Flexible circuits; Touch sensor; Flexible materials; Low temperature poly-silicon process (LTPS)

1. 引言

目前, 触控技术被应用于生活的各个方面, 并被大家广泛关注和研究。触控器件的薄化也是未来的发展需求。而柔性基底的 LTPS 工艺技术被有机发光显示技术 OLED (Organic Light Emitting Diode, OLED) 广泛应用, 从而使 OLED 显示具有柔性轻薄的特点^[1-4]。所以柔性基底的低温多晶硅 LTPS 技术与触控技术的结合成为重要的研究方向。本文主要研究柔性基底 LTPS 技术的触控技术开发, 探索新的工艺流程, 并研究工艺流程对 TFT 特性的影响, 给出技术可行性方案。

2. 样品制备

样品的制备工序: 先经过 PI 工艺在玻璃基板上形成柔性基底, 第二步工序形成金属膜遮光层, 第三步工序经过 LTPS 工艺形成多晶硅 P-Si 图形, 第四步和第五步工序通过连接孔工艺和 M1 工序完成信号连接和栅极走线, 第六步和第七步工序通过连接孔工艺和 M2 形成源漏极走线, 第八步和第九步工序经过连接孔工艺和 M3 形成顶部遮光层, 最后工序涂覆有机材料, 进行触控器件的保护, 完成阵列工序, 如图 1 所示为阵列膜层结构; 然后, 采用 LLO 工序将柔性基底与玻璃基板剥离, 形成柔性基底的器件, 经过模组的 IC 的绑定工序和 cutting 工序, 完成最终样品的制备。由于触控器件尺寸较小, 模组的工艺设备很难对应,

我们开发新的工序流程，采用先进行 unit 单元切割，再进行模组绑定工艺，最后切割成 single panel 的方法完成样品制作，如图 2。

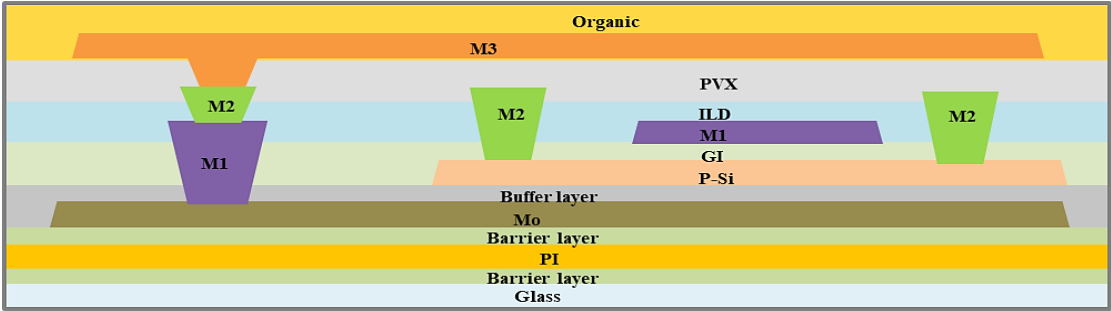


图 1 阵列膜层结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of array structure

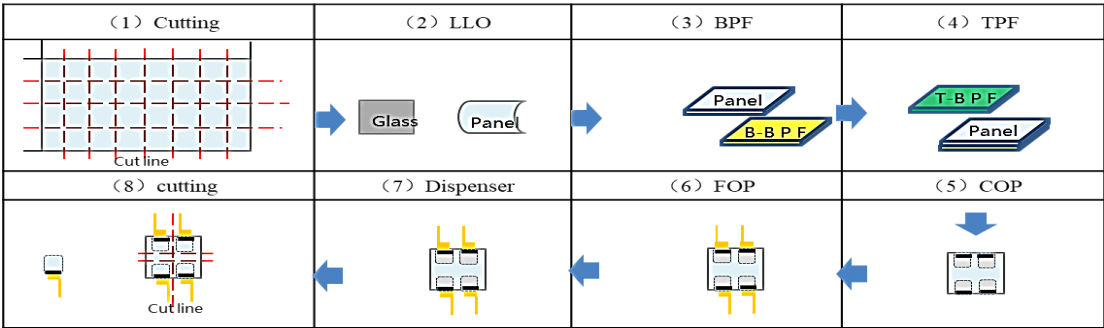


图 2 样品制备工艺流程

Fig. 2 Process flow of sample preparation

3. 实验结果和讨论

由于涉及到触控器件的可靠性，所以需要研发关于触控器件的保护结构，本文采用在阵列工艺的最后工序，涂覆一层膜层较厚的有机胶膜层（2 μm）的方法，对触控器件进行第一道防护。但是触控器件在使用过程中，要承受大量的触碰和外界水汽的入侵，所以需要开发新的膜层结构，以便于在保证触控性能的前提下，提高触控器件的使用寿命。本文开发采用的保护膜材料，厚度在 30 μm，相比较原有材料的膜层厚度降低了 70%。为确认此薄化材料的粘附性能，我们对此材料的粘附力进行对比验证。图 3 为保护膜附着力测试示意图，a 为保护膜贴附于涂覆 2 μm 有机胶的玻璃基板上面的样品测试，b 为保护膜贴附在玻璃基板上面的样品测试。图 4 为上述的粘附力测试数据，从测试数据可以发现，保护膜在玻璃基板上面的粘附力均值在 2.6N/cm，而贴附于有机胶膜层上面粘附力均值可达到 3.2N/cm，粘附力可增加 23%以上。通过上述分析可知，在阵列工序最后涂覆有机膜层，然后贴附这种新型的薄化保护膜材，可极大提高保护结构的粘附力，增强触控器件的防护作用。

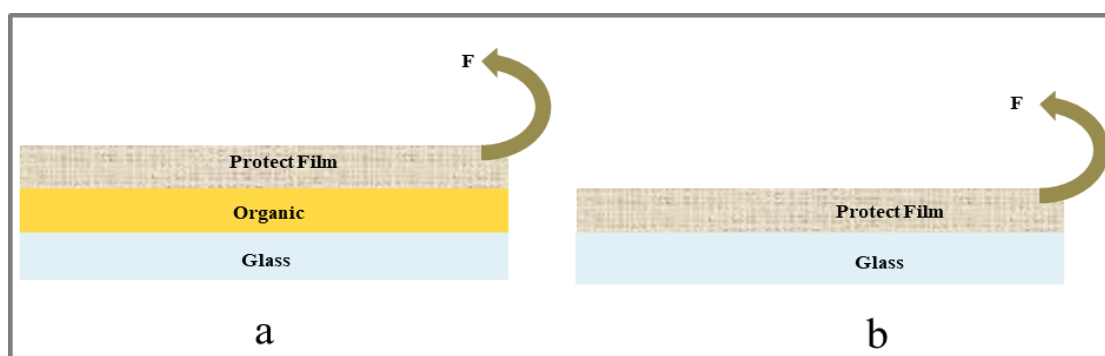


图 3 保护膜层粘附力测试示意图

Fig. 3 Schematic diagram of adhesion test of protective film

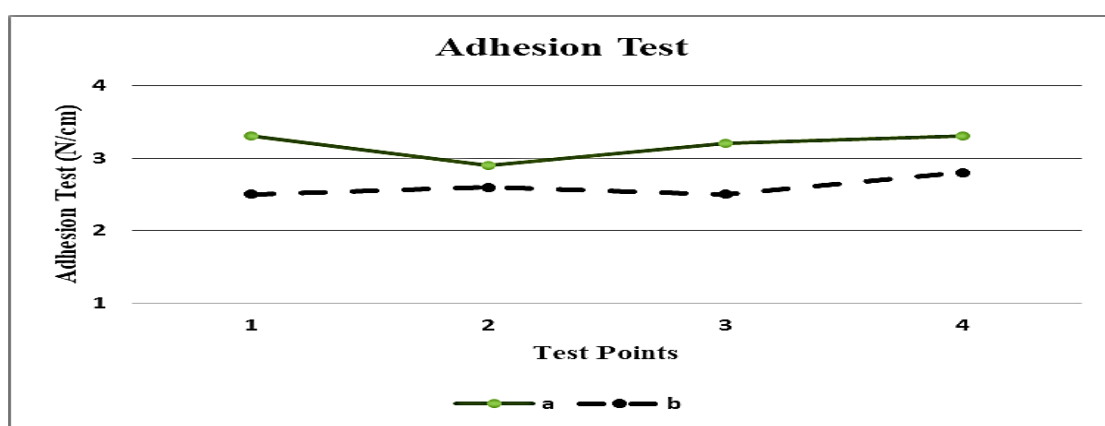


图 4 保护膜粘附力测试结果

Fig. 4 Adhesion test result of protect film

为实现触控器件的柔性功能，本文采用 LLO (laser lift off) 激光剥离工序将器件与玻璃基板进行剥离，但是在 LLO 工序涉及到激光照射，可能会对触控器件的 TFT 电性造成影响，因此，我们对样品的 LLO 工序前后的 TFT 特性进行测试确认。通过测试分析可知，LLO 工序前后的电学特性曲线基本吻合，如图 5 所示。这是由于本文的触控器件的上下膜层都增加了遮光层，从而可极大降低 LLO 对器件的影响。综上所述，本文所设计的膜层结构和工艺流程，可充分保证触控器件在柔性基底的电学特性的稳定性。

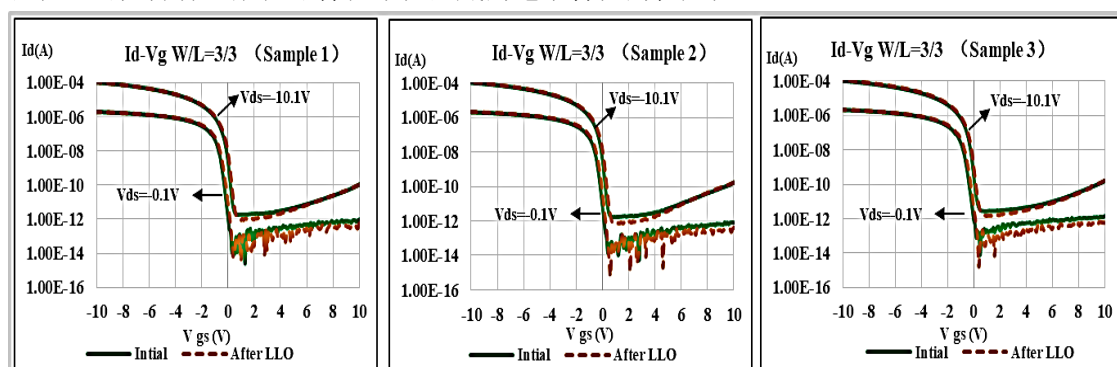


图 5 LLO 条件前后的转移特性曲线

Fig. 5 Transfer characteristic curves before and after LLO conditions

4. 结论

通过探究和开发新的 LTPS 阵列结构和模组工艺流程, 并且确保 LLO 激光剥离等工序对触控器件的电性无影响, 成功完成柔性 LTPS 基底的触控器件的开发, 此技术的成功研发为触控器件的柔性轻薄化提供一个新的解决方案, 并且为 OLED 显示技术与触控技术的结合打好基础。

参考文献:

- [1] Tang C W. CW Tang and SA VanSlyke, Appl. Phys. Lett. 51, 913 (1987) [J]. Appl. Phys. Lett., 1987, 51: 913.
- [2] Sasabe H, Kido J. Development of high performance OLEDs for general lighting [J]. Journal of Materials Chemistry C, 2013.
- [3] T. Kohno, H. Kageyama, M. Miyamoto, et al. High-speed programming architecture and image-sticking cancellation technology for high-resolution low-voltage AMOLEDs [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2011, vol.58, no.10: 3444-3452.
- [4] 陈志强, 刘晓彦. 低温多晶硅显示技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 5-136.

面向 in-cell 触控屏的 TFT 集成栅驱动电路设计

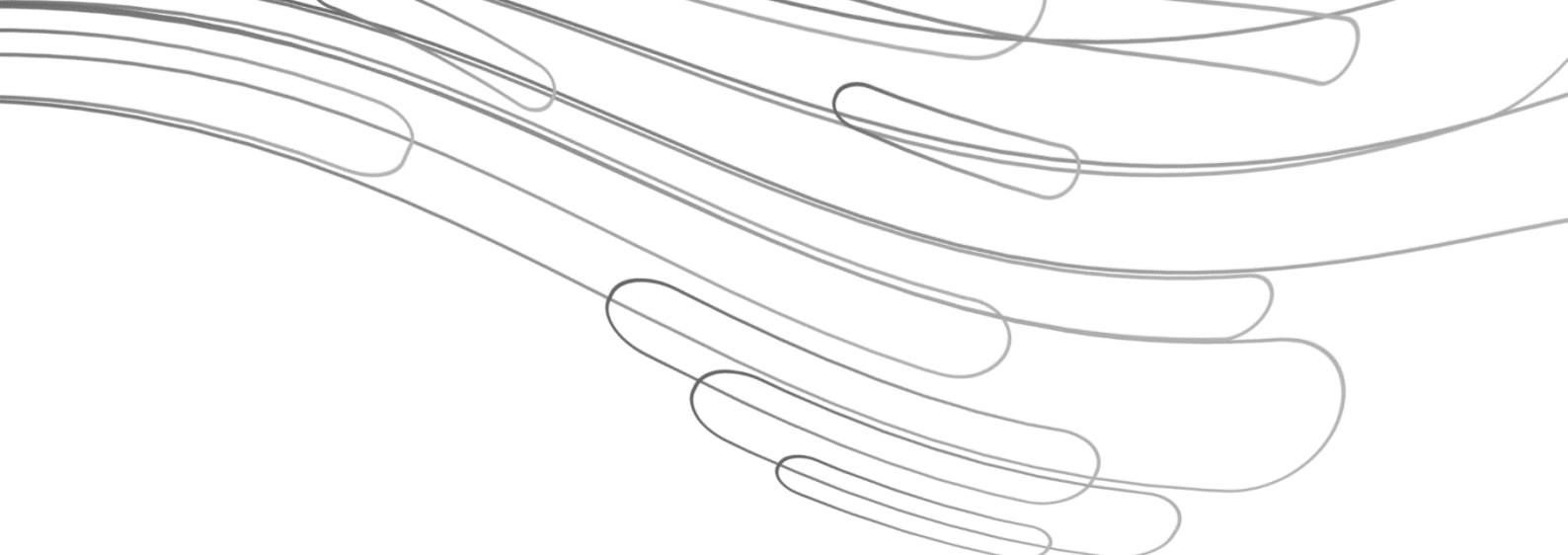
廖聪维

(北京大学深圳研究生院, 深圳, 518055, liaocw@pkusz.edu.cn)

摘要: 由于制造工艺成熟、大面积均匀性好, a-Si TFT 背板的 LCD 移动显示器仍然占据了一定的市场份额。虽然 a-Si TFT 的迁移率较低、可靠性较差, 但是通过动态电路技术, a-Si TFT 集成栅驱动电路仍然能够较好地驱动 TFT-LCD 显示。常规 TFT-LCD 显示用的 a-Si TFT 集成栅极驱动电路已经较为成熟, 但是面向触控-显示一体屏(in-cell)的栅极驱动电路设计还存在一些挑战。为了抑制显示与触摸之间的干扰现象, 时分驱动(TDM)是较有效的方法。于是, 栅极驱动电路应该提供具有触摸感应间隔的分组式扫描信号, 而不是传统的逐行扫描信号。

本文展示了一种新的 a-Si TFT 集成栅极驱动电路, 可用于时分型 in-cell 屏。触摸感应栅极驱动级的输入模块只增加了 1 个 TFT 和 1 个电容。所提出的栅极驱动电路对所有的 TFT 都没有长时间的正栅源应力, 这对延长电路的寿命至关重要。

关键字: TFT, gate driver, in-cell, touch



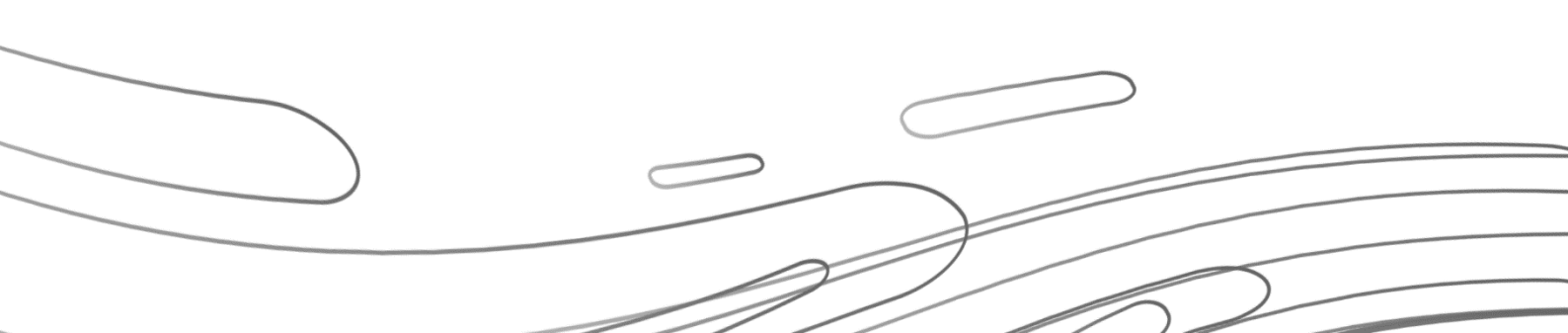
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第十章

显示材料与器件



“Insulator-Perovskite-Insulator” Architecture: A New Design Strategy for Highly Stable Perovskite Light-Emitting Diodes

YUAN Fang, ZHANG Lin, SHI Yifei, LI Jingrui, WU Zhaoxin*

(Key Laboratory for Physical Electronics and Devices of the Ministry of Education & Shaanxi Key Lab of Information Photonic Technique, School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049, China, zhaoxinwu@mail.xjtu.edu.cn)

Abstract: Hybrid halide perovskites have recently emerged as new promising semiconductors for light-emitting diodes benefited from their high photoluminescence quantum efficiency and good charge mobility. Near-infrared and green PeLED with external quantum efficiency over 20% have been reported so far. However, the poor device stability of PeLED remains a stumbling block for their practical applications^[1, 2].

In our work, a new design strategy namely “insulator–perovskite–insulator” (IPI) architecture, tailored to PeLED is introduced. We experimentally show that the IPI structure effectively induces charge carriers into perovskite crystals, blocks leakage currents via pinholes, and avoids exciton quenching simultaneously. Consequently, as for FAPbBr₃ and CsPbBr₃, compared with the control device, both current efficiency and lifetime of IPI-PeLED were obviously improved^[1]. Recently, combined with the IPI structure, the efficient carrier injection and recombination are achieved for blue PeLED, exhibiting a maximum luminance of 4015 cd/m² at 484 nm and the half-lifetime under continuous operation is more than 300 min^[3]. In addition, using cascade ZnS–ZnSe as electron transport layer, the as-optimized all-inorganic PeLED with the modified IPI structure exhibits a maximum luminance of 156155 cd/m² and possesses excellent stability with device lifetime over 255 h^[4]. The IPI structure significantly suppresses the electric-field-induced ion migrations of the perovskite layers, providing valuable insights into the device stability.

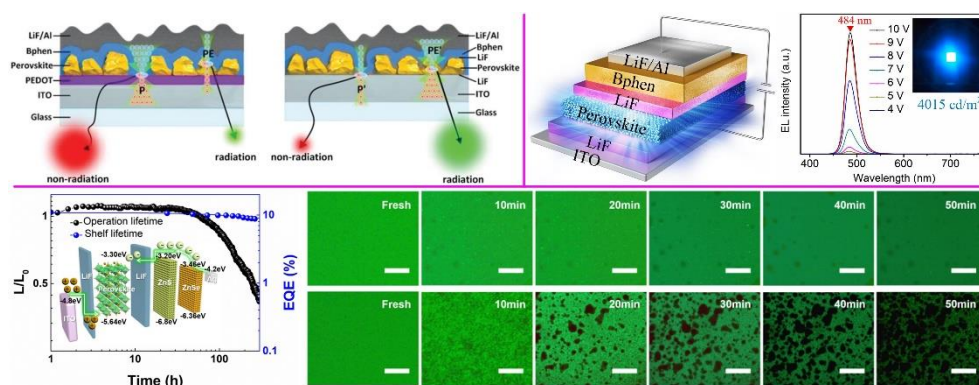


Figure 1. “Insulator-Perovskite-Insulator” (IPI)-structured PeLED.

In a word, the IPI architecture represents a novel design strategy for LED based on various perovskites with high efficiencies and stabilities. Therefore, IPI can be expected to be the general structure for PeLED, especially for improving device stability in future.

参考文献:

- [1] Shi YF, Wu W, Wu ZX*, et al. **Adv. Mater.** (2018), DOI: 10.1002/adma.201800251.
- [2] Yuan F, Xi J, Wu ZX*, et al. **Phys. Status Solidi RRL** (2018), DOI: 10.1002/pssr.201800090.
- [3] Yuan F, Wu ZX*, et al. **ACS Energy Lett.** (2020), DOI: 10.1021/acsenergylett.9b02562.
- [4] Zhang L, Wu ZX*, et al. **Adv. Function. Mater.** (2020), DOI 10.1002/adfm.202001834.

二维液晶材料及其在光电器件上的应用

沈田子

(北京航空航天大学, 北京, 100191, shentianzi@buaa.edu.cn)

摘要: 石墨烯作为二维材料中的明星, 它的发现与深入研究对半导体、新能源、新材料、生物科学等众多领域产生了巨大影响。本报告系统地介绍了石墨烯的氧化物, 氧化石墨烯作为液晶材料 (Graphene oxide-LC) 在透过型显示和全彩反射型显示两个方向的研究成果。当氧化石墨烯液晶用于透过型显示材料时它具有高科尔系数、易于交流电场驱动、开启电压小、光电响应迅速等诸多优异的光电物理特性。同时氧化石墨烯液晶也具有可控光子晶体结构的特点也可用于反射型显示器件的研究。实验发现随着氧化石墨烯液晶的浓度降低, 液晶光子晶体的反射波长会产生红移, 同时可观察到两个可视波长范围内的布拉格反射循环序列。进一步利用水平方向的交流电场可实现对氧化石墨烯液晶的光电器件在可视光波段内光的反射强度的控制。通过系列研究展示出氧化石墨烯具有优秀的光性能与应用潜力, 同时也为二维液晶材料在低功耗光电器件与显示器件进一步的研究与推广提供了参考与新思路。

关键字: 氧化石墨烯液晶, 低功耗偏光显示器件, 光子晶体结构

Electrical-optical of two-dimensional liquid crystal and it's applications

SHEN Tianzi

(Beihang University, Beijing, 100191, CHN, shentianzi@buaa.edu.cn)

Abstract: As a newly emerging advanced two-dimensional material, the discovery and in-depth research of graphene had a huge impact on many fields such as semiconductors, energy harvesting, and biological sciences, etc. This review systematically highlights the current research status of graphene oxide liquid crystal (GO-LC), applying to transmissive and reflective-mode liquid crystal display. In particular, an extremely large Kerr coefficient of graphene oxide liquid crystal contributed to fabricate low power, quick response, and easy switching of electro-optic devices. By applying horizontal fields, the structural color can be written and erased accordingly.

These results elucidate that graphene oxide liquid crystal has great potential in the electrical-optical device and provides a new possibility for two-dimension liquid crystal materials in actual applications.

Keywords: grapheme oxide liquid crystal, low power display device, photonic crystal structure

PX-3

使用快速热退火处理的铟镓锌氧化物半导体薄膜晶体管

胡诗彝, 潘章旭, 郭婵, 王建太, 龚岩芬, 庞超, 龚政

(广东省科学院半导体研究所, 广州, 516050, zheng_gong@gdisit.com)

摘要: 近年来, 随着 AMOLED 和 Micro-LED 等新型显示的迅猛发展, 薄膜晶体管 (Thin-Film Transistor, TFT) 作为重要的背板驱动技术, 仍具有重要的研究价值。氧化物 TFT 迁移率高, 而且电流开关比高、均匀性好、工艺简单、成本低, 因此被认为是最有潜力的 TFT 技术。

针对过去 a-IGZO TFT 的热处理工艺, 升温速度慢, 所需要的加热时间长, 低效率的缺点, 我们开发了一套完整的 a-IGZO TFTs 的快速热退火工艺 (Rapid Thermal Processing, RTP), 通过对退火温度, 时间, IGZO 薄膜厚度等相关影响因素的研究, 我们成功制备出高性能的 a-IGZO TFT 器件, 器件迁移率最高可达 $16.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, 阈值电压 1.4 V , 而退火时间仅需要 5 分钟, 具有很好的应用前景。

关键字: 氧化物半导体, 薄膜晶体管, 沟道厚度, 快速热退火

Research of electrical properties of a-IGZO TFTs using rapid thermal processing

HU Shibei, PANG Zhangxu, GUO Chan, WANG Jiantai, GONG Yanfen, PANG Chao, GONG Zheng

(Guangdong Institute of Semiconductor Industrial Technology, Guangzhou, 516050, CHN, zheng_gong@gdisit.com)

Abstract: Recently, with the rapid development of new displays such as AMOLED and Micro-LED, thin-film transistor, as an important backplane driving technology, still has significant research values. Oxide TFT, due to its high mobility, high $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$, good uniformity, and low cost, is considered as the most potential TFT technology.

Aiming at the shortcomings of the conventional a-IGZO TFT heat treatment process, such as slow heating speed, long heating time, and low efficiency, we have developed a complete set of a-IGZO TFTs rapid thermal annealing process. After the research of annealing temperature, time, film thickness, and other related factors, we have successfully fabricated a high-performance a-IGZO TFT device with a mobility up to $16.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ and a threshold voltage of 1.4 V , while the annealing time is only 5 minutes.

Keywords: oxide semiconductor, thin-film transistor, channel thickness, rapid thermal processing

有机超长室温磷光材料的力刺激发光响应行为

杨志涌

(中山大学, 广州, 510275, yangzhy29@mail.sysu.edu.cn)

摘要: 有机超长室温磷光材料具有寿命长达几秒的发光, 打破了长寿命磷光局限于无机材料的传统观念, 并且是一类刺激(特别是力刺激)发光响应材料, 具有很高的学术价值和广阔的应用前景。围绕该类材料, 我们系统研究了体系中长寿命三线态激子力致产生、力致转移和力致猝灭的过程; 并且报道了单组分材料力刺激下超长磷光开关、超长磷光/热活化延迟荧光转换、超长磷光变色、线性发光颜色调控等系列超长磷光响应行为。

关键字: 超长室温磷光, 力刺激发光响应, 三线态激子, 跃迁, 颜色调控, 开关

The mechano-responsive luminescence of organic materials with persistent room-temperature phosphorescence

YANG Zhiyong

(Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510275, CHN, yangzhy29@mail.sysu.edu.cn)

Abstract: The organic luminescent materials with persistent room-temperature phosphorescence (pRTP) possessed long-lived emission as long as several seconds, which broke down the conventional concept of long-lived luminescence only existed in inorganic materials. The organic pRTP materials exhibited stimuli-responsive luminescence, especially mechano-responsive luminescence. Focused on such attractive materials, we have systematically studied the transition process of the long-lived triplet excitons inside these materials when responded to external mechanical force, including mechano-induced, mechano-transferred, and mechano-quenched the triplet excitons. In addition, several mechano-responsive pRTP behaviors of single component organic materials have been reported, such as pRTP On/Off switching, pRTP/thermally activated delayed fluorescence switching, color tuning of pRTP, and linear tunable luminescence color.

Keywords: Persistent room-temperature phosphorescence, mechano-responsive luminescence, triplet excitons, transition, color tuning, switching

稀土掺杂金属氧化物薄膜晶体管研究

徐华、李民、徐苗、邹建华、陶洪、王磊

(广州新视界光电科技有限公司, 广州, 501730, xuhua@newvision-cn.com)

摘要: 本文研究了稀土掺杂氧化铟基材料作为薄膜晶体管的沟道层, 器件在光稳定性方面表现出了优异的特性。该薄膜晶体管器件在光照射下的响应非常弱, 而且在负偏压、光照条件下的稳定性有极大的提升。同时, 薄膜晶体管表现出了优异的 TFT 特性, 其迁移率达到 $30.4 \text{ cm}^2/\text{V}$ 、亚阈值摆幅仅为 0.12 V/decade 、电流开关比高达 10^9 。此外, 成功制备了采用该材料 TFT 器件作为驱动背板的 Mini-LED 显示屏, 展示了其在未来显示应用中的极大潜力。

关键字: 薄膜晶体管, 金属氧化物半导体, 稀土掺杂, 稳定性

A Study of Rare-earth Doped Metal Oxide Thin-film Transistors

XU Hua, LI Mian, XU Miao, ZOU Jianhua, TAO Hong, WANG Lei

(New Vision, Guangzhou, 501730, CHN, xuhua@newvision-cn.com)

Abstract: Rare-earth doped indium oxide-based materials have been employed as the channel layer of thin film transistors (TFTs). The TFTs exhibited a remarkable suppression of the light induced instability. A negligible photo-response and remarkable enhancement in negative gate bias stress under illumination (NIBS) were achieved in the Rare-earth doped TFTs. Meanwhile, the Rare-earth doped TFTs showed reasonable characteristics with a high field effect mobility of $30.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, SS value of 0.12 V/decade , and Ion/Ioff ratio of 10^9 . In addition, a prototype of Mini-LED display was successfully fabricated to demonstrate the potential of Rare-earth doped TFTs applied in future display.

Keywords: Thin-film transistors, Metal Oxide semiconductors, Rare Earth doping, stability

Self-aligned top gate TFTs with LnIZO as channel material

LI Min, XU Hua, XU Miao, ZOU Jianhua, TAO Hong, WANG Lei

(New Vision, Guangzhou, 501730, CHN, 05limin@163.com)

Abstract: In this study, we propose an amorphous rare-earth doped indium zinc oxide LnIZO thin film transistors (TFTs) with self-aligned top-gate structure. Highly-conductive source/drain (SD) regions were realized with a proper plasma treatment, and the film resistivity could be reduced to $3.5 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$. This homojunctioned structure constitutes a simple and efficient method to eliminate the contact resistance between the LnIZO channel and S/D, and insure a TFT with less short-channel characteristic and good backplane uniformity. Moreover, the yielding self-aligned TFT also showed good stability both over environmental storage and under thermal or light electrical stress. These results indicate self-aligned InIZO TFTs with a homojunctioned structure is a promising candidate for active matrix backplanes.

Keywords: InIZO, thin-film transistors, plasma treatment, short-channel, uniformity, stability

基于含聚合物功能性墨水体系的氧化物薄膜印刷制备

宁洪龙, 朱镇南, 周尚雄, 梁志豪, 杨跃鑫, 谢俊安, 姚日晖*, 彭俊彪

(华南理工大学, 广州, 510640, ninghl@scut.edu.cn)

摘要: 喷墨打印由于非接触、直接图形化等显著优势, 近年来获得学界与业界的颇多关注。然而喷墨打印也存在诸如会严重影响薄膜器件性能的形貌不均匀问题。印刷形貌问题是由墨水溶剂蒸发不均匀导致的毛细流动引起的, 从材料体系入手能够有效解决该问题, 避免额外设备成本的增加。团队设计了一种含聚合物墨水体系来改善印刷氧化物薄膜的均匀性。打印制备的氧化锆薄膜具有良好的均匀性和绝缘性能, 场强为 1 MV/cm 时漏电流密度为 5.4×10^{-6} A/cm², 相对介电常数为 10。

关键字: 喷墨打印, 绝缘氧化物, 印刷均匀性

Polymer-doped Functional Metal Oxide Ink Systems for Drop-On-Demand Printed Dielectric Layer

NING Honglong, ZHU Zhennan, ZHOU Shangxiong, LIANG Zhihao, YANG Yuexin, XIE Junan, YAO Rihui, PENG Junbiao

(South China University of Technology, Guangzhou, 510640, CHN, ninghl@scut.edu.cn)

Abstract: Drop-on-demand printing is a non-contact, directing patterning which has attracted wide attention. However, printing technology faces considerable difficulties such as low printing uniformity. The optimization of ink properties is one of the most effective strategies which can significantly avoid the increase of equipment cost. We developed a polymer-doped functional ink system to optimize the printing uniformity. As a result, printed ZrOx films with high uniformity and high electrical performance were fabricated, which afforded a leakage current density of 5.4×10^{-6} A/cm² at 1 MV/cm and a dielectric constant of 10.

Keywords: Inkjet printing, dielectric metal oxide, printing uniformity

基于电沉积防护的银纳米线柔性透明电极研究

宁洪龙, 李志航, 陈俊龙, 姚日晖*, 彭俊彪

(华南理工大学, 广州, 510640, ninghl@scut.edu.cn)

摘要: 以溶液加工成膜的银纳米线导电膜, 可以实现优于 ITO 的光电性能, 能够兼容柔性显示所需的低温制备工艺, 在 20 000 次弯折测试中实现<15%的阻抗变化, 然而银纳米线仍面临着机械、化学、电与热稳定性差等问题。本文采用电沉积法, 通过在银纳米线表面选择性沉积保护层, 而对不导电的窗口区域不产生影响, 在保持透过率几乎不变的情况下, 大大提升了银纳米线环境耐性, 并进一步加强了节点的结合, 降低了薄膜阻抗, 极大提升了银纳米线的实用性。

关键字: 银纳米线, 电沉积, 柔性透明电极, 稳定性

Polymer-doped Functional Metal Oxide Ink Systems for Drop-On-Demand Printed Dielectric Layer

NING Honglong, LI Zhihang, CHEN Junlong, YAO Rihui, PENG Junbiao

(South China University of Technology, Guangzhou, 510640, CHN, ninghl@scut.edu.cn)

Abstract: Silver nanowires (AgNWs) conductive film fabricated by solution method can achieve better photoelectric performance than ITO, compatible with the low-temperature preparation process required for flexible display, and achieve <15% impedance change after bending for 20 000 times. However, AgNWs still face problems of poor mechanical, chemical, electrical, and thermal stability. In this paper, the electrodeposition method was used to selectively deposit protective layer on the surface of the silver nanowire without affecting the non-conductive area. While the transmittance was kept almost unchanged, the environmental resistance of the silver nanowire is improved obviously. Furthermore, the combination between AgNWs is further strengthened, and the film impedance is reduced, which greatly improved the practicality of AgNWs in flexible transparent electrode.

Keywords: Silver nanowires, electrodeposition, flexible transparent electrode, stability

溶液法氧化锆铝绝缘介电材料和器件研究

梁志豪, 姚日晖, 周尚雄, 符晓, 梁宏富, 陈俊龙, 张观广, 宁洪龙*, 彭俊彪
(高分子光电材料与器件研究所, 发光材料与器件国家重点实验室, 材料科学与工程学院, 华南理工大学, 广州, 510640, 3306665269@qq.com)

摘要: 薄膜晶体管是显示屏重要的控制元件, 薄膜晶体管性能直接影响了显示器件的质量, 而基于溶液法制备的非晶金属氧化物绝缘薄膜有着高介电常数和高透过率的优良性能, 且相比于市场主流的真空制备法, 有着成本低廉和工艺简单等优点, 是目前薄膜晶体管发展的重要方向^[1-4]。

本论文通过溶液法制备了氧化锆铝混合薄膜绝缘层, 以五水合硝酸锆 ($\text{Zr}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 和九水合硝酸铝 ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 作为溶质, 乙二醇单甲醚作为溶剂制备前驱体, 通过 DSC-TG 的物相组成分析, 表面张力与粘度等分析, 发现硝酸铝的加入对前驱体的蒸发温度和表面能影响较大。采用 XRD、AFM 和 UV 光谱仪对高温退火的绝缘层薄膜进行分析, 确定了薄膜的优化工艺参数, 并对衬底进行 Plasma 处理, 优化前驱体的旋涂铺展, 在此基础上制备 MIM 器件, 发现氧化锆铝混合薄膜结合了氧化锆的高介电和氧化铝的低漏电, 且退火温度提高, 薄膜性能会有一定的提升。由实验结果可得, 在各个条件下制备的绝缘层薄膜的透过率均在 90% 以上, 且在 500℃ 退火条件下制备了介电常数高达 33 的绝缘层薄膜, 并结合 XPS 分析探究了锆铝混合前驱体与退火温度对薄膜性能影响的内在机制。

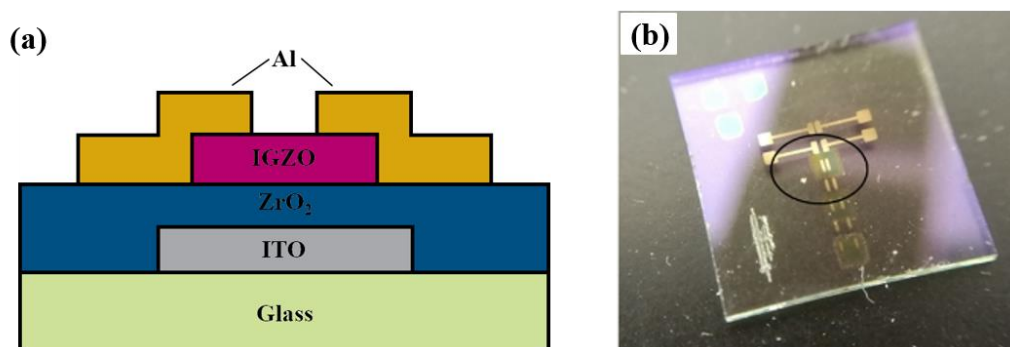


图 1: (a) TFT 结构示意图; (b) TFT 样品照片

最后溶液法制备的氧化锆铝混合绝缘层的 IGZO-TFT, 在 500℃ 退火条件下, 氧化锆铝混合比例为 3:1 时, 得到 $14.89\text{cm}^2/\text{Vs}$ 的迁移率、0.11V 的阈值电压和 6.1×10^6 的开关比的 TFT 器件, 拥有良好的电学性能、高饱和迁移率和开关比。

关键字: 溶液法, 氧化锆铝混合薄膜, 金属氧化物薄膜晶体管

Study on insulating dielectric materials and devices of zirconia aluminum by solution method

LIANG Zhihao, YAO Rihui, ZHOU Shangxiong, FU Xiao, LIANG Hongfu, CHEN Junlong, ZHANG Guanguang, NING Honglong*, PENG Junbiao

Abstract: The amorphous metal oxide insulating film prepared by solution method has excellent properties of high dielectric constant and high transmittance which the film transistor based on have a better electrical performance. Moreover, compared with the vacuum preparation method which is the mainstream in the market, the solution method has advantages of low cost and simple process. In this paper, zirconia aluminum oxide films were prepared by solution method. Zirconium nitrate pentahydrate ($\text{Zr}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) and aluminum nitrate 9-hydrate ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) were used as solute and ethylene glycol monomethyl ether was used as solvent to prepare precursor. Carrying out XRD, AFM and UV spectrometer measurements on the films after high temperature annealing, the optimization of process parameters is determined. On the basis of the preparation of the MIM, it's found that aluminum zirconium oxide hybrid film combines the high dielectric of zirconia and low leakage of alumina, and at 500 °C annealing, the dielectric constant of the films can reach up to 33. Finally, based on zirconium oxide aluminum prepared by solution process, the IGZO – TFT device, under the condition of 500 °C annealing, aluminum zirconium oxide mixture ratio 3:1, attain a performance of $14.89 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ mobility, 0.11 V threshold voltage of and 6.1×10^6 switch.

Key Words: Solution Process, Zirconia Aluminum Oxide Films, Metal Oxide Thin Film Transistors

致谢:

国家自然科学基金(51771074)、广东省自然科学基金资助项目(2017A030310028)、广东省科技计划项目(2016B090907001)和广东省重点领域研发计划(2019B010934001)、广州市科技计划项目(201904010344)和中央高校基本科研业务费专项资金(D2191610)、2019 年广东大学生科技创新培育专项资金“攀登计划”专项资金 (pdjh2019a0028 和 pdjh2019b0041)、国家级大学生创新创业训练计划(201910561005 和 201910561007)、华南理工大学百步梯攀登计划研究项目(j2tw201902475 和 j2tw201902203)资助。

参考文献:

- [1] Zhu Zhennan, Zhang Jianhua, Wang Yiping at el, A polymer-doped ink system for threshold voltage modulation in printed metal oxide thin film transistor, The Journal of Physical Chemistry Letters, 2019, 10, 3415-3419.
- [2] Wei Cai, Honglong Ning, Zhennan Zhu at el, Investigation of direct inkjet-printed versus spin-coated ZrO_2 for sputter IGZO thin film transistor, Nanoscale Research Letters, 2019, 14(80), 1-10.
- [3] Zhu Zhennan, Zhang Jianhua, Zhou Zhongwei at el, A simple, low cost ink system for Drop-On-Demand printing high performance metal oxide dielectric film at low temperature, ACS Applied Materials & Interfaces, 2019, 11 (5), 5193–5199
- [4] Wei Jinglin, Fang Zhiqiang, Peng Junbiao at el, High-performance spin-coated aluminum oxide dielectric fabricated by a simple oxygen plasma-treatment process, Journal of Physics D: Applied Physics, 2018, 51(36), 365101.

室温制备柔性全透明 IGZO-TFT

张旭、宁洪龙、章红科、李锦雄、叶倩楠、侯丹清、符晓、陈俊龙、姚日晖*、彭俊彪
(高分子光电材料与器件研究所, 发光材料与器件国家重点实验室, 材料科学与工程学
院, 华南理工大学, 广州, 510640, 3080537440@qq.com)

摘要: 随着柔性平板显示和可穿戴设备的飞速发展, 作为其重要构成的柔性薄膜晶体管面临新的挑战: 高性能、低功耗、低温制备成为柔性 TFT 研究的重点。本研究采用全透明 TFT 设计降低功耗; 引入 IGZO/超薄 Al_2O_3 叠层结构, 促进界面自由电荷积累, 增强室温制备 IGZO 的电学性能; 通过优化 AZO 透明电极制备工艺, 降低界面缺陷、实现欧姆接触, 提升 TFT 性能。成功在室温下制备柔性全透明 IGZO-TFT, 器件具备优异的电学性能: 迁移率达 $7.9 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 、开关比达 4.58×10^6 ; 优异透明性 (87.8%); 良好的偏压稳定性 (NBS/ $\pm 10\text{V}$: $\Delta V_{\text{onmax}} = -0.9 \text{ V}$) 和应力稳定性 (曲率半径 20 mm: $\mu = 5.61 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$; $I_{\text{on}}/I_{\text{off}} = 3.05 \times 10^5$)。
关键词: 薄膜晶体管, 柔性, 全透明, 室温

**Transparent flexible thin film transistors fabricated at room
temperature**

ZHANG Xu, NING Honglong, ZHANG Hongke, LI Jingxiong, YE Qiannan, HOU Danqing, FU Xiao,
CHEN Junlong, YAO Rihui, PENG Junbiao
(Institute of Polymer Optoelectronic Materials and Devices, State Key Laboratory of Luminescent
Materials and Devices, South China University of Technology, Guangzhou, 510640, CHN,
3080537440@qq.com)

Abstract: With the rapid development of flexible flat-panel displays and wearable devices, flexible thin-film transistors, as their important components, face new challenges: high performance, low power consumption, and low-temperature fabrication have become the focus of flexible TFT research. In this paper, a fully transparent TFT design is used to reduce power consumption; an IGZO/ultra-thin Al_2O_3 laminate structure is introduced to promote interface free charge accumulation and enhance the electrical properties of IGZO prepared at room temperature; By optimizing the preparation process of AZO transparent electrodes, interface defects are reduced and ohmic contact is achieved, so as to improve the TFT performance. We finally succeeded in fabricating flexible fully transparent IGZO-TFT at room temperature. The device possesses excellent electrical properties: mobility of $7.9 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$ ratio of 4.58×10^6 ; excellent transparency (87.8%); good stability under NBS (NBS/ $\pm 10\text{V}$: $\Delta V_{\text{onmax}} = -0.9 \text{ V}$) and good stability under bending stress (mobility of $5.6 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$ ratio of 3.05×10^5 at a bending radius of 20 mm).

Key words: Thin film transistor, Flexible, Fully transparent, Room temperature

PX-11

喷墨打印制备平整、绿色纳米纤维素绝缘材料及其在 IGZO-TFT 中的应用
周尚雄, 张建华, 郭晓萍, 宁洪龙*, 郭栋, 姚日晖*, 朱镇南, 梁志豪, 方志强*, 彭俊
彪

(华南理工大学, 广州, 510640, shangxiongzhou@163.com)

摘要: 我们通过喷墨印刷为高性能 IGZO TFT 提供可生物降解且均匀的纤维素介电膜。发现在高速剪切后, 所获得的 CNF 油墨表现出凝胶状行为, 并且粘度迅速升高。基于此特性, 我们进一步添加了表面活性剂来调节内部流动, 然后获得均匀的印刷纤维素薄膜。最后, 使用印刷的纳米纤维素薄膜作为电介质, 制备了迁移率大于 $10 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 且开/关电流比大于 5×10^4 的 IGZO-TFT。

关键字: 纳米纤维素, 介电材料, 喷墨印刷

Inkjet printing of homogeneous and green cellulose nanofibrils dielectric for high performance IGZO TFTs

ZHOU Shangxiong, ZHANG Jianhua, GUO Xiaoping, NING Honglong, GUO Dong, YAO Rihui,
ZHU Zhennan, LIANG Zhihao, FANG Zhiqiang, PENG Junbiao

(South China University of Technology, Guangzhou, 510640, CHN, shangxiongzhou@163.com)

Abstract: We present biodegradable and uniform cellulose dielectric films for high performance IGZO TFTs through inkjet printing. It was found that the obtained CNF ink exhibited a gel-like behavior with a rapidly rising viscosity after high-speed shearing. Based on this property, we further added surfactants to regulate the internal flow, and then obtained the homogeneous morphology. Finally, IGZO-TFTs with a mobility of more than $10 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ and an on/off current ratio of higher than 5×10^4 were fabricated using printed CNF films as a dielectric.

Key words: Cellulose nanofibril films, Dielectri, Inkjet printing

二维层状二硫化钼的研究进展

宁洪龙, 袁炜健, 卢宽宽, 张旭, 王一平, 邱天, 姚日晖, 彭俊彪

(华南理工大学, 广州, 510640, ninghl@scut.edu.cn)

摘要: 二维层状二硫化钼, 与石墨烯具有相似的结构, 因有着间隙可调、良好的稳定性和比表面积大的优点, 成为新一代电子设备和光电设备的功能材料。本文综述了二维层状二硫化钼的材料最新研究进展, 包括晶体结构、制备方法、光电性质和应用领域。

关键字: 二硫化钼(MoS₂), 二维层状;结构性质, 材料制备, 应用领域

Research progress of two-dimensional layered molybdenum disulfide

NING Honglong, YUAN Weijian, LU Kuankuan, ZHANG Xu, WANG Yiping, QIU Tian, YAO Rihui,
PENG Junbiao

(South China University of Technology, Guangzhou, 510640, CHN, ninghl@scut.edu.cn)

Abstract: 2-dimensional layered molybdenum disulfide (MoS₂) shows analogous structure to graphene, becoming a new functional material in electronic devices and optoelectronic devices due to its advantages, such as adjustable energy gap, good stability and large specific surface area. This paper reviews the latest research advancement of 2-dimensional layered MoS₂, concluding crystal structure, fabrication, photoelectric properties and applications.

Key words: molybdenum disulfide (MoS₂), 2-dimensional layered, Structure and properties, applications

脉冲激光沉积与磁控溅射法制备 P 型锡氧薄膜的性能对比

黎群杰, 姚日晖, 袁炜健, 张旭, 宁洪龙*, 彭俊彪

(华南理工大学, 广州, 510640, 313830849@qq.com)

摘要: p 型氧化物半导体材料的缺失严重阻碍了透明显示电子学的发展, 锡氧化物是目前公认的最有前景的 p 型氧化物半导体材料之一。本研究使用脉冲激光沉积法和磁控溅射法制备 p 型锡氧薄膜, 通过 x 射线衍射、x 射线光电子能谱研究了薄膜的微观结构, 使用紫外-可见光光谱研究薄膜的带隙, 通过扫描电子显微镜、原子力显微镜观察薄膜的表面形貌, 使用霍尔测试研究薄膜的电学性能, 比较了两种工艺制备的 p 型锡氧薄膜的性能。

关键字: P 型氧化物半导体, 锡氧薄膜, 脉冲激光沉积, 磁控溅射

**Performance comparison of P-type tin oxide film prepared by PLD
and RFMS**

LI Qunjie, YAO Rihui, YUAN Weijian, ZHANG Xu, NING Honglong, PENG Junbiao

(South China University of Technology, Guangzhou, 510640, CHN, 313830849@qq.com)

Abstract: The lack of p-type oxide semiconductor materials has seriously hindered the development of transparent display electronics. Tin oxide is currently recognized as one of the most promising p-type oxide semiconductor materials. This paper studies the use of pulsed laser deposition and magnetron sputtering to prepare p-type tin oxide films. The microstructure of the film is studied by X-ray diffraction and X-ray photoelectron spectroscopy. The band gap of the film is studied by ultraviolet-visible light spectroscopy. Scanning electron microscope and atomic force microscope were used to observe the surface morphology of the film. Hall test was used to study the electrical properties of the film. The performance of the p-type tin oxide film prepared by the two processes was compared.

Key words: p-type oxide semiconductor, tin oxide, pulse laser deposition, magnetron sputtering

有机薄膜晶体管中的接触电阻与少子注入研究

胡袁源

(湖南大学, 长沙, 410082, yhu@hnu.edu.cn)

摘要: 有机薄膜晶体管 (OTFT) 中通常存在着较大的接触电阻, 一方面降低了器件性能, 另一方面使得经典半导体器件理论不能准确描述 OTFT 的电学特性。此外, 由于有机半导体本质上是双极性的, 在一定的偏压条件下会出现少子从漏极注入到半导体中并传输的现象。因此, 理解接触电阻和少子注入对于 OTFT 器件电学特性的影响及其作用机制是重要的科学问题, 对于改善器件性能、正确认识 OTFT 的电学特性有重要意义。针对上述问题, 我们利用开尔文扫描探针显微镜 (SKPM) 系统地研究了 OTFT 中的电荷注入物理, 从实验上阐明了接触电阻和少子注入对 OTFT 器件性能的影响。并研究了利用有机半导体掺杂技术降低 OTFT 中的接触电阻。

关键字: 有机薄膜晶体管, 接触电阻, 少子注入

**Studies on Contact Resistance and Injection of Minority Carriers in
Organic Thin-Film Transistors**

HU Yuanyuan

(Hunan University, Changsha, 410082, CHN, yhu@hnu.edu.cn)

Abstract: Generally, there is significant contact resistance in OTFTs, which not only degrades device performance but also bring difficulties in describing the device with classical theories. In addition, injection of minority carriers may occur in OTFTs since organic semiconductors are ambipolar in nature. Such contact resistance and minority carrier injection can have profound effect on the electrical characteristics of OTFTs. Here we systematically studied the charge injection physics in OTFTs using SKPM, and explored doping techniques for lowering contact resistance in OTFTs.

Key words: OTFTs, tin oxide, Contact resistance, Injection of Minority Carriers

用于有机光电器件的界面材料研究

胡志诚

(华南理工大学, 广州, 510640, scut_hzc@126.com)

摘要: 有机光电器件的界面调控对于其光电性能至关重要。我们发展了系列具有自掺杂能力的水醇溶共轭聚合物用于有机光电器件的界面调控。研究发现, 通过对阴离子和主链能级调控的方法能够实现对于水醇溶共轭聚合物的掺杂行为, 光电导性能以及光电性能的有序调控。这一类水醇溶共轭聚合物能够改善有机太阳电池等光电器件的界面电子传输和收集, 提高光电转换效率。

关键字: 有机光电器件, 界面材料, 界面调控

Study of interfacial materials for organic opto-electronic devices

HU Zhicheng

(South China University of Technology, Guangzhou, 510640, CHN, scut_hzc@126.com)

Abstract: Interface modification of great importance to the performance of organic opto-electronic devices. We developed a series of water/alcohol soluble conjugated polymers with self-doping behaviors for interface modification of organic opto-electronic devices. It was found that the doping behavior, photoconductivity and electronic properties of these polymers can be tuned via changing anions and regulating energy level of backbones. These polymers can improve the electron transporting and collection at the interface of organic solar cells, resulting in improved power conversion efficiency.

Key words: organic opto-electronic devices, interfacial materials, interface engineering

光照和偏压条件对非晶氧化铟锌薄膜晶体管光电响应的影响

辛彧, 范昌辉, 周晓梁, 张盛东

(北京大学, 深圳, 518055, xinyu_2018@pku.edu.cn)

摘要: 研究了非晶氧化铟锌 (a-IZO) 薄膜晶体管在不同波长和不同光功率下的光响应。实验表明, 随着入射光波长减小, 光电流增加。随着光功率密度增加, 光电流与光功率密度符合 $I_{ph} \propto P^\gamma$ 关系, 并且 $\gamma=2.165$ 大于 1。同时研究了源漏电压对光电流动态响应的影响, 随着源漏电压的升高, 光电流增长的速度越快, 并且最后达到的光电流越大, 光电流与源漏电压存在着良好的线性关系。

关键字: 薄膜晶体管, 非晶氧化铟锌, 光电特性, 可见光探测

Influence of Illumination and bias conditions on the photoelectric response of Amorphous InZnO Thin Film Transistors

XIN Yu, FAN ChangHui, ZHOU XiaoLiang, ZHANG ShengDong

(Peking University, Shenzhen, 518055, CHN, xinyu_2018@pku.edu.cn)

Abstract: The optical response of amorphous indium zinc oxide thin film transistors under different wavelengths and different optical powers was investigated. The devices show that as the wavelength of incident light decreases, the photocurrent increases. The photocurrent (I_{ph}) is shown to be proportional to P^γ , where $\gamma=2.165$. In addition, the influence of the source-drain voltage on the dynamic response of the photocurrent was illustrated as well. With the increase of the source-drain voltage, the faster I_{ph} increases, and the final I_{ph} is larger. There is a good linear relationship between the I_{ph} and the source-drain voltage.

Keywords: thin film transistors, amorphous a-InZnO, photo-electrical properties, visible light detection

1 引言

近年来, 非晶金属氧化物薄膜晶体管引起了广泛的关注^[1-3], 非晶金属氧化物薄膜晶体管 (AOS TFTs) 具有迁移率高, 大面积均匀性好, 工艺温度低等优势^[4]被认为是下一代显示面板的主流技术。除了用于驱动有源矩阵液晶显示器 (AMLCD) 和有源矩阵有机发光二极管 (AMOLED) 显示器的背板技术外, AOS TFTs 还因其对蓝光和紫外线(UV)光的高光敏性而被用作光电探测器和成像仪^[5]。非晶金属氧化物薄膜晶体管具有波长选择性, 光生载流子寿命长, 响应度高等优势, 因此在光电领域也有很大的应用潜力。非晶 InZnO 因为其具有较窄的带隙能 E_g (~2.9 eV) 和较高的氧空位(V_o)浓度($\sim 10^{20} \text{ cm}^{-3} \text{ eV}^{-1}$) 从而成为可见光探测的主要材料^[6], 而底栅交错型非晶氧化铟锌薄膜晶体管 (a-IZO TFT) 是可见光光电探测研究中常用的结构。在光照条件下, a-IZO 中的中性氧空位 V_o 会发生电离, 失去两个电子变成 V_o^{2+} , 从而产生光生载流子, 较高的中性氧空位 V_o 意味着 a-IZO 具有较高的光响应。

本文主要研究非晶氧化铟锌 (a-IZO) 作为沟道材料, 底栅交错型 TFTs 的光电特性。文章对底栅交错型 a-IZO TFTs 器件在不同波长, 不同光功率密度条件下的光电流和响应度进行了研究, 同时对漏端电压的大小对光电流的影响也进行了探究。

2 实验过程

文章中所用的器件为底栅交错型 a-IZO TFTs，其横截面积如图 1 所示。制备工艺如下：首先，在室温下通过直流（DC）溅射生长 150 nm 厚的金属 Mo 作为底栅电极，溅射功率 120 W，溅射气压为 0.36 Pa，氩氧比为 50/0，并对底栅电极采用湿法刻蚀进行图形化。然后，采用等离子增强型化学气相沉积（PECVD）生长 200nm 厚的二氧化硅（SiO₂）作为栅绝缘层，生长温度为 300 °C，反应气体 SiH₄/N₂O=20/80 sccm，随后，在室温下通过直流（DC）溅射生长 40 nm 厚的 a-IZO（In: Zn=1:1）作为有源层，溅射功率 100 W，溅射气压为 0.44 Pa，氩氧比为 20/30 sccm，并通过稀盐酸（盐酸：水=1:200）湿法刻蚀对有源层进行图形化。之后，在在室温下通过直流（DC）溅射生长 60nm 厚的 ITO 层作为源漏电极，溅射功率 100 W，溅射气压为 0.36 Pa，氩氧比为 50/0，通过剥离方式对源漏电极进行图形化。通过干法刻蚀（RIE）对底部栅电极进行开孔，反应气体为 CF₄ 和 O₂。最后在 300 °C 条件下氧气（O₂）退火 1.5h。

本实验中均采用 Agilent B1500 半导体参数分析仪在室温下分析 TFT 器件的光电特性，光源采用 300 毫米焦距单色仪通过过滤附加氙弧灯的入射光产生 200-1200 nm 单色光。入射的单色光功率通过高灵敏度 Si 光电探测器（LE-LPM-10AP）进行测量。

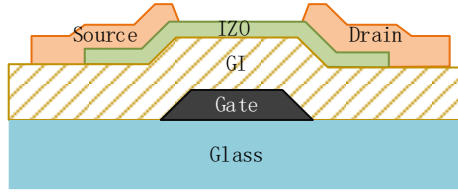


图 1 底栅交错型 a-IZO TFT 结构的截面示意图

Figure 1. The schematic cross section view of the fabricated inverted staggered bottom gate a-IZO TFT structure.

3 实验结果与讨论

图 2 给出了底栅交错型 a-IZO TFT 器件的转移特性曲线，提取基本电学参数可得器件阈值电压 $V_{th} = -1.13$ V，饱和迁移率为 $17.27 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ，亚阈值摆幅 $SS = 0.39$ V/dec，可以看出器件的阈值电压接近 0V，器件特性正常，满足实际需求。

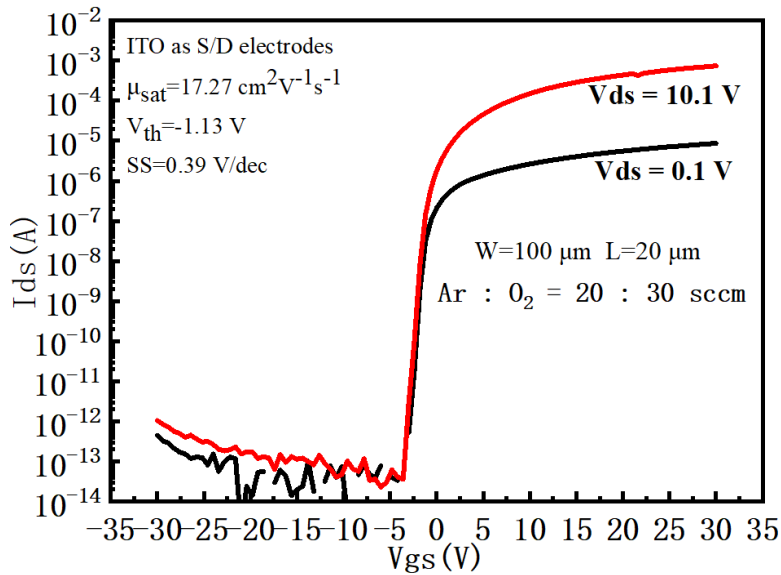


图 2 底栅交错型 a-IZO TFT 的转移特性

Figure 2. The typical transfer characteristics of the fabricated a-IZO TFT

图 3 给出了 $V_{ds}=10\text{ V}$ 时器件在黑暗和不同波长光照下的转移特性曲线，采用反扫的方式，从 $V_{gs}=30\text{ V}$ 到 $V_{gs}=-30\text{ V}$ 扫描。可以看出，器件对于波长 $\lambda < 450\text{ nm}$ 的光均有较大的响应，并且在光功率密度为 $P = 350\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 保持不变的条件下，随着波长（ λ ）的逐渐变小，光生电流增加，这是由于波长越短，吸收系数越大，可以产生更多的光生载流子。光响应曲线产生轻微上翘可能是由于器件未钝化，背界面与空气中的水汽吸附和氧气解吸附的共同作用^[7-8]所导致的。

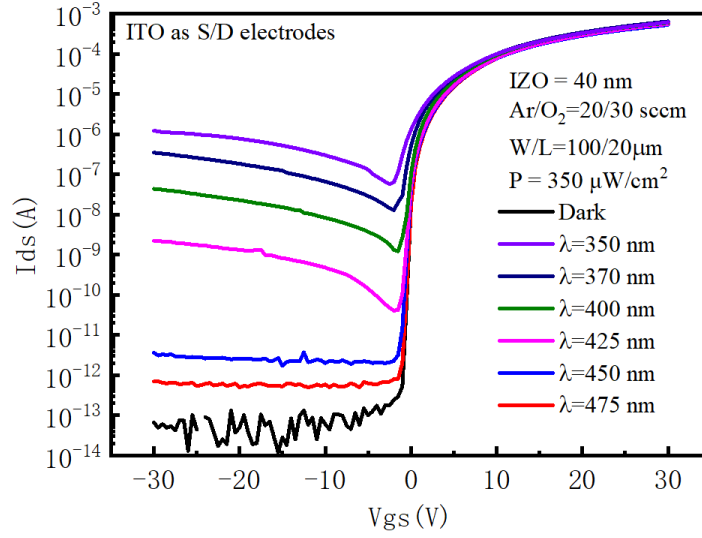


图 3 黑暗下和不同波长下器件的转移特性

Figure 3. The transfer characteristics of a-IZO TFTs with dark condition and illumination with different wavelength ranging from 350 nm to 475 nm.

光电探测中一个重要的参数为动态范围。是描述所能够测量到的最强的信号与最弱的信号的比值。对于常规的光电二极管和光电导器件来说，在光强较小时，光电流（ I_{ph} ）随光功率（ P ）呈线性关系，当光强较大时，光电流随光功率逐渐趋于饱和。因此探测器对强度较大的光无法分辨，导致了可探测到的最强信号是有限的。光电流越容易达到饱和，动态范围越小。要得到光电器件的动态范围，就需要知道其光电流-光功率关系。图 4 给出了黑暗下和不同光功率密度条件下的转移特性曲线，可以看出，光功率密度越大，光电流越高，并且呈现趋于饱和的变化。

为了更直观的看出光电流和光功率密度直接的关系，从图 4 中提取出 $V_{gs}=-20\text{ V}$ ， $V_{ds}=10\text{ V}$ 时的光电流，并根据光电流求出响应度并画出图 5。

响应度（ R ）为光电流与光功率密度之比，体现了材料的光电转换能力，其公式为^[9]：

$$R = \frac{I_{ph} - I_{dark}}{P \times W \times L}$$

其中 I_{ph} 为光电流， I_{dark} 为暗电流， P 为光功率密度， W 和 L 分别为沟道的宽度和长度。

图 5 中 X 和 Y 轴均取对数坐标，并对曲线进行拟合，可以看出曲线都很好的符合 $I_{ph} \propto P^\gamma$ 关系^[10]，其中 $\gamma=2.165$ ，在非晶金属氧化物半导体中 γ 的值大于 1，是由于源端势垒降低效应（SBL）^[11-12]，光照下，中性氧空位不断的电离产生 V_o^{2+} ，在源端积累，从而使得源端势垒降低，因此光电流随光功率的增加，增长速度加快。

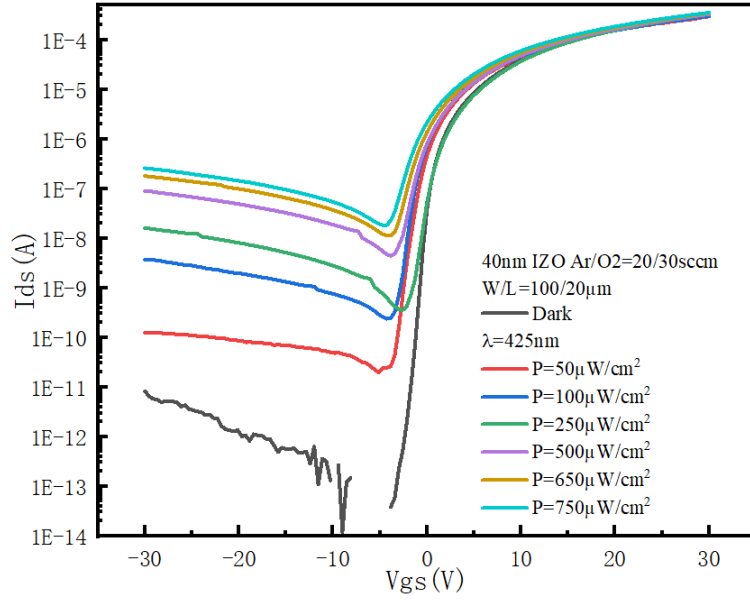


图 4 黑暗下和不同光功率密度下器件的转移特性

Figure 4. The transfer characteristics of a-IZO TFTs with dark condition and illumination with different light power density.

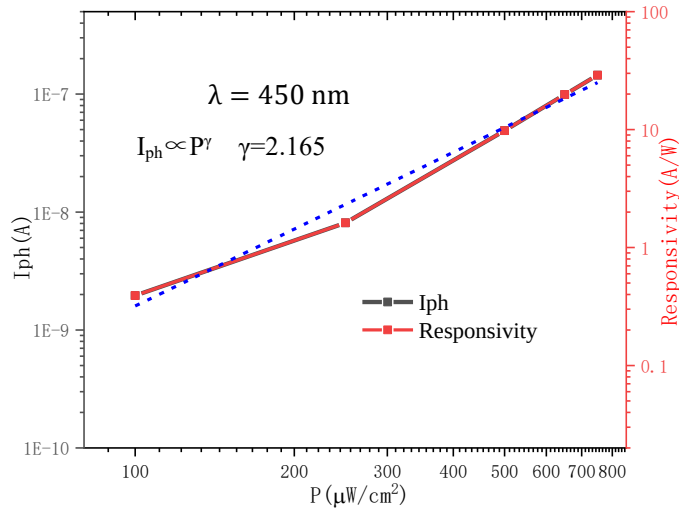


图 5 光电流/响应度与光功率密度的关系

Figure 5. Relationship between photocurrent/responsivity and light power density.

图 6 (a) 给出了波长为 400 nm，光功率密度为 350μW/cm²的光照下光生电流在不同源漏电压下随光照时间的动态变化，从图中可以看出，随着源漏电压的增加，光电流在逐渐增加，并且在开始极短时间内可以看出，源漏电压越大，光电流上升的速度越快。图 6 (b) 提取了在 t=5.9s 时光电流与源漏电压的关系，可以看出，在光照时间相同的情况下，光电流与源漏电压存在很好的线性关系。

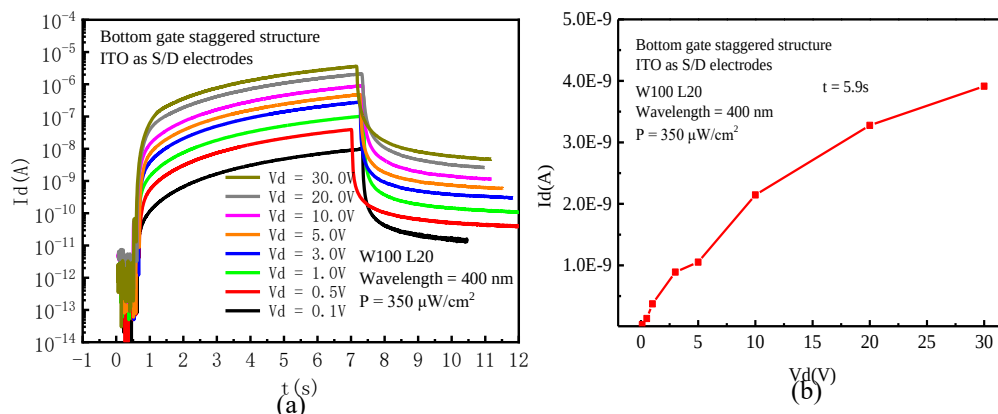


图6 (a) 在不同源漏电压下, 光电流随时间的动态变化; (b) 在 $t=5.9s$ 时提取出的光电流与源漏电压的关系

Figure 6. (a) The dynamic change of photocurrent with time under different V_{ds} ; (b) The relationship between the photocurrent and the source-drain voltage extracted at $t=5.9s$.

4 结束语

综上所述, 文章研究了利用 DC 磁控溅射生长的 a-IZO 薄膜作为沟道层制作的 a-IZO TFTs 的光电特性。研究了不同波长不同功率下的光响应, 以及光响应与光功率存在的关系, 随着波长的减小和光功率的增加, 光电流和响应度都增加。研究了不同源漏电压下光电流随时间的动态变化, 可以看到源漏电压越大, 光电流增长的速度越快, 并且最后达到的光电流越大, 光电流与源漏电压存在着良好的线性关系。

参考文献:

- [1] Park J S , Maeng W J , Kim H S , et al. Review of recent developments in amorphous oxide semiconductor thin-film transistor devices[J]. Thin Solid Films, 2012, 520(6):1679-1693.
- [2] Wager J F, Yeh B, Hoffman R, et al. An amorphous oxide semiconductor thin-film transistor route to oxide electronics[J]. Current Opinion in Solid State & Materials Science, 2014, 18(2): 53-61.
- [3] Kwon J Y , Jeong J K . Recent progress in high performance and reliable n-type transition metal oxide-based thin film transistors[J]. Semiconductor Science & Technology, 2015, 30(2):024002.
- [4] Kamiya T , Nomura K , Hosono H . Present status of amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistors[J]. Science and Technology of Advanced Materials, 2010, 11(4):044305.
- [5] Chang S P , Ju B K . Ultraviolet and visible light detection characteristics of amorphous indium gallium zinc oxide thin film transistor for photodetector applications[J]. International Journal of Advanced Smart Convergence, 2012, 1(1):61-64.
- [6] Arokia, Nathan, Sungsik, et al. Amorphous Oxide Semiconductor TFTs for Displays and Imaging[J]. Journal of Display Technology, 2014.
- [7] Lagowski J, Jr E S S, Gatos H C. Quantitative study of the charge transfer in chemisorption; oxygen chemisorption on ZnO[J]. Journal of Applied Physics, 1977, 48(8):3566-3575.
- [8] Many A. Relation between physical and chemical processes on semiconductor surfaces[J]. Critical Reviews in Solid State Sciences, 1973, 4(1-4):515-539.
- [9] Ahn S E , Song I , Jeon S , et al. Metal Oxide Thin Film Phototransistor for Remote Touch Interactive Displays[J]. Advanced Materials, 2012, 24(19):2631-2636.

- [10] Lu H , Zhou X , Liang T , et al. Nonlinear photocurrent-intensity behavior of amorphous InZnO thin film transistors[J]. Applied Physics Letters, 2018, 112(4):042103.
- [11] Ahn S E, Park S, Kim T, et al. Photoresponse of an Oxide Semiconductor Photosensor[J]. Journal of Vacuum Science & Technology B, 2015, 33(3): 031205-1-031205-5.
- [12] Streetman B G. Solid State Electronic Devices[M]. Prentice-Hall, 1972.

苯基三乙氧基硅烷自组装分子修饰的高性能铟镓锌氧薄膜晶体管

杜永权, 肖鹏*, 陈建文, 袁健

(佛山科学技术学院, 佛山, 528000, du_0258@163.com)

摘要: 本文成功制备了苯基三乙氧基硅烷 (PTES) 修饰的铟镓锌 (IGZO) 氧薄膜晶体管 (TFT), 也系统研究了 PTES 对 IGZO-TFT 的影响。与未修饰的 IGZO-TFT 相比, 经 PTES 修饰的 IGZO-TFT 迁移率增加, 磁带回线变小, 其原因是 PTES 修饰后 IGZO 表面的吸附/解吸附效应减少。此外, PTES 修饰的 IGZO-TFT 表现了优异的电学稳定性, 其阈值电压移 (ΔV_{th}) 仅为 0.17 V, 研究表明是由于 PTES 处理后 IGZO 表面疏水, 且 PTES 与背沟道间的界面比较有序。

关键字: 铟镓锌氧, 薄膜晶体管, 自组装, 苯基三乙氧基硅烷

High Performance InGaZnO Thin Film Transistors By Employing

Phenyltriethoxysilane Self-assembly Monolayers

DU Yongquan, XIAO* Peng, CHEN Jianwen, YUAN Jian

(Foshan University, Foshan, 528000, E-mail:du_0258@163.com)

Abstract: InGaZnO (IGZO) thin film transistor (TFT) modified by phenyltriethoxysilane (PTES) self-assembled monolayers (SAMs) was fabricated and the effect of PTES on the performance IGZO-TFT was investigated. Compared to the IGZO-TFT without PTES modification, PTES-treated IGZO-TFT exhibited higher mobility and smaller hysteresis of transfer curves, owing to less adsorption/desorption effect on the IGZO surface. Meanwhile, IGZO-TFT modified with PTES exhibited excellent electrical stability with a threshold voltage shift (ΔV_{th}) of only 0.17 V, which was attributed to the formation of hydrophobic surface and well-ordered interface between PTES and back channel.

Key Words: InGaZnO(IGZO), Thin film transistor(TFT), Self-assembly, Phenyltriethoxysilane (PTES)

1 引言

铟镓锌氧化物 (IGZO) 由于具有高迁移率, 低温工艺, 出色的均匀性, 良好的电稳定性和低成本而被公认为理想的薄膜晶体管 (TFT) 沟道材料¹⁻³。在过去的几年中, IGZO-TFT 的整体性能得到了很大的提高, 但 IGZO-TFT 在偏置应力和光照下的长期稳定性仍然不足, 是亟待解决的问题。因此, 高稳定性是未来 IGZO-TFT 的重要目标。

众所周知, 与硅或有机 TFT 不同, 底栅 IGZO-TFT 的背沟道对空气 (H_2O ^{4,5} 或 O_2 ⁶⁻⁸) 以及对器件背沟道的吸附/解吸作用极为敏感, 会严重影响设备性能。选择合适的无机或有机薄膜作为钝化层是通过阻止 H_2O 或 O_2 分子来提高器件稳定性的一种常用方法, 但是这些无机或有机钝化存在如下所述一些问题。对于无机钝化, 尽管具有良好的绝缘质量, 但在无机薄膜沉积过程中不可避免地会引起等离子体损伤或氢掺杂。对于有机钝化, 有机绝缘虽然可以有效地避免等离子体损坏, 但是它们仅在物理层面上以微弱的界面耦合覆盖在氧化物半导体层面上。另外, 大多数绝缘聚合物本身的长期稳定性也不好。

与传统的无机或有机钝化相比，由于具有温和且无等离子体的自组装过程，自组装单层膜（SAM）与反向通道之间的良好界面耦合，使用 SAM 修饰氧化物 TFT 的反向通道已引起了广泛的关注⁹⁻¹²。最近，也有一些关于 SAM 改性氧化物 TFT 的报道，但它们都表现出迁移率过低，而且工作电压也过高¹³⁻¹⁶。

因此，我们制备了具有苯基三乙氧基硅烷（PTES）改性的 IGZO-TFT，并研究了 PTES SAMs 对 IGZO-TFT 性能的影响。这可能为获得高迁移率，高稳定性和低成本的氧化物 TFT 开辟一种新的思路。

2 实验

图 1（a）是 IGZO-TFT 结构示意图，首先，通过直流溅射在玻璃基板上沉积 300 nm 厚的 Al-Nd 合金层，然后进行阳极氧化工艺，以生产 200 nm Nd: Al₂O₃ 介电层^{17,18}。然后，在纯氩气氛中，以 25 sccm 的流量，在 2.5 Pa 的工作压力下，通过 RF 磁控溅射在 Nd: Al₂O₃ 上沉积了一层活性层（In: Ga: Zn = 1: 1: 1），制作 30 nm 厚的 IGZO。对于源/漏电极，通过限定 500/300 μm 的沟道宽度/长度（W/L）的荫罩溅射厚 380 nm 的 ITO 薄膜。之后，将器件在空气中于 400 °C 后退火 1 h。最后，将器件用 PTES 溶液处理，然后在环境条件下于 110 °C 进行后退火 10 分钟。通过在清洁的带盖小瓶中将 0.5 mL 的 PTES 分子与 7 mL 的甲苯和 0.1ml 的正丁胺混合，来制备 PTES 溶液。图 1（b）是 PTES 在 IGZO 背沟道的自组装机理示意图。

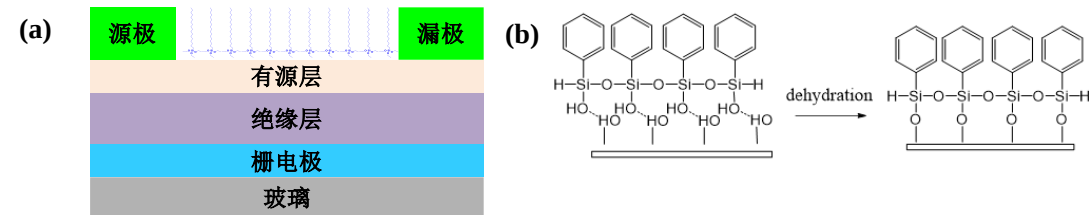


图 1（a）具有 PTES 修改的 IGZO-TFT 的示意图结构；（b）PTES 在 IGZO 表面上的自组装过程的化学反应机理。

Fig. 1 (a) Schematic structure of the IGZO-TFT with PTES modification; (b) the chemical reaction mechanisms of the self-assembly process on the IGZO surface for PTES.

3 结果与讨论

图 2（a）-2（b）分别显示了未经处理和经 PTES 处理的 IGZO 膜的水接触角测量图像。如表 1 所示，在使用 PTES 改性之前的 IGZO 膜表现出 56° 的低接触角。在使用 PTES 分子改性 IGZO 膜之后，润湿行为显著改变。经过 PTES 改性后，原来的亲水表面（ $\theta < 90^\circ$ ）表面变为疏水表面（ $\theta > 90^\circ$ ），水接触角为 97°（表 1）。疏水性表面将使空气中的水或氧气分子难以吸附在 IGZO 表面上，从而导致器件性能的提高，如下所述。

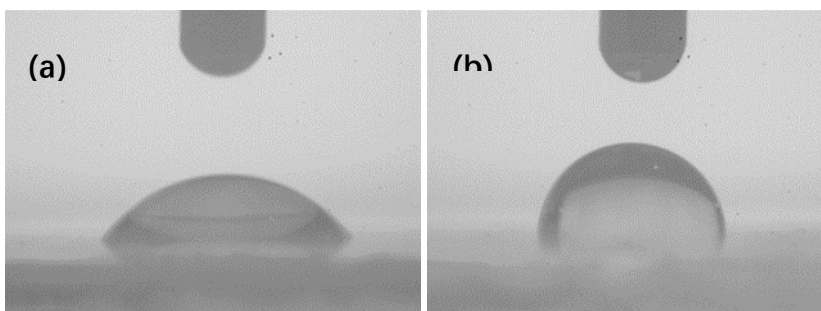


图 2 1 μ L 水滴在 (a) 未经处理和 (b) 经 PTES 处理的 IGZO 膜上的轮廓图
Fig.2 Profile images of 1 μ L water drops on (a) untreated and (b) PTES-treated IGZO films

图 3 显示了未经处理和经过 PTES 处理的 IGZO-TFT 的转移曲线。表 1 总结了相应的 TFT 性能。显然，PTES 改性的 IGZO-TFT 的电性能得到了极大的改善。未经处理的 IGZO-TFT 迁移率为 $12.7 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，开关电流比 ($I_{\text{on}} / I_{\text{off}}$) 为 6.93×10^5 ，正向和反向扫描之间的迟滞为 2.83V，相对比来说，经 PTES 处理的 IGZO-TFT 的迁移率更高，为 $18.8 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ， $I_{\text{on}} / I_{\text{off}}$ 更大，为 1.20×10^7 ，滞后性更小，为 0.07V。

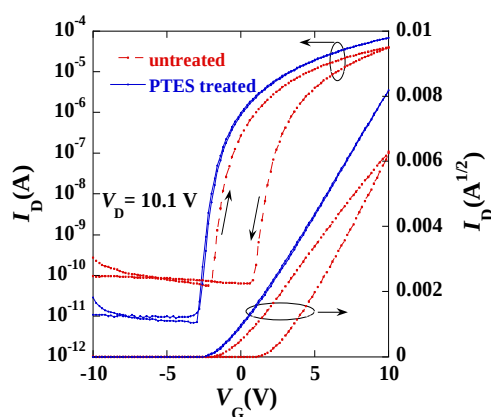


图 3 未经处理和经 PTES 处理的 IGZO-TFT 的转移曲线
Fig. 3 Transfer curves for untreated and PTES-treated IGZO-TFTs

经 PTES 处理的 IGZO-TFT 的磁滞较小，迁移率较高，可归因于以下两个原因。首先，疏水性 PTES 可以钝化反向通道中的阱 ($-\text{OH}$)，还可以更有效地阻止空气中的水和氧气分子，从而导致更少的阱和在后通道的更小吸附解吸作用，从而减小正向和反向扫描之间的磁滞性。其次，PTES 和反向通道之间的接口整齐有序，可以使载波更容易运输，从而带来更高的移动性。

图 4 (a) 和 4 (b) 分别显示了未经和经过 PTES 处理的 IGZO-TFT 在正偏置栅极应力 (PBS) 下的电稳定性。在测试过程中，施加 2.5 个小时的正栅极偏压 ($V_G = 10 \text{ V}$) 作为电应力，并每 0.5 个小时记录一次传输曲线。未经处理的 IGZO-TFT 的电稳定性很差，阈值电压漂移 (ΔV_{th}) 为 5.38V。经过 PTES 改性后，它的稳定性大大提高， ΔV_{th} 仅为 0.17V。

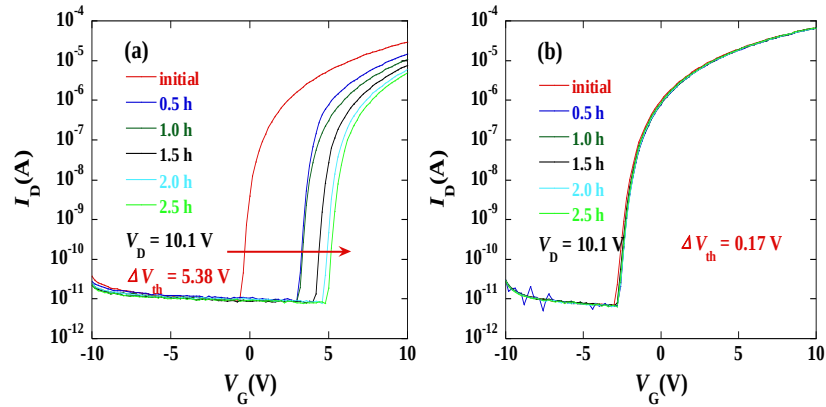


图 4 在没有 (a) 和 (b) 修改 PTES 的情况下, IGZO-TFT 在正栅极偏置应力下随时间变化的传递特性的变化; 应力条件: $V_G = 10\text{V}$, $V_{DS} = 10.1\text{V}$

Fig.4 The variations of time-dependent transfer property under positive gate bias stress for IGZO-TFT without (a) and with (b) PTES modification; stress condition: $V_G = 10\text{V}$, $V_{DS} = 10.1\text{V}$

与未经处理的 PTES 相比, 经 PTES 处理的 TFT 的稳定性得到改善, 这归因于低表面能和 IGZO 表面的润湿行为的变化。如图 5 (a) 所示, IGZO 表面对空气中的分子 (H_2O 或 O_2) 敏感, 并且 IGZO-TFT 背通道上的吸附-解吸效应将严重影响器件性能。用 PTES 改性后, IGZO 表面已从亲水性 ($\theta < 90^\circ$) 变为疏水性 ($\theta > 90^\circ$)。根据杨氏方程式¹⁹, 较大的水接触角 (θ) 表示较低的表面能。因此, 如图 5 (b) 所示, 由于低的表面能和疏水性, PTES 改性后 H_2O 或 O_2 分子难以吸附在 IGZO 表面, 从而导致高电稳定性。

表 1 未处理和经 PTES 处理的 IGZO-TFT 的器件特性汇总

Table 1 Summary of device properties for untreated and PTES-treated IGZO-TFTs

PTES modification	μ ($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)	I_{on}/I_{off}	Hysteresis (V)	ΔV_{th} (V)	Contact angle ($^\circ$)
without	12.7	6.93×10^5	2.83	5.38	56
with	18.8	1.20×10^7	0.07	0.17	97

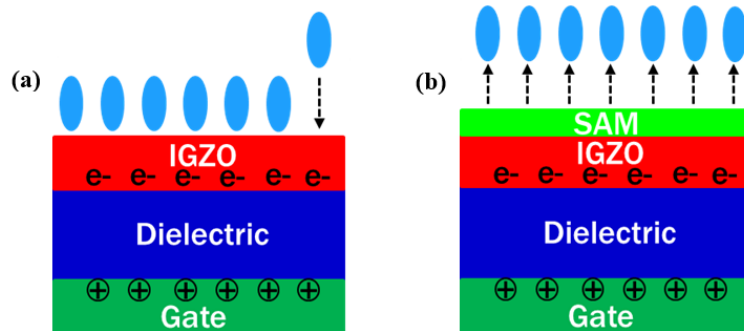


图 5 (a) 示意图显示空气中 H_2O 或 O_2 分子的吸附。(b) 显示由于引入 PTES SAM 而抑制 H_2O 或 O_2 分子的过程的示意图

Fig.5 (a) Schematic showing the adsorption of H_2O or O_2 molecules from air. (b) Schematic showing the suppressing process of H_2O or O_2 molecules due to the introduction of PTES SAM

4 结论

总之, 本文研究了 PTES SAM 对 IGZO-TFT 性能的影响。PTES 改性后, 水接触角从 56° 增加到 97° , 表明 PTES 处理的 IGZO 表面已变成疏水性且表面能较低。未经过 PTES 处理的 IGZO-TFT 具有 $12.7 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 的迁移率, 6.93×10^5 的开关电流比 ($I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$) 和 2.83 V 的滞后。与未经处理的 IGZO-TFT 相比, PTES 处理 IGZO-TFT 的迁移率更高, 为 $18.8 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$ 为 1.20×10^7 , 滞后为 0.07 V 。同时, PTES 修饰的 IGZO-TFT 具有出色的电稳定性, 而且阈值电压漂移为只有 0.17 V 。PTES 修饰的 IGZO TFT 的巨大改进可能是由于对 IGZO 表面的吸附和解吸效果降低以及 PTES SAM 与反向通道之间的界面更整齐有序。

5 致谢

本工作受到国家自然科学基金 (项目号: 61804029), 广东省自然科学基金 (项目号: 2018A030310353, 2019A1515110002), 广东省普通高校青年创新人才类项目 (项目号: 2019KQNCX172), 佛山市教育局项目 (项目号: 2019XJZZ02) 基金资助。

参考文献:

- [1] Nomura K, Ohta H, Takagi A, et al. Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors[J]. *nature*, 2004, 432(7016): 488-492.
- [2] Kamiya T, Nomura K, Hosono H. Present status of amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistors. *Sci Technol Adv Mater*. 2010,11(4):044305.
- [3] Lan L, Xiong N, Xiao P, et al. A low-cost low-temperature thin-film-transistor backplane based on oxide semiconductor[J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2012, 20(4): 175-177.
- [4] Park J S, Jeong J K, Chung H J, et al. Electronic transport properties of amorphous indium-gallium-zinc oxide semiconductor upon exposure to water[J]. *Applied Physics Letters*, 2008, 92(7): 072104.
- [5] Lee K H, Jung J S, Son K S, et al. The effect of moisture on the photon-enhanced negative bias thermal instability in Ga-In-Zn-O thin film transistors[J]. *Applied physics letters*, 2009, 95(23): 232106.
- [6] Kang D, Lim H, Kim C, et al. Amorphous gallium indium zinc oxide thin film transistors: Sensitive to oxygen molecules[J]. *Applied physics letters*, 2007, 90(19): 192101.
- [7] Fuh C S, Liu P T, Chou Y T, et al. Role of oxygen in amorphous In-Ga-Zn-O thin film transistor for ambient stability[J]. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 2012, 2(1): Q1.
- [8] Jeong J K, Won Yang H, Jeong J H, et al. Origin of threshold voltage instability in indium-gallium-zinc oxide thin film transistors[J]. *Applied Physics Letters*, 2008, 93(12): 123508.
- [9] Rajachidambaram M S, Pandey A, Vilayurganapathy S, et al. Improved stability of amorphous zinc tin oxide thin film transistors using molecular passivation[J]. *Applied Physics Letters*, 2013, 103(17): 171602.
- [10] Xu W, Liu D, Wang H, et al. Facile passivation of solution-processed InZnO thin-film transistors by octadecylphosphonic acid self-assembled monolayers at room temperature[J]. *Applied Physics Letters*, 2014, 104(17): 173504.
- [11] Xiao P, Lan L, Dong T, et al. InGaZnO thin-film transistors with back channel modification by organic self-assembled monolayers[J]. *Applied Physics Letters*, 2014, 104(5): 051607.
- [12] Allen C G, Baker D J, Albin J M, et al. Surface modification of ZnO using triethoxysilane-based molecules[J]. *Langmuir*, 2008, 24(23): 13393-13398.
- [13] Yu S H, Kim B J, Kang M S, et al. In/Ga-free, inkjet-printed charge transfer doping for solution-

- processed ZnO[J]. ACS applied materials & interfaces, 2013, 5(19): 9765-9769.
- [14] Ortel M, Kalinovich N, Röschenthaler G V, et al. Long-term stabilization of sprayed zinc oxide thin film transistors by hexafluoropropylene oxide self assembled monolayers[J]. Journal of Applied Physics, 2013, 114(9): 094512.
- [15] Spalenka J W, Gopalan P, Katz H E, et al. Electron mobility enhancement in ZnO thin films via surface modification by carboxylic acids[J]. Applied Physics Letters, 2013, 102(4): 041602.
- [16] Cho S H, Lee Y U, Lee J S, et al. The Effect of Self Assembled Monolayer (SAM) on the Back Interface of a-IGZO TFT[J]. ECS Transactions, 2011, 35(2): 353.
- [17] Lan L, Zhao M, Xiong N, et al. Low-voltage high-stability indium–zinc oxide thin-film transistor gated by anodized neodymium-doped aluminum[J]. IEEE electron device letters, 2012, 33(6): 827-829.
- [18] Luo D, Lan L, Xu M, et al. Role of rare earth ions in anodic gate dielectrics for indium-zinc-oxide thin-film transistors[J]. Journal of The Electrochemical Society, 2012, 159(5): H502.
- [19] You Z Z, Dong J Y. Surface modifications of ITO electrodes for polymer light-emitting devices[J]. Applied Surface Science, 2006, 253(4): 2102-2107.

平板卫星天线用低介电损耗液晶材料开发

李建, 李娟利, 胡明刚, 张璐

(西安近代化学研究所, 西安, 710065, 204lijian@163.com)

摘要: 平板卫星天线技术的发展对低介电损耗液晶材料提出了需求。采用空腔微扰法对单体液晶在 19GHz 下介电性能进行了测试, 总结了分子结构对介电各向异性、介电损耗的影响规律。选择具有异硫氰基类高双折射率的液晶化合物用于混合液晶设计, 获得了具有低介电损耗、高调谐率的液晶材料 MW1006 和 MW1010。性能测试结果表明, MW1006 和 MW1010 与常规 E7 材料相比, $\Delta\epsilon$ 是其 5 倍、调谐率是其 2 倍; 介电损耗 ($\tan\delta_{\perp}$) 分别是 E7 的 59%、36% ; 品质因子分别是 E7 的 2.3 倍和 5.7 倍。与默克公司最新开发的 GT7-29001 液晶相比, MW1010 液晶介电损耗降低 27%, 品质因子提升 40%。

关键字: 天线, 微波, 液晶, 调谐率, 介电损耗

Development of low dielectric loss liquid crystal materials for flat-panel satellite antenna

LI Jian, LI Juanli, HU Minggang, ZHANG Lu

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an, 710065, CHN, 204lijian@163.com)

Abstract: The development of flat satellite antenna technology demands low dielectric loss liquid crystal materials. The dielectric properties of liquid crystal compounds were characterized at 19GHz using a cavity perturbation method. The effect of molecular structures on the properties dielectric anisotropy and dielectric loss were summarized. Liquid crystal compounds with high birefringence of isothiocyanates were selected for the development of mixtures. Two mixtures with low dielectric loss and high tunability, MW1006 and MW1010 were obtained. The results of performance test show that the dielectric loss ($\tan\delta_{\perp}$) of MW1006 and MW1010 are respectively 59% and 36% of the conventional liquid crystal mixture E7, and the quality factor is 2.3 and 5.7 times of E7, respectively. Compared with the latest liquid crystal mixture GT7-29001 development by Merck Co., the dielectric loss of MW1010 is reduced by 27%, and the quality factor is increased by 40%.

Keywords: antenna, microwave, liquid crystal, tunability, dielectric loss

1 引言

液晶在显示技术领域取得了巨大的成功, 带动了我国半导体显示产业的快速发展。在非显示领域, 例如智能窗、平板通信天线等, 液晶同样展现出巨大的应用前景。近年来, 随着以低轨卫星为代表的下一代通信技术的提出, 能够快速跟踪卫星的液晶平板天线技术逐渐受到重视^[1,2]。与传统的抛物面机械扫描天线不同, 液晶平板天线没有移动部件, 属于电控扫描天线。它的工作原理是通过对液晶分子指向的调控, 引起液晶材料有效介电常数发生变化, 从而改变通过液晶层的微波信号相位及方向^[3]。液晶平板天线结构与液晶显示

面板类似，因此可以利用成熟的液晶显示生产线和技术，实现低成本、大批量的生产。液晶的响应时间为毫秒量级，因此可以实现对卫星的快速跟踪；并且可以应用到高速运动的飞机、车辆、船舶等，提供高速互联网接入。液晶的驱动电压相对较低，还具有功耗低的优势。由于液晶平板天线技术具有诸多优点，吸引了国内外多家研究机构和企业投入到该项技术的开发中。其中美国 Kymeta 公司开发了基于液晶的超材料表面技术（metamaterial-surface antenna technology，简称 MSAT）的平板卫星天线 mTenna，通过卫星让各种交通工具之间建立宽带连接，可以提供 100Mbps 以上的数据传输速度^[4]。德国 Alcans 公司开发了基于液晶移相器技术的平板卫星天线，除了可以应用于卫星通信，还可以应用于 5G 通信天线，市场前景广阔^[5]。

2 平板卫星天线对液晶材料的技术需求

平板卫星天线主要工作在微波波段（1~40GHz），液晶材料是实现微波调谐的关键，其性能直接决定了天线器件的性能参数^[6]。液晶材料在高频下的介电各向异性是决定液晶分子在电场中行为的主要参数。液晶材料在不同方向上的介电常数不同，用 $\epsilon_{//}$ 和 $\epsilon_{\perp}$ 分别表示平行和垂直于分子轴方向上的介电常数， $\epsilon_{//}$ 与 $\epsilon_{\perp}$ 的差即 $\Delta\epsilon$ 为介电各向异性。同理，液晶材料的介电损耗也存在各向异性，分别用 $\tan\delta_{//}$ 、 $\tan\delta_{\perp}$ 表示。液晶材料的微波特性可以通过材料的调谐率 τ 和材料品质因子 η 两个物理量来表征，参数之间的关系如下式：

$$\tau = \Delta\epsilon / \epsilon_{//} \quad (1)$$

$$\eta = \tau / \max(\tan\delta_{//}, \tan\delta_{\perp}) \quad (2)$$

对于平板卫星天线，要求所使用的液晶材料具有大的调谐率 τ 、高的品质因子 η 。而要提高液晶材料的品质因子 η ，一方面需要提升调谐率以及 $\Delta\epsilon$ ，另一方面需要降低损耗。

由于卫星天线大多安装在户外应用，因此需要液晶材料具有宽的向列相温度范围（-40~+100℃）。为了缩短响应时间，还需要液晶材料具有尽可能低的旋转粘度。此外，还需要液晶材料在低频下具有较大的介电常数，以降低驱动工作电压。

在早期的研究中发现，显示器件中所使用的液晶材料，如 E7、E44 等，在高频下存在介电各向异性偏小、介电损耗大的缺点，其性能无法满足微波波段应用的性能要求。因此，针对微波波段天线应用需求，近年来开展了大量的新单体液晶结构的设计与合成，新型高性能液晶材料陆续得到应用。

3 应用于平板卫星天线的液晶材料开发

3.1 液晶材料分子结构与性能

研究开发高性能天线用液晶材料，首先需要掌握分子结构与性能之间的规律，指导新型结构的液晶分子设计与合成、以及混合液晶配方的开发与优化。

由于单体液晶材料常温下大多为固体，难以直接进行性能测试。因此，我们采用主-客体的方法，将不同结构的液晶单体材料以 10% 的重量添加比例加入到母体混合液晶配方（Host），进一步测试其高频介电性能，比较不同的分子结构对高频性能的影响规律和趋势，从中筛选出高频介电性能较优的液晶化合物用于配方的设计。

液晶材料高频性能的测试方法是采用空腔微扰法^[7,8]。将装有待测液晶材料聚四氟乙烯管置于谐振腔中，在 20℃ 下采用矢量网络分析仪，测试在 19 GHz 下的介电各向异性（ $\epsilon_{//}$ 和 $\epsilon_{\perp}$ ）、介电损耗（ $\tan\delta_{//}$ 和 $\tan\delta_{\perp}$ ）。液晶的调谐率 τ 和品质因子参数 η ，通过公式（1）和（2）计算得到。一些典型结构液晶分子的测试结果如下表 1 所示。

表 1 液晶化合物 19GHz 性能测试结果

Table 1 The properties of the liquid crystal compounds at 19GHz

No.	Structure	$\epsilon_{\perp}$	$\epsilon_{\parallel}$	$\Delta\epsilon$	$\tan\delta_{\perp}$	$\tan\delta_{\parallel}$	τ	η
Host	-	2.36	2.55	0.19	0.0148	0.0041	0.075	5.089
1		2.40	2.60	0.20	0.0176	0.0062	0.075	4.280
2		2.42	2.62	0.19	0.0215	0.0070	0.074	3.430
3		2.37	2.62	0.25	0.0153	0.0041	0.096	6.252
4		2.38	2.62	0.24	0.0155	0.0048	0.091	5.879
5		2.40	2.60	0.20	0.0139	0.0046	0.078	5.636
6		2.38	2.62	0.24	0.0143	0.0045	0.091	6.372
7		2.41	2.62	0.21	0.0177	0.0078	0.080	4.512
8		2.39	2.65	0.26	0.0156	0.0049	0.098	6.289
9		2.38	2.65	0.27	0.0148	0.0045	0.102	6.884
10		2.41	2.69	0.28	0.0141	0.0048	0.103	7.367

液晶材料在高频下的介电常数 $\Delta\epsilon$ 与液晶双折射率 Δn 有很好的关联:

$$\Delta n = n_e - n_o = \sqrt{\epsilon_{\parallel}} - \sqrt{\epsilon_{\perp}} \quad (3)$$

因此,具有高双折射率的液晶材料一般在高频下具有较大的介电常数。而我们前期研究表明,提高双折射率的有效途径是增加液晶分子的共轭程度和极化度。表 1 中可以看出,在液晶分子骨架中增加芳环数量(化合物 8, 10)、引入炔键后(化合物 9, 10) $\Delta\epsilon$ 有显著增加。而在分子末端引入共轭程度高的异硫氰基(-NCS)的化合物(化合物 10)与分子末端是烷基、F(化合物 3 或 4)的化合物相比, $\Delta\epsilon$ 有显著增加。测试数据进一步表明随着共轭程度增加,高频下液晶材料介电常数增大。然而,随着共轭程度的提升,液晶化合物熔点急剧上升,低温溶解性下降;通过在液晶分子中引入侧向氟、氯、甲基等取代基,可以对液晶的工作温区、溶解性和极性进行调控。

液晶分子结构对介电损耗的影响较为复杂,与分子中末端基团、桥键、环骨架、侧向取代基的极性等有关。通过将单体液晶添加到母体混合液晶中进行介电损耗测试评价,发现大

极性端基如氰基（化合物 1）的介电损耗较大；而在化合物 1 基础上引入极性较大的酯桥键后（化合物 2），介电损耗进一步增大。侧向取代基方面，含有体积较大的氯、甲基的液晶（化合物 5, 6），较侧向氟取代化合物（3, 4）介电损耗更低。

3.2 低介电损耗液晶材料的开发

高频下液晶材料的品质因子取决于调谐率和介电损耗两个参数。由于液晶分子的调谐率取决于 $\Delta\epsilon$ 值，虽然通过延长分子的共轭链长度可以提升 $\Delta\epsilon$ 值，进而提升调谐率指标，但是共轭链的增加带来液晶熔点的上升、低温下易于结晶、粘度增加、稳定性下降等一系列问题。因此，从实际应用的角度出发，进一步提升品质因子指标的关键是降低液晶材料的介电损耗。

总结液晶化合物在高频介电常数和介电损耗性能变化规律，我们发现分子末端含有异硫氰基的液晶化合物，分子共轭程度较高，高频介电常数较大；而且介电损耗相对较小。同时，异硫氰基液晶化合物还具有液晶相区较宽、粘度较低、低频下介电常数较大的优点，是一类综合性能较优、适合于高频下工作的液晶材料。而分子侧向含有氯、甲基等取代基的化合物，介电损耗较小。根据这两类化合物的性能特点，我们将其作为主要组分进行配方设计与优化，获得了具有低介电损耗的混合液晶配方 MW1006 和 MW1010，主要性能参数见表 2 所示。

表 2 低介电损耗混合液晶材料 19GHz 性能数据

Table 2 The properties of the low loss liquid crystal mixtures at 19GHz

Property	E7	MW1006	MW1010	GT7-29001 ^[9]
$\epsilon_{//}$	2.98	3.76	3.59	3.53
$\epsilon_{\perp}$	2.53	2.62	2.46	2.46
$\Delta\epsilon$	0.022	1.15	1.13	1.07
τ	0.15	0.31	0.31	0.31
$\tan \delta_{\perp}$	0.022	0.013	0.008	0.011
$\tan \delta_{//}$	0.009	0.007	0.005	0.006
η	6.8	23.5	38.8	28.2

与显示用液晶材料 E7 相比，所开发的 MW1006 和 MW1010 混合液晶的 $\Delta\epsilon$ 是其 5 倍、调谐率是其 2 倍；介电损耗（ $\tan \delta_{\perp}$ ）分别是 E7 的 59%、36%；品质因子分别是 E7 的 2.3 倍和 5.7 倍。与 2019 年德国 Merck 公司报道的低损耗液晶 GT7-29001 相比，MW1010 的垂直介电损耗（ $\tan \delta_{\perp}$ ）有了显著降低，仅相当于 Merck 液晶材料的 73%，品质因子是它的 1.4 倍。

对液晶的常规性能包括清亮点、熔点、双折射率、介电常数（1KHz）、旋转粘度（ γ_1 ）进行测试，结果见表 3 所示。

表 3 混合液晶的常规性能参数结果

Table 3 Conventional properties of the liquid crystal mixtures

Property	MW1006	MW1010	GT7-29001 ^[9]
Clearing point/°C	136	109	124
Melting point/°C	$\leq -10^{\circ}\text{C}$	$\leq -40^{\circ}\text{C}$	—
$\Delta n(589\text{nm})$	0.41	0.39	—
$\Delta\epsilon$ (1KHz)	21.2	12.0	26.7
$\gamma_1/\text{mPa}\cdot\text{s}$	331	660	307

所开发的两款混合液晶材料均具有较宽的向列相工作温度范围，尤其是 MW1010 熔点低

于-40℃，满足低温环境应用需求。MW1006 与 GT7-29001 旋转粘度相当，MW1010 的旋转粘度显著增大。

4 结论

液晶材料作为实现天线等微波器件相位调制功能的核心材料，对器件的工作温度、工作电压、扫描范围以及扫描速度等关键指标起决定性作用。通过研究总结分子结构-性能的构效规律，优选了基于异硫氰基的液晶分子用于混合配方研究。开发出的两款高性能混合液晶材料，突破了低介电损耗的技术难题。与国外最新型天线等高频器件用液晶材料 GT7-29001 相比，介电损耗降低 27%，品质因子提升 40%。新型液晶材料的开发，为我国发展新型高频波段器件，如平板卫星天线奠定了坚实的材料基础。下一步工作将围绕降低材料介电损耗、降低粘度等方面继续深入优化，以期得到综合性能更优的液晶材料。

参考文献:

- [1]Ting T-L. Technology of liquid crystal based antenna [J]. *Optics Express*, 2019, 27(12):17138.
- [2] Maune H, Jost M, Reese R, et al. Microwave liquid crystal technology[J]. *Crystals*, 2018, 8(9): 355.
- [3]Weil C, Scheele P, Best P, et al. Highly-anisotropic liquid-crystal mixtures for tunable microwave devices[J]. *Electronics letters*, 2003, 39(24):1732-1734.
- [4]Stevenson R A, Bily A H, Cure D, et al. Rethinking Wireless Communications: Advanced Antenna Design using LCD Technology[J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2015,46(1): 827-830.
- [5]Jakoby R, Gaebler A, Weickhmann C. Microwave Liquid Crystal Enabling Technology for Electronically Steerable Antennas in SATCOM and 5G Millimeter-Wave Systems[J]. *Crystals*, 2020, 10(6): 514.
- [6]Lapanik V, Sasnouski G, Timofeev S, et al. New highly anisotropic liquid crystal materials for high-frequency applications [J]. *Liquid Crystals*, 2018, 45(8): 1242-1249.
- [7]Zografopoulos D C, Ferraro A, Beccherelli R. Liquid-Crystal High-Frequency Microwave Technology: Materials and Characterization[J]. *Advanced Materials Technologies*, 2019, 4(2):1800447.
- [8]Yu C, Li E, Zhang Z, et al. Broadband complex permittivity measurements of nematic liquid crystals based on cavity perturbation method[J]. *Liquid Crystals*, 2020, 47(1): 89-98.
- [9]Fritzsche C, Snow B, Sargent J, et al. Liquid Crystals beyond Displays: Smart Antennas and Digital Optics[J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2019, 50(1): 1098-1101.

膜层对透过率调制作用的研究

冯士振*, 方旭阳, 刘明星

(维信诺科技股份有限公司, 河北 廊坊, 065500, fengsz@visionox.com)

摘要: 本论文研究了多膜层中膜层厚度和折射率对透过率光谱的影响, 为调制多层膜结构不同波段透过率提供方法。仿真和实验也证实了膜层之间弱微腔对不同波段的光透过率具备筛选作用。基于产品的不同功能, 开发了几种具备不同透过率光谱的 AMOLED 产品结构。

关键字: 多膜层结构, 微腔, 透过率

Study on the modulation effect of films on transmittance

FENG Shenzhen*, FANG Xuyang, LIU Mingxing

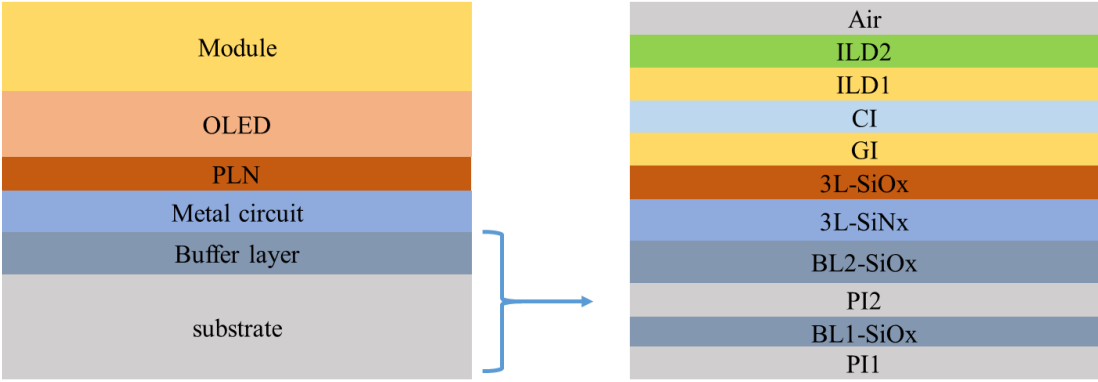
(Visionox Technology Inc, Langfang, Hebei, 065500P.R. China, fengsz@visionox.com)

Abstract: In this paper, the effects of refractive and thickness of films on the transmittance spectrum have been studied. This work provided a method to control the transmittance of multilayer structure in different wavelengths. Meanwhile, the influence of slight micro-cavity between the multilayers on the transmittance of different wavelengths was demonstrated by experiments and theoretical calculation. Based on the specific demands and applications, several new structure of AMOLED products with presupposed transmittance spectrum have been developed.

Keywords: multilayer structure, Micro-cavity, Transmittance

1 引言

近年来, 市场对屏幕显示品质和功能化、集成化等需求逐渐兴起, 如屏下指纹 FOD(Fingerprint On Display)/屏下摄像头 UDC(Under Display Camera)等技术, 故对屏幕的透过率的需求也在增加, 以传统的柔性 AMOLED 为例(见示例图一), 其组成是非常精细复杂的, 框架自下而上依次是 PI 衬底, 无机缓冲层、隔离钝化层、金属走线、PLA 平坦化层、OLED 器件、TFE 封装层和模组^[1-2]。传统的提升产品透过率通常有两种, 一种是尽量使 TFT 金属走线变细或者重叠, 提高产品镂空区域面积占比达到提升透过率的作用, 此种方法简便有效, 但随着产品 PPI 的上升, 阵列走线变多而受到限制; 另外一种方法是通过将传统的高消光系数膜层替换成高透明材料, 例如将阳极银(Ag)替换成氧化铟锡(ITO), 但这种一般会受到材料体系的限制; 除此之外, 通过研究我们发现阵列缓冲层(Buffer 膜层)可以作为第三种方法提升产品的透过率^[3]。如图一所示通常的阵列缓冲层一般包括 BL1-SiO_x/ BL1-A-Si/ BL2-SiO_x/ 3L-SiN_x/ 3L-SiO_x/ILD1/ILD2, 这些膜层一般在 AMOLED 产品中起到阻隔水氧、隔离金属离子、平坦化的作用, 因为每一个膜层源于成膜工艺的差异都会有不同的折射率(n)、厚度(d), 这也就说明每一个膜层近似于一个弱微腔, 通过调节这些膜层的厚度, 可以有效调制产品的透过率光谱。



图一：AMOLED 产品结构示意图
Figure. 1 Structure of traditional AMOLED

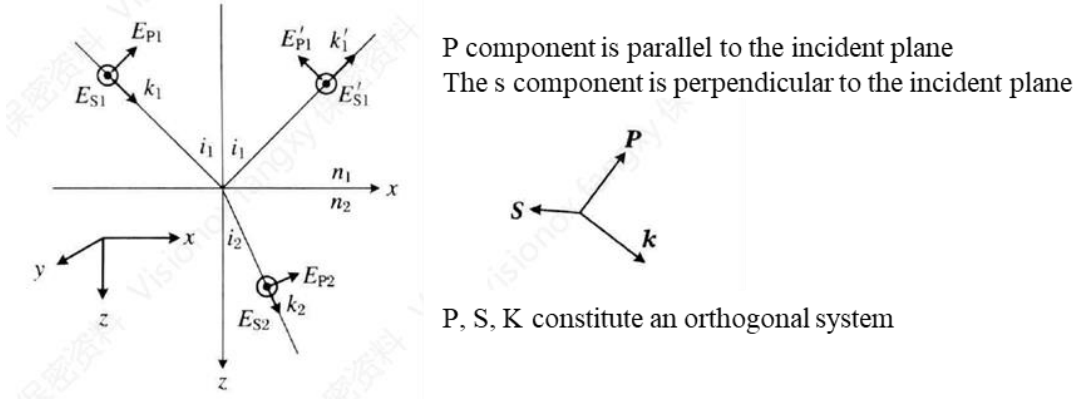
表一：阵列膜层的 R(625 nm)/G (525 nm)/ B(460 nm)的折射率

Table 1. Refractive index of the array films in different wavelength

Simulation Model	Refractive index		
	R	G	B
Air2	1	1	1
1-ILD2	1.88	1.87	1.85
2-ILD1	1.50	1.49	1.49
3-CI	2.01	1.99	1.96
4-GI	2.01	1.46	1.45
5-3L-SiOx	1.46	1.46	1.45
6-3L-SiNx	2.01	2.01	2.00
7-BL-SiOx	1.47	1.46	1.46
Air1	1	1	1

2 仿真原理说明

通常来说，电磁波会在不同波阻抗材料的电介质界面处发生反射和折射^[4]，且在界面处电场强度 $\boldsymbol{E}$ 以及磁场强度 $\boldsymbol{H}$ 的切向分量连续，这是由麦克斯韦方程组边界条件确定。故在阻抗不同电介质界面上，电磁波反射是无可避免的。菲涅尔公式给出了不同折射率和 $\boldsymbol{E}$ 振幅反射率之间的定量关系，支配着单界面的光波运动规律。

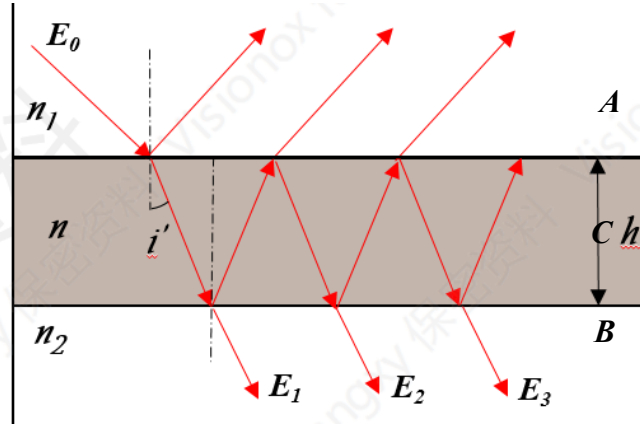


图二：入射光、反射光和折射光内 p, s, k 正交系
Figure. 1 Orthogonal system of incident, reflected and refracted light

一束电场振幅为 E 的光从电介质 A 入射到电介质 B 的界面（图二），A 介质的折射率为 n_1 ，B 介质的折射率为 n_2 ，入射角为 i_1 折射角为 i_2 ，入射复振幅 s 分量为 E_{s1} ，p 分量为 E_{p1} ，反射复振幅的 s 和 p 分量分别记为 E'_{s1} 与 E'_{p1} ，折射复振幅的 s 和 p 分量分别记作 E_{s2} 与 E_{p2} ，则界面的复振幅反射率及透射率为：

$$\begin{aligned}\frac{E'_{s1}}{E_{s1}} &= \frac{n_1 \cos i_1 - n_2 \cos i_2}{n_1 \cos i_1 + n_2 \cos i_2} = -\frac{\sin(i_1 - i_2)}{\sin(i_1 + i_2)} \\ \frac{E'_{p1}}{E_{p1}} &= \frac{n_2 \cos i_1 - n_1 \cos i_2}{n_2 \cos i_1 + n_1 \cos i_2} = \frac{\tan(i_1 - i_2)}{\tan(i_1 + i_2)} \\ \frac{E_{s2}}{E_{s1}} &= \frac{2n_1 \cos i_1}{n_1 \cos i_1 + n_2 \cos i_2} = \frac{2\sin i_2 \cos i_1}{\sin(i_1 + i_2)} \\ \frac{E_{p2}}{E_{p1}} &= \frac{2n_1 \cos i_1}{n_2 \cos i_1 + n_1 \cos i_2} = \frac{2\sin i_2 \cos i_1}{\sin(i_1 + i_2) \cos(i_1 - i_2)}\end{aligned}$$

从菲涅尔公式可知，当 $n_1 \neq n_2$ 时复振幅反射率不等于 0，其光强反射率也总大于 0，故透射率总是小于 1。薄膜光学理论指出，可以通过在界面插入增透膜来改变这一状况。原理如下图二所示：



图三：多层膜之间的透射和反射示意图

Figure. 3 Transmission and reflection between multiple films

在 AB 界面之间插入一层折射率为 n 的电介质 C，厚度为 h ，当波长为 λ 的入射光 E_0 从 A 入射进 C 中，会以折射角 i' 在 AC 和 CB 界面多次振荡光。把从 CB 界面出射的第 k 束光复振幅记为 E_k ，则透射光总的复振幅为：

$$T = \frac{t_1 t_2 e^{i\delta}}{1 + r_1 r_2 e^{i2\delta}}$$

式中 $\delta = \frac{2\pi n h}{\lambda} \cos i'$ 表示相邻两束光 E_k 和 E_{k+1} 间的相位差的一半， t_1 ， r_1 和 t_2 ， r_2 别表示从 A 入射到 C 以及从 C 入射到 B 在 AC 和 BC 界的复振幅透射率和反射率。这些数值均可通过上段所述的菲涅尔公式计算得出。以 0° 入射的光的 s 分量为例：

$$r_1 = \frac{n_0 - n}{n_0 + n}, \quad r_2 = \frac{n - n_2}{n + n_2}, \quad t_1 = \frac{2n_0}{n_0 + n}, \quad t_2 = \frac{2n}{n + n_2}$$

则光强透射率为：

$$I_T = 1 - \frac{(n_0 - n_2)^2 \cos^2\left(\frac{2\pi n h}{\lambda}\right) + \left(\frac{n_0 n_2}{n} - n\right)^2 \sin^2\left(\frac{2\pi n h}{\lambda}\right)}{(n_0 + n_2)^2 \cos^2\left(\frac{2\pi n h}{\lambda}\right) + \left(\frac{n_0 n_2}{n} + n\right)^2 \sin^2\left(\frac{2\pi n h}{\lambda}\right)}$$

当 $2\delta = (2m + 1)\pi$ 时，相邻两束光的相位是相反的，业界为保证产能通常取 $m=0$ ，则要求 $nh = \frac{\lambda}{4}$ ，此时当 $n = \sqrt{n_1 \times n_2}$ 时， I_T 取最大值 100%，以此达到对波长透过率的调制效果。

$$I_T = 1 - \frac{\left(\frac{n_0 n_2}{n} - n\right)^2}{\left(\frac{n_0 n_2}{n} + n\right)^2}$$

3 仿真与实验验证

3.1 仿真分析

首先我们计算仿真模型中(BL2-SiOx/ 3L-SiNx/ 3L-SiOx/ GI/ CI/ ILD1/ ILD2)各层在不同厚度下的光谱，用以探究单层厚度对产品透过率光谱的影响，仿真结果见图四。从结果上看，模型中每一个膜层厚度对产品透过率有明显的调制作用，且对 R、G、B 波长的调制作用有显著差别。由于模型中栅绝缘层 (GI) 及以上膜层对产品电性影响较大，我们仅调节了 Buffer 膜层 (BL2-SiOx/ 3L-SiNx/ 3L-SiOx) 的厚度，并收集了实验屏体的透过率光谱，和对照组 (base) 对比，B(460 nm)、G(525 nm) 波段的透过率明显降低，而 R(625 nm) 光实验和 base 差异较小，此结果也表明了 Buffer 膜层的厚度对产品的透过率光谱具备明显的调制作用。

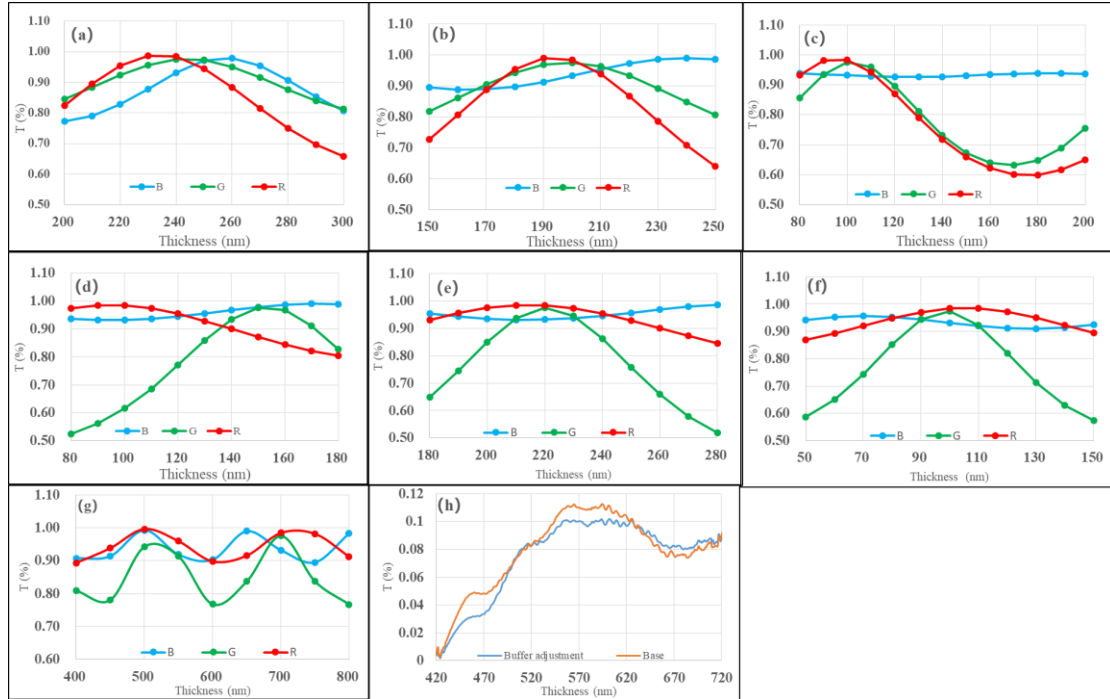


图 4：多层膜不同峰值 (R/G/B) 透过率和膜层厚度的关系：a) BL2-SiOx; b) 3L-SiNx; c) 3L-SiOx; d) GI; e) CI; f) ILD1; g) ILD2; h) 屏体状态下透过率光谱；

Figure. 4 Transmittance of multilayers in (R /G/B) based on thickness of buffer layer: a) BL2-SiOx; b) 3L-SiNx; c) 3L-SiOx; d) GI; e) CI; f) ILD1; g) ILD2; h) Transmittance of the product without module;

4 仿真应用

4.1 提升 FOD 产品的透过率

我们可以利用此方法提升具备 FOD 功能的 AMOLED 显示屏的透过率。我们用 Array 的部分膜层结构作为模型(图 5b)，通过优化 Buffer 膜层中 BL1-SiO_x、BL2-SiO_x、3L-SiN_x、3L-SiO 的厚度，可将可见光（380 nm~780 nm）透过率由原来的 79.5%提升至 92.7%，相对提升 16%，效果非常显著。

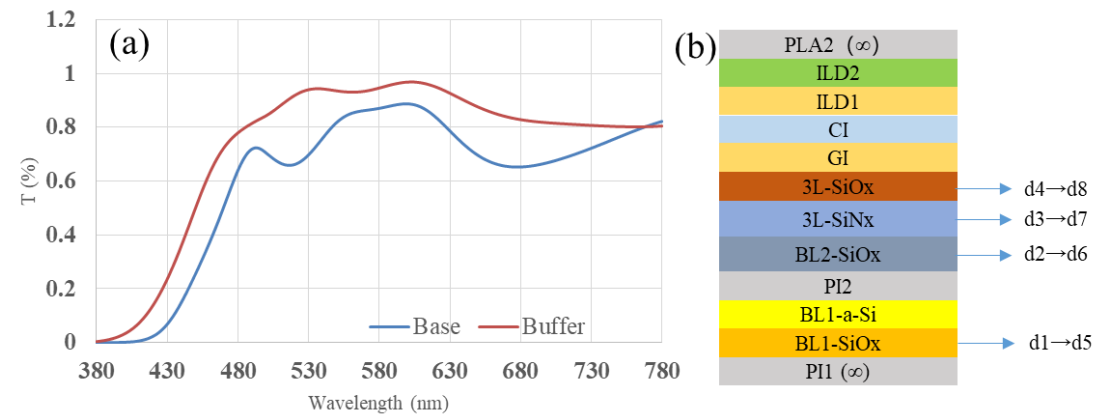
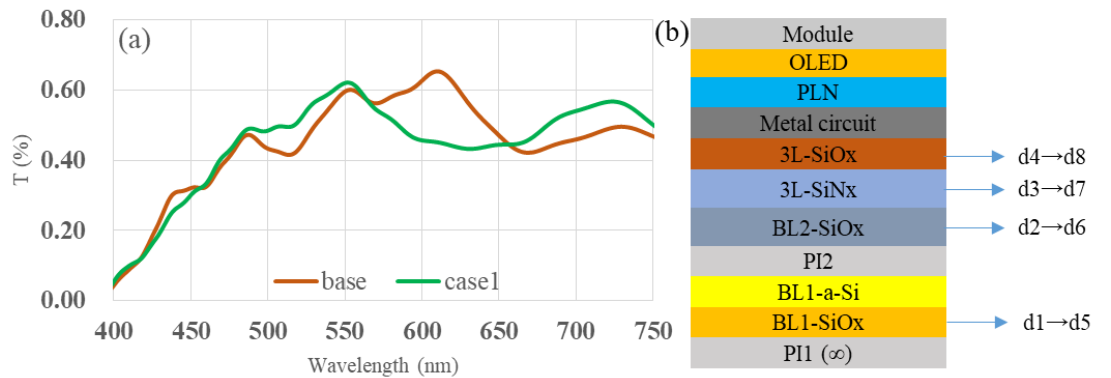


图 5: a) 不同波段的透过率光谱; b) 仿真模型;
Figure. 5 (a) Transmittance of different wavebands (R/G/B); (b) Simulation Model;

4.2 弱化 OLED 自发光对 TFT 器件的影响

随着 AMOLED 产品亮度的提升，OLED 自发光会更多的经过背面复合胶带界面反射后到达 TFT 沟道，反射光会受到复合胶带均一性的影响，如果复合胶带异形或者均一性差，反射到 TFT 沟道上的光也会有所差异，从而会造成产品显示不均，降低显示品质。为了解决此问题，我们通过 Buffer 膜层厚度调节，仿真结果表明，辐射到 TFT 沟道上的总能量由 8.376×10^{-4} 下降到 7.866×10^{-4} ，下降比例为 6.09%；



图六: a) 产品仿真透过率光谱; b) 仿真模型;
Figure. 6 a) Transmittance of different wavebands (R/G/B); (b) Simulation Model;

4 结论

我们找到一种方法可有效调制多层膜的透过光谱，并将这种方法应用到 AMOLED 产品中，最终通过 Buffer 膜层的调节，根据不同需求得到了较为理想的 AMOLED 产品光学特性，从而满足了盲孔产品、FOD 指纹识别产品的需求。

参考文献:

- [1]. Shufen Chen, Lingling Deng, Jun Xie, Ling Peng, Linhai Xie, Quli Fan, Wei Huang. Recent Developments in Top-Emitting Organic Light-Emitting Diodes. *Adv.Mater.* 2010, 22, 227-5239.
- [2]. 敖银辉, 高健. 柔性 AMOLED 的技术现状与进展 [J]. 现代电子技术, 2011, 34, 197.
- [3]. 梁田静, 张方辉, 丁磊 [J]. 液晶与显示, 2012, 27, 43~46.
- [3]. 赵凯华, 钟锡华. 光学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2017. 1~499.

高铝硅酸盐盖板玻璃化学强化性能研究

侯文青¹, 仵小曦², 李靖波³

(彩虹集团(邵阳)特种玻璃有限公司咸阳分公司, 陕西, 咸阳, 712000,
wenqinghou@foxmail.com)

摘要: 本文探究了玻璃成分、熔盐组分和强化条件对强化效果的影响。结果表明, 玻璃成分中铝和碱金属的相对含量对其影响较大, 在化学强化熔盐中添加 3wt% 的 K_2CO_3 可以适当提高强化效果。通过对化学强化条件的研究发现, 强化时间和温度的延长, DOL 值一直增大, 但 CS 值出现了不同变化, 当强化温度和时间过高过长时, 应力松弛占主要地位, 会使 CS 出现下降的趋势。

关键字: 玻璃组分, 熔盐组分, 离子交换表面压应力, 应力层深度

Chemical Strengthening of High Alumina Silicate Cover Glass

Hou Wenqing¹; Wu Xiaoxi²; Li Jingbo³;

(Cai-hong Group (Shaoyang) Special Glass Co., Ltd. Shaanxi xianyang 712000
wenqinghou@foxmail.com)

Abstract: The effects of glass composition, molten salt composition and strengthening conditions on the strengthening effect were investigated. The relative content of aluminum and alkali metal in the glass component has a great influence on it. Adding 3wt% K_2CO_3 to the chemically strengthened molten salt can appropriately increase the strengthening effect. With the extension of strengthening time and temperature, the DOL value has been increasing, but the CS value has changed differently.

Key words: Glass composition, Molten salt components, Ion exchange Surface compressive stress, Stress layer depth

1 前言

近年来, 随着 5G 通讯及移动终端市场其他科技的发展, 对盖板玻璃提出了新的要求, 例如轻质高强、抗裂纹扩张能力强。由于玻璃表面裂纹的存在, 其实际强度远低于理论强度, 减少裂纹的产生和阻止裂纹扩展能够提高玻璃的强度。目前阻止裂纹扩张主要采取的方法采取“化学强化”又称“化学钢化”的方法。根据化学强化时的温度高低, 可分为低温型化学强化和高温型化学强化^[1]。低温型化学强化是指在玻璃转变温度 T_g 以下, 通过离子交换, 使表面由于“挤塞”效应而形成压应力。研究发现, 影响低温离子交换化学强化效果的因素^[2]有以下几点: (1)玻璃成分; (2)熔盐组分(3)强化条件(温度和时间)。本文选用高铝硅酸盐玻璃进行离子交换强化实验, 探究了玻璃成分、熔盐组分和强化条件(温度和时间)这三个因素对玻璃强化后的性能的影响。

2 实验

2.1 实验用玻璃样品制备

实验所涉及到的样品玻璃一共有五种, 厚度均为 0.7mm, 具体主要成分如下表所示。

表 2.1 样品玻璃成分表(mol%)

Table 2.1 Sample glass composition table (mol%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Na ₂ O	其他	$n(\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3)$	$n(\text{R}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3)$
1#	68.39	12.14	4.2	13.6	1.67	1.12	-1.74
2#	67.14	11.83	4.05	13.47	3.51	1.14	-0.31
3#	66.47	11.64	2.9	15	3.99	1.29	2.96
4#	65.45	11.04	1.75	15.55	6.21	1.41	5.76
5#	65.03	10.98	0.71	16.12	7.16	1.47	8.43

3.1 玻璃组分对化学强化效果的影响

用 0.7mm 厚的 1#、2#、3#、4#、5#玻璃样品，在纯 KNO₃ 盐浴条件下，415℃化学强化 300min。用应力仪测试测量强化后样品的表面应力（CS）及应力层厚度（DOL），并测试其抗折强度和落球抗冲击性能。

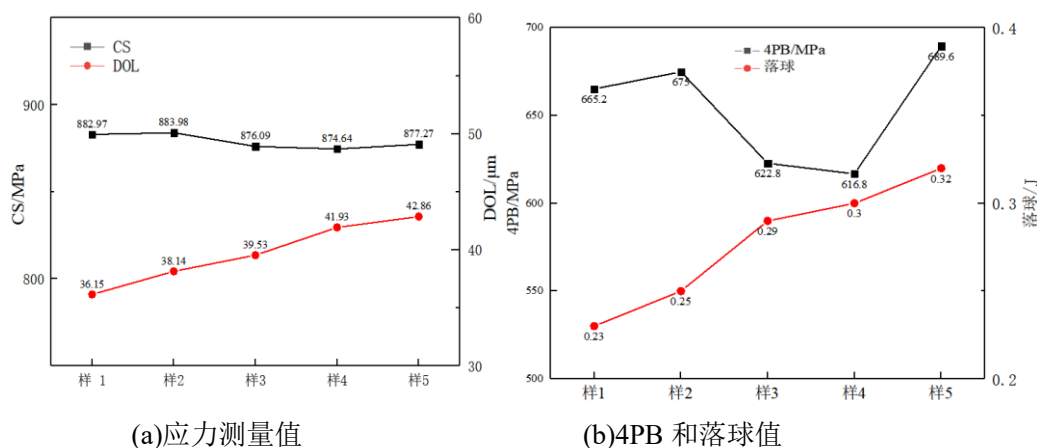


图 3.1 五种样品化学强化后应力值与 4PB 和落球值

Figure 3.1 The stress value, 4PB and falling ball values after chemical strengthening

如图 3.1(a)所示为 1#、2#、3#、4#和 5#样品在特定强化条件（415℃/270min）下的 CS 和 DOL 值。由图可看出 5 种样品的 CS 值基本保持在 880MPa 左右，较稳定，而 CS 值一直在增大，由 36.15μm 增大到 42.86μm。

结合料方分析，中 Al₂O₃ 的争夺游离氧能力高于 B₂O₃，故在玻璃中 Al 优于 B 形成[AlO₄]四面体，在 Al 全部为 4 配位时，B₂O₃ 夺取多余游离氧转化成[BO₄]。5 种玻璃样品中 $n(\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 的值均大于 1 时，所以 Al³⁺均以四面体[AlO₄]的形式进入到玻璃网络结构中，增大了网络空隙，有利于化学强化时的离子交换。此外，通过表 3-1 可知，料方中化学强化离子交换源 Na₂O 的含量一直在增大，同时 $n(\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 的值也在增大，这会使玻璃中游离氧增加，玻璃结构疏松，有利于离子交换，所以在相同强化条件下，强化后样品的 DOL 值呈现增大的趋势。

在玻璃组分中，Al₂O₃ 含量是影响应力积累的主要因素，Al₂O₃ 降低，应力积累能力减弱。同时，当 $n(\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3) > n(\text{B}_2\text{O}_3)$ 时，约有一半 B₂O₃ 的转化成了[BO₄]四面体，[BO₄]四面体使玻璃机构趋于紧致。综合分析，Al₂O₃ 含量降低使应力积累能力减弱，同时由于 Na₂O 及 $n(\text{R}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3)$ 值得增大，玻璃结构趋于疏松，而结构疏松使离子交换更容易。离子交换产生的“挤塞效应”补偿了结构疏松的影响，最终表现为 5 种样品在化学强化后 CS 趋于稳定。

图 3.1(b)为 5 种玻璃样品强化后抗折强度 4PB 和抗冲击能量测试结果。5 种样品的抗折强度 4PB 值均处于 600MPa 之上,但规律性不明显。因为 4PB 值主要反映玻璃的边缘加工质量,所以其值受加工影响较大。样品的抗冲击能量测试值随料方的变化在逐渐增大,这是由于离子交换后,玻璃表面“致密化”,处于挤压状态,即玻璃表面获得了表面压应力和一定的应力层深度,这会阻碍玻璃表面微裂纹的扩展,当玻璃收到冲击能量时,高的压应力和应力层深度可以有效提高玻璃的抗冲击能量测试值。

3.2 熔盐配方对化学强化效果的影响

本实验选用 1#玻璃样品,强化条件为 415°C/300min,纯的 KNO_3 盐浴,添加剂为 K_2CO_3 ,添加量分别为 1.5wt%、3wt%、4.5wt%。测试其强化后 CS 和 DOL 值,如下图。

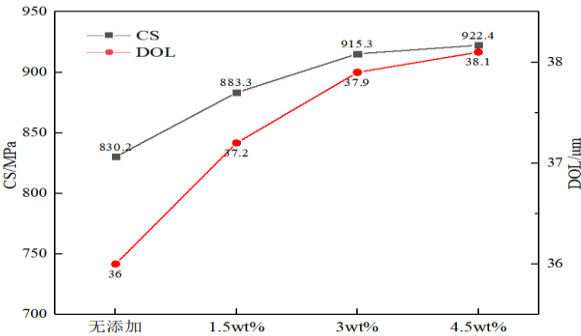
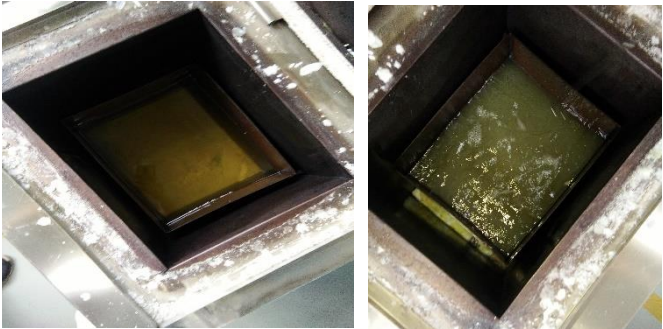


图 3.2 熔盐添加剂含量对玻璃样品强化性能的影响

Figure 3.2 The effect of molten salt additives on the strengthening properties of glass samples



(a) 加入 K_2CO_3 前熔盐状态

(b) 加入 K_2CO_3 后熔盐状态

图 3.3 熔盐中加入 K_2CO_3 的前后对比图

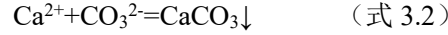
Figure 3.3 Comparison of before and after adding K_2CO_3 to molten salt

从图 3.2 可以看出,纯 KNO_3 熔盐中添加 K_2CO_3 可以增加化学强化效果,当添加量为熔盐质量 3wt%时,玻璃样品 CS 可提高 85MPa, DOL 可提高 1.9μm;当添加量超过 3wt%时,化学强化增强效果不明显。

化学离子交换的进行中,熔盐中主要有 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 杂质离子,想比于 K^+ 离子,这些高价离子的半径小电荷数高,更容易与 Na^+ 发生交换,对 K^+ 的扩散产生阻止效应,同时二价离子向玻璃内部扩散时会堵塞离子交换通道,对 K^+ 的扩散产生抑制效应。阻碍和抑制的双重效果会严重影响玻璃的强化效果,进而影响玻璃强度,危害较大^[7]。其中 Ca^{2+} 的抑制效应最大,即使含有少量的 Ca^{2+} 就会大幅度阻止离子交换过程,进而降低玻璃强度。 K_2CO_3 可以作为高价离子清除剂,在熔融状态下,游离的 CO_3^{2-} 可以与熔盐中的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 杂质离子发生如下反应,形成微小的不熔颗粒,使杂质从熔盐中分离出来,增加熔盐 KNO_3 的纯度,从而提高化学强化效果。从图 3.3 可以看出,在加入除杂质 K_2CO_3 之前熔盐处于正常澄清状,加入 K_2CO_3 之后,熔盐底部呈黄色沉淀物,为 MgCO_3 和 CaCO_3 物质。此外,添加 K_2CO_3 的作用除了除杂外,还有一个作用是增加了熔盐中 K^+ 离子的浓度, K^+ 离子浓度的增加,可以

促进离子交换的进行。

K_2CO_3 的添加量对最终的强化效果有影响, 加入量太少, 不能全部消除 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 离子对化学强化的影响; 加入量过大, K_2CO_3 在消除完 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 离子之后会有剩余, 对化学强化的提高作用不明显, 所以 K_2CO_3 的添加量需在一个合适的范围内。



3.3 强化条件对化学强化效果的影响

本实验选用 1#玻璃样品, 纯 KNO_3 盐浴情况下, 探究化学强化条件温度和时间对强化效果的影响。

在一定的化学强化温度范围 ($400\sim 435^\circ\text{C}$), 一定的化学强化施加范围 ($240\sim 450\text{min}$) 内, 对所制得样品进行化学强化, 并用表面应力仪测得各个实验后玻璃的表面压应力 (CS) 和应力层深度 (DOL), 将 CS 和 DOL 随温度与时间的变化绘制成如下图 3.4。

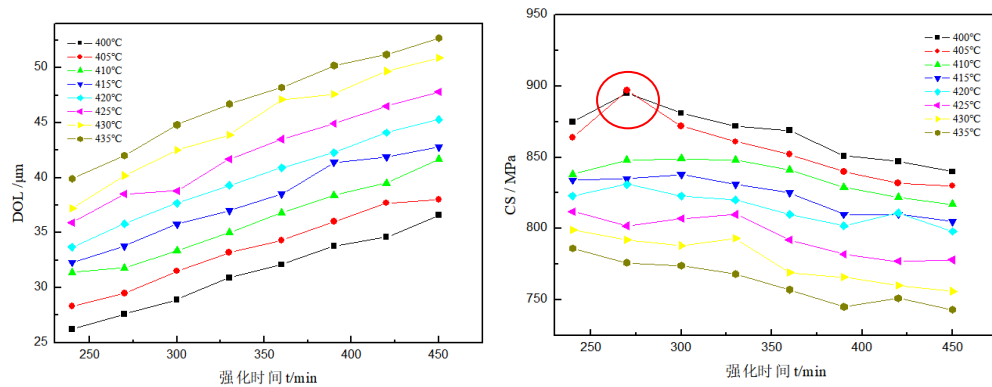


图 3.4 温度和时间对强化后玻璃样品应力值影响

Figure 3.4 The effect of temperature and time on the stress value of the glass sample

由图 3.4 可知, 随着强化温度的提高和强化时间的延长, 应力层深度一直增加。由菲克第一定律可知 (式 3.3), 化学强化时间越长扩散通量 J (离子交换量) 越大。故随着强化时间的延长, 应力层深度一直在增加。

$$J = -D \frac{dc}{dx} \quad (\text{式 3.3})$$

J : 扩散通量, 即单位时间内通过单位面积的物质的量 D : 扩散系数

C : 浓度 x : 扩散方向距离

由图 3.4 可知, 在 400 、 405 和 415°C 下, 随着时间的增加, CS 先呈现上升的趋势, 然后下降, 而在其他强化温度下, 随着强化时间延长 CS 值统一呈现下降的趋势。这是因为化学强化初期, 离子交换占主导地位, 由于离子交换导致玻璃表面产生应力值; 而随着交换时的增加, 玻璃会产生应力松弛现象, 当离子交换产生的压应力增加与应力松弛达到动态平衡时, 玻璃强化趋于稳定状态, 此时也是玻璃的最大 CS 值处 (如图 3.4 中 400°C 的 A 点); 随着强化时间的继续延长, 应力松弛占主导地位, 其 CS 值将会呈现下降的趋势。最终随着强化时间的无限延长, 玻璃会变成均质体, 应力层消失。

在温度范围 $400^\circ\text{C}\sim 435^\circ\text{C}$ 内, 随着温度的增加, 玻璃的表面压力 CS 一致呈现减小的趋势。在化学强化过程中, 离子交换主要靠离子的自身扩散, 而活化能和温度控制着扩散体系。由 Arrhenius 定律 (式 3.4) 可知:

$$D = D_0 e^{-Q/RT} \quad (\text{式 3.4})$$

D : 扩散系数 Q : 活化能

R : 摩尔气体常数 T : 交换温度

温度越高, 扩散系数 D 越大, 越有利于交换量的增大和交换层的深入, 即表现为玻璃表面应力和应力层的增加。故如图 1, 随着温度的增大, 应力层增大。但在图 3.5 中却随着温度 (400~435°C 范围内) 的增加 CS 值下降, 这可解释为由 Arrhenius 定律可知随着温度增加离子交换通量增大, 所以高温离子交换最先到达离子交换应力增加与应力松弛的平衡点, 过了平衡点之后, 对高温强化来说, 应力松弛程度大于低温物体, 即在本实验 415~435°C 的范围内, 当交换时间为 240min 时, 已经过了离子平衡点, 即应力在高温条件下出现极大值的时间早于低温, 此后在离子交换过程中, 应力松弛占主导地位, 故表现为随着温度的增大, CS 值得降低。

4 结论

玻璃组分是影响化学强化的主要因素: $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的值均大于 1 时, Al^{3+} 均以四面体 $[\text{AlO}_4]$ 的形式进入到玻璃网络结构中, 增大了网络空隙, 有利于化学强化时的离子交换; Na_2O 及 $n(\text{R}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3)$ 值得增大, 玻璃中游离氧数量会增加, 玻璃结构趋于疏松, 而结构疏松使离子交换更容易, DOL 容易升高, 但 CS 增加较慢。

KNO_3 盐浴中添加除杂剂 K_2CO_3 可以有效的提高化学强化效果。当高铝硅酸盐玻璃在 415°C/300min 条件下化学强化时, 的添加量为熔盐质量 3wt% 时, 强化效果提升最佳, 玻璃样品 CS 可提高 85MPa, DOL 可提高 1.9 μm 。玻璃样品在不同强化温度和时间条件下进行强化实验, 随着强化时间和温度的增加, 样品的 DOL 值一直增大, 但 CS 值会出现先增大后减小的趋势, 故在实际样品强化时, 可根据规律, 找出最佳强化工艺。

参考文献:

- [1] 朱雷波. 平板玻璃深加工学 [M]. 武汉理工大学出版社, 2002.
- [2] 贲静, 李宇. 化学钢化玻璃强度影响因素控制[J]. 玻璃, 2003(5):53-54.

彩虹高铝盖板玻璃的介电特性及机理研究

李丹, *仵小曦, 冯勃, 刘映宙

(彩虹集团(邵阳)特种玻璃有限公司, 咸阳, 712000, 631290677@qq.com)

摘要: 本文以彩虹系列高铝盖板玻璃为基础, 采用平行板电容器法测定出了几种不同系列玻璃的介电常数数值, 通过料方组分的研究, 分析了彩虹不同系列玻璃的介电常数差异原因, 并对不同影响因素下介电特性进行了分析和讨论。结果表明彩虹系列玻璃均具有稳定的介电特性, 介电常数数值在 7~9 之间; 通过增加测试过程频率, 强化前后玻璃的介电常数均呈现降低的趋势; 同时对比同一系列强化前后玻璃介电常数发现, 强化后玻璃介电数值大部分稍有降低。

关键字: 高铝盖板玻璃, 介电常数, 介电性能

**Dielectric properties and mechanistic study of high alumina silicate
cover glass**

Dan LI, *Xiaoxi WU, Bo FENG, Yingzhou LIU

(Cai-hong Group (Shaoyang) Special Glass Co., LTD Xianyang City, Shanxi Province 712000
631290677@qq.com)

Abstract: In this paper, high aluminum plate series glass as the foundation, using the parallel plate capacitor method to determine the different series glass dielectric constant and dielectric loss value, by component material research, analyzes the CaiHong series glass dielectric constant difference reasons, and the dielectric property under different influencing factors are analyzed and discussed. The experiment results show that CaiHong series glass has stable dielectric properties, the permittivity is between 7 and 9; By increasing the test frequency, the permittivity of the strengthened glass decreases. At the same time, the permittivity of the glass before and after the strengthening of the same series was found that the permittivity of the glass decreased slightly after the strengthening.

Key words: High alumina silicate cover glass, Dielectric properties, Dielectric constant

1 引言

随着 5G 时代的到来, 2018 年以 5G Sub-6 GHz 频率的无线通信作为主流, 终极目标为 28 GHz 的高频无线通信规格时代拉开帷幕, 5G 手机成为海内外大厂的兵家必争之地, 据了解, 在 2019 年冬季三星及国产安卓阵营如华为、OPPO、VIVO、小米等都已推出 5G 新机。

早在 2017 年, 触控手机、平板电脑等电子产品开始大量导入无线充电功能, 无线充电依靠电磁波, 由于金属的电磁波屏蔽效应, 最终导致金属机壳时代结束, 非金属材料开始大显身手。不过陶瓷机壳由于介电常数偏高(陶瓷介电常数高达 21)^[1], 在 2017 年当时的 4G 手机尽管没有问题, 但伴随 5G 时期的到来, 在高频 5G 毫米波段信号传输中, 陶瓷机壳终将会被玻璃机壳取代成为高频 5G 手机机壳的主流取向^[2]。

伴随着 5G 时代的到来，盖板玻璃市场开辟出了新的天地，为了紧抓市场机遇，对于盖板玻璃的介电特性研究显得尤为重要。在目前相关文献报导中，对于玻璃纤维的介电性能有较多的研究报道，但是关于盖板玻璃的介电性能研究少有报道^[3]。因此，对高铝盖板玻璃介电性能展开系统性的探讨，并针对其特性提出实质性的举措，将对高铝盖板玻璃的改良以及提升企业效益具有不可估量的现实意义。

2 实验方法

实验所用原料为彩虹系列玻璃。将选取厚度 0.7mm 的高铝硅玻璃准确裁取规格为 1*1 cm 的玻璃原片，之后将样品用超声波清洗仪清洗后，使用 Agilent E4980A 的精密阻抗分析仪设备来测量样品的电容，根据公式（1）来计算样品的介电常数，扫描频率为 20Hz~2MHz，测试材料在 GB/T 2421.1 所规定的正常大气实验条件下（温度 15℃-35℃），相对湿度 45%-75%，气压在 86 kPa-106 kPa 进行，样品按照如图 1 所示采用磁控溅射法在样品两面镀上一层完整的银层作为电极，构成平行板电容器。

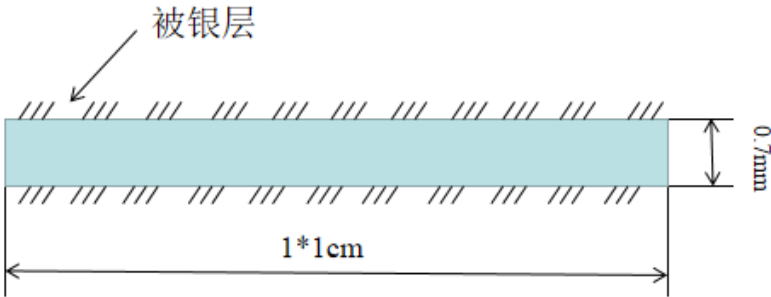


图 1 磁控溅射镀膜示意图
Figure 1 Schematic diagram of magnetron sputtering coating

在室温下，玻璃样品的介电常数的计算公式如式（1）所示：

$$\varepsilon_r = \frac{C_p \cdot t}{\varepsilon_0 \cdot S} \quad (1)$$

式中：

C_p —为实际测样电容(F)； ε_0 —为真空介电常数 8.85×10^{-12} (F/m)； ε_r —为玻璃样品的介电常数 (F/m)

S —为电极镀层面积(m²)； t —为玻璃厚度(m)；

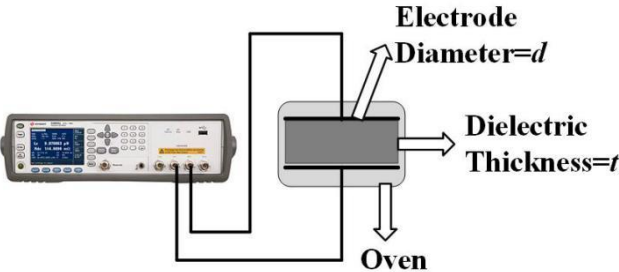


图 2 介电特性平行板原理测试示意图
Figure 2 Schematic diagram of parallel plate principle test for dielectric properties

3 实验探究与讨论

3.1 玻璃介电性能的机理研究

常温下的普通玻璃是一种优良的绝缘体，将一块玻璃放入两块电极板之间，构成了一个电容器，而这个电容器的电容 C_x 与两块电极板之间为真空时的电容 C 之间的比值 ϵ 即为介电常数，无机玻璃的介电常数一般为 4~20。

介电常数是表征材料极化和储存电荷的能力，也是电介质极化程度的量度。玻璃的介电性能与其化学成分有很大的联系。这是因为不同的成分使玻璃网络空间布局以及内部空隙发生了变化，从而改变了内部离子在不同位置之间的迁移难易程度。一般情况下，介电常数与其化学组成的关系可以从离子极化和迁移率的大小来考虑。离子极化的实质为离子在其附近离子的电场（外电场）作用下相对位移，使电子云产生了变形，也可以说是离子外层的电子云和原子核发生了相对位移 [4]，如图 3 所示，电介质的极化过程可用介电常数 ϵ 来衡量，介质的极化率越大，其介电常数越大。

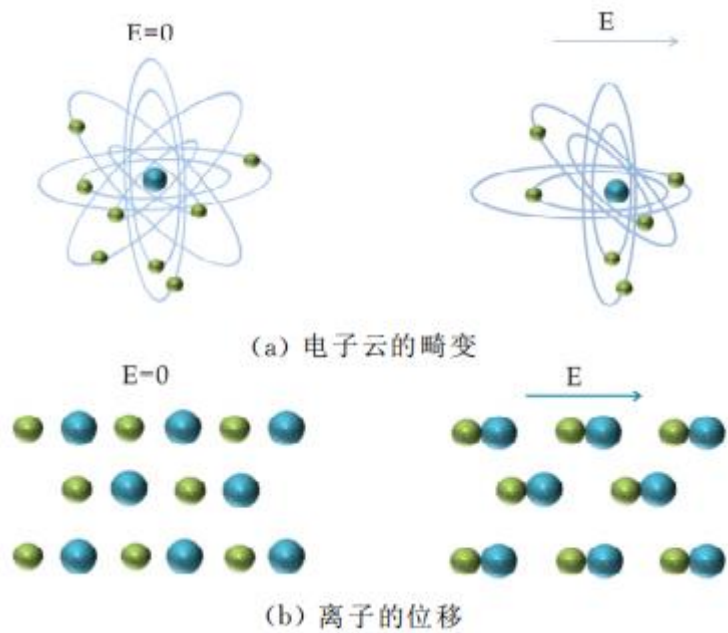


图 3 极化机理示意图^[4]
Figure 3 Schematic diagram of polarization mechanism

在一定频率的交流电压作用下，电介质材料由于极化或吸收现象使部分电能转化为热能而损耗，这种电能损失称为介电损耗，按照性质的不同有 4 种：电导损耗、松弛损耗、结构损耗、共振损耗。在室温频率 1MHz 以下时，主要是由电导损耗和松弛损耗引起介电损耗变化。

3.2 盖板玻璃介电性能与化学组成的关系

玻璃的组成有电子、离子、分子，一般还有一些杂质，例如熔化时生成的各种晶体。在电场作用下，由电子位移而引起的偶极矩变化称为电子极化，以此类推，根据玻璃的组成，玻璃中还具有离子极化、分子极化等。硅酸盐玻璃中主要以硅氧为主要的网络结构。硅氧键的键强较大，结构稳定，决定了硅酸盐玻璃的性质较为稳定，其介电常数一般为 7~9。表 1 为化学组成对玻璃介电常数的影响：

表 1 化学组成对玻璃介电常数的影响

Table 1 Influence of chemical composition on permittivity of glass

影响因素	变化	现象	极化度变化	介电常数变化
料方化学组成	加入重金属，碱金属等	破坏网络结构，生成非桥氧键	变大	增大
	加入中间体氧化物 Al ₂ O ₃ ，ZnO 等	连接被破坏的网络结构，结构更加紧密	变小	减小

不同化学组成的高铝硅玻璃以及康宁大猩猩系列测试结果如表 2 所示。由表 2 可以看出，彩虹 A、B 以及 C 系列玻璃料方组分均有不同。从 A 系列到 C 系列料方中，主要组分是 SiO₂，以硅氧为主成分的网络结构，由于硅氧键的键强较大，结构稳定，因此 A 至 C 系列玻璃的性质较为稳定。在含碱玻璃中，SiO₂ 及 Al₂O₃ 对介电常数的影响较小，组分中硼的含量决定了硼的配位状态，硼的配位状态是其介电性能的重要影响因素，当 B₂O₃ 含量逐渐增多时，[BO₃]增多，易被极化的小分子结构变多，硼酸盐玻璃的介电常数相应增大，彩虹 A 到 C 系列玻璃中，B₂O₃ 组分含量逐渐增多，相应的介电常数数值从 7.51 增大至 8.03。但当 B₂O₃ 含量增大到一定程度时，[BO₃]转变成完全由桥氧组成的[BO₄]四面体的环状结构，此时硼酸盐玻璃的结构变得较为紧密，易被极化的分子结构变少，硼酸盐玻璃的介电常数反而变小，出现硼反常现象，B₂O₃ 组分过多时，玻璃的耐酸性、耐水性、稳定性均降低，理化性能达不到要求。因此，B₂O₃ 含量需要严格的控制，以得到介电性能和满足要求的玻璃。

碱金属或碱土金属氧化物作为玻璃中电流的主要载体，在料方组分中加入碱金属容易破坏玻璃内部的网络骨架结构，非桥氧键增多导致介电常数增大，但强化过程中引入不同的碱金属和碱土金属还会产生混合碱或碱土效应，破坏玻璃的介电性能，降低玻璃的介电常数。彩虹 A 系玻璃到 C 系玻璃料方中，碱金属氧化物和碱土金属氧化物含量总量逐渐增加，如表 2 所示，随着碱金属及碱土金属离子含量的增加，总移动离子浓度增加，金属离子—金属离子距离减小，增加了它们之间的相互作用，这种移动离子间相互作用的增加可能会减少偶极—偶极相互作用，阳离子迁移速率变慢，从而导致介电常数的降低，因此 C 系玻璃介电常数最低为 7.51。

表 2 不同化学组成玻璃的介电常数表征

Table 2 Characterization of permittivity of different chemical components of glass

名称	Al ₂ O ₃ 含量 (mol%)	B ₂ O ₃ 含量 (mol%)	R ₂ O 含量 (mol%)	RO 含量 (mol%)	介电常数 F/m (100K)
彩虹 A 系	11.74	4.17	13.32	2.52	8.03
彩虹 B 系	12.1	4.2	13.6	2.6	8.41
彩虹 C 系	15.39	0	18.89	0	7.51

3.3 不同测试频率对盖板玻璃介电性能的影响

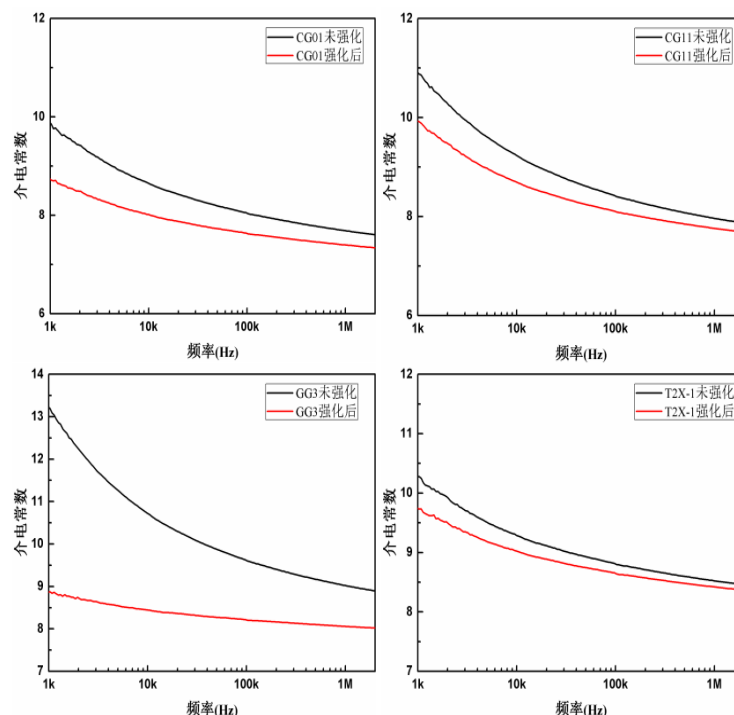


图 4 不同测试频率下 4 种玻璃的介电常数变化

Figure 4 Variation of permittivity of four kinds of glass under different test frequency

对彩虹以及康宁大猩猩系列玻璃进行不同频率下介电常数的测试，测试频率从 20 Hz~1 MHz，测试结果如图 5 所示。随着外加电场频率的增加，彩虹系列玻璃均出现介电常数逐渐降低的趋势，由于料方的差异，实验所用系列玻璃的介电常数数值各有不同，然而介电常数随着外电场频率的变化趋势均趋于一致，当外电场频率较低时，介电常数 ϵ 越大，这是由于随着频率的增大，电子云变形发生困难，并且电子云偶极矩变化困难，极化率变小，极化率与介电常数满足如下的公式关系（2），导致介电常数的减小。频率对玻璃极化度和介电常数的影响可归纳为表 3。

$$\epsilon = 1 + 4\pi a \quad (2)$$

式中： ϵ —为介电常数(F/m)； a —为介质极化率；

表 3 频率对玻璃介电常数的影响

Table 3 Effect of frequency on the permittivity of glass

影响因素	变化	现象	极化度变化	介电常数变化
频率	升高	电子云偶极矩变化困难	变小	减小
	降低	电子云偶极矩变化容易	变大	增大

3.4 化学强化对盖板玻璃介电性能的影响

化学钢化法也称为离子交换增强法，是通过离子交换，玻璃表层碱金属离子被熔盐中的其它碱金属离子置换，使机械强度提高。作为移动设备使用触摸保护玻璃，通常要进行化学强化以提高其硬度和安全性。化学强化对盖板玻璃介电性能的影响可以从碱金属离子交换浓度变化进行探究。

图 4 是不同系类试样在强化前后的介电常数数值对比图。从图中柱状图高低变化可以观察到，彩虹及康宁大部分系列玻璃强化前介电常数数值均高于强化后玻璃的介电常数数值。

从理论分析可以得知，在成分设计方面，熔制含大量 SiO_2 的硅酸盐玻璃需要加入大量的助熔剂如碱金属或碱土金属氧化物，否则难以熔制，碱土金属和碱金属是玻璃中电流的主要载体，在强化过程中引入不同的碱金属离子和碱土金属离子会产生混合碱或碱土效应破坏玻璃的介电性能，导致介电常数的降低。而 Al_2O_3 对提高玻璃的介电性能，降低玻璃的介电损耗具有积极的作用，主要是在碱金属含量较多、网络断裂比较严重的情况下，加入中间体氧化物（如 ZnO 、 Al_2O_3 等），可使断裂的硅氧四面体重新连接而使玻璃的结构变得更加稳定，使玻璃的极化度变小，介电常数降低，从而提升材料的介电性。

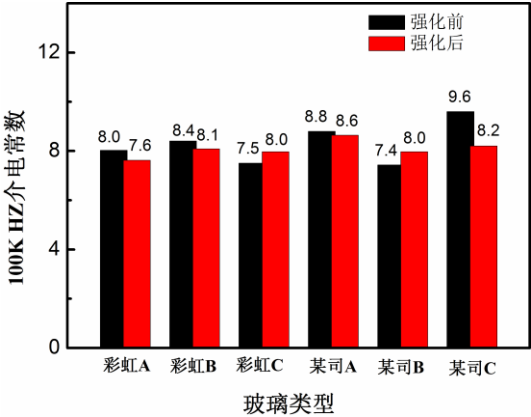


图 5 化学强化前后盖板玻璃介电常数

Figure 5 The permittivity of chemically reinforced front and rear cover glass

4. 结论

通过上述实验探究发现，彩虹系列玻璃均具有稳定的介电特性，介电常数数值在 7~9 之间；通过增加测试过程频率，强化前后玻璃的介电常数均呈现降低的趋势；同时对比同一系列强化前后玻璃介电常数发现，强化后玻璃介电数值均稍有降低。

低介电玻璃作为电子元件，可减小阻抗延迟，缩小电子设备内部空间，使电子设备微型化，符合现代电子设备的发展趋势，具有重大的研究意义。目前低介电玻璃的研究发展迅速，但仍有很多问题需要研究解决，对玻璃介电性能的研究现在主要是从试验中得到，如何从玻璃本质的角度来解释玻璃的介电性能还有待探索。低介电玻璃的研究是电子科技发展前进的必然产物，相信低介电玻璃的深入研究将会推动电子行业的快速发展。

参考文献:

- [1] 夏文宝, 姜宏, 鲁鹏. Development and Prospects of High Alumina Silicate Cover Glass for Touch Screen%触摸屏盖板玻璃的发展及应用前景[J]. 玻璃与搪瓷, 042(1):37-42,32.
- [2] 曹欣, 鲍兆臣, 刘翼. 触摸屏玻璃面板的发展现状及趋势[J]. 中国玻璃(4):3-8.
- [3] 沈斌, 冯小江, 李培春. 浅谈智能手机盖板玻璃发展及应用研究[J]. 科技创新与应用, 2017,000(028):151,153.
- [4] 赵彦钊, 殷海荣. 玻璃工艺学[M].北京:中国轻工业出版社, 1995.
- [5] 西北轻工业学院. 玻璃工艺学[M].北京:化学工业出版社, 2006.
- [6] 郑兴华,丁剑,倪维庆,等. 钙铝硅氧化物/铈酸锶钡微晶玻璃的结构和介电性能[J]. 硅酸盐学报,2006,34(11):1301.
- [7] 张彬,王静,汤何锐,等. 碱土金属氧化物对硼铝硅酸盐玻璃性能的影响[J]. 材料科学与工程学报,2018,36(5):824-828.
- [8] Kao K C. Dielectric phenomena in solids [M]. New York: Dielectric phenomena in Solids,

2004.

[9] Swenson J, Adams S. Mixed alkali effect in glasses [J]. Phys. Rev. Lett, 2003, 90(15):432-433.

[10] 于晓杰. 无碱铝硼硅酸盐玻璃的研究[D]. 济南: 济南大学, 2008.

[11] 徐言超,岳云龙,于晓杰,等. 正交实验研究硼铝硅玻璃的介电性能[J]. 绝缘材料,2007,40(3):48.

[12] 王乃刚,罗澜,陈玮,等. MgO-Al₂O₃-SiO₂-TiO₂-CeO₂ 系统微晶玻璃的析晶过程与微波介电性能[J]. 无机材料学报,2003,18(3):547.

[13] Scholze H. 玻璃的本质结构和性质[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,1984: 340-345.

[14] 周鹏. 低介电玻璃的研究进展[J]. 材料导报,2016,30(5):290.

[15] 程继健,徐劼劼,吴林生,等. 若干碱金属和碱土金属氟硼酸盐玻璃的形成和结构[J]. 硅酸盐学报,1983,11(1):55.

锂铝硅盖板玻璃强化性能研究

李肖妍, 仵小曦*, 李靖波, 王楠

(彩虹集团(邵阳)特种玻璃有限公司, 陕西省, 咸阳市, 712000,
L1401569787@163.com)

摘要: 本文以两步化学强化法为基础, 探究和总结了两步化学强化中温度和时间对 CS/DOL 的影响规律。研究表明升高强化温度和延长强化时间, CS 先增大, 后减小; DOL 不断增大。第一步离子交换以玻璃中 Li^+ 和盐浴中 Na^+ 的交换为主, 主要提升玻璃的 DOL 值; 第二步离子交换以玻璃中 Na^+ 和盐浴中 K^+ 的交换为主, 主要提升玻璃的 CS 值。

关键字: 锂铝硅盖板玻璃, 两步法工艺, 化学强化, 强化性能

**Study on strengthening properties of lithium aluminosilicate cover
glass**

LI Xiaoyan, WU Xiaoxi, LI Jingbo, WANG Nan

(Cai-hong Group (Shaoyang) Special Glass Co., LTD Xianyang City, Shanxi Province
712000, CHN, L1401569787@163.com)

Abstract: Based on the two-step chemical strengthening method, the influence of temperature and time on CS/DOL was investigated and summarized. The results show that CS increases first and then decreases with the increase of strengthening temperature and time, and DOL increases continuously. In the first step, the exchange of Li^+ in glass and Na^+ in salt bath is the main way to improve the DOL value of glass; in the second step, the exchange of Na^+ in glass and K^+ in salt bath is mainly used to improve the CS value of glass.

Key words: Lithium aluminosilicate cover glass, two step process, chemical strengthening, strengthening performance

1 引言

5G 时代显示技术将无处不在, 超薄电子玻璃作为智能手机、电视、电脑等电子产品的显示面板原材料之一, 市场需求巨大。显示面板大尺寸化、轻薄化是未来发展方向^[1]。玻璃越薄, 透光性能就会越好, 柔韧性好, 重量也会随之减轻, 但厚度的降低, 会导致盖板玻璃力学性能的明显降低, 为了增强触控屏表面抗划伤性能, 减少跌落损伤, 化学强化技术成为增强其机械性能的重要手段之一^[2-3], 作用机理是基于玻璃表面离子与熔盐中离子的迁移和扩散特性, 通过玻璃中小半径的碱金属离子与熔盐中大半径的碱金属离子进行交换, 因交换离子间的体积差, 使得表面产生“挤塞”效应, 形成表面压应力, 当外力作用于此表面时, 首先必须先抵消这部分的压应力, 这样就达到增强玻璃强度的效果, 同时, 化学强化也具有抑制格里菲斯微裂纹延展的作用^[4]。

本文选用溢流下拉法工艺制成的锂铝硅盖板玻璃进行两步化学强化, 探究温度和时间对强化性能的影响及规律。

2 实验

2.1 实验样品

本文所用实验样品为溢流下拉法制得的锂铝硅盖板玻璃。选用样品尺寸为 147.23 mm × 71.99 mm × 0.8 mm依次进行磨边倒角、超声波清洗、化学强化、超声波清洗。

2.2 实验测试

CS/DOL

使用 FSM-6000LE+SLP1000 测试玻璃表面压应力(CS)和离子交换层深度(DOL) 。

3 结果与讨论

3.1 第一步离子交换温度/时间对强化性能的影响

在其他条件不变，改变第一步离子交换温度/时间的强化工艺下，分别对锂铝硅盖板玻璃进行强化，详细强化工艺如表 1 和 2 所示，探究第一步离子交换温度/时间对强化性能的影响及规律，如图 1 和 2 所示。

表 1 第一步离子交换温度不同的强化工艺

Table 1 The first step is strengthening process with different ion exchange temperature

强化工艺	第一步离子交换			第二步离子交换		
	温度/°C	时间/min	盐浴(K:Na)	温度/°C	时间/min	盐浴(K:Na)
1	380					
2	385					
3	390	220	25: 75	380	40	95: 5
4	395					
5	400					

表 2 第一步离子交换时间不同的强化工艺

Table 2 The first step is strengthening process with different ion exchange time

强化工艺	第一步离子交换			第二步离子交换		
	温度/°C	时间/min	盐浴(K:Na)	温度/°C	时间/min	盐浴(K:Na)
6		160				
7		180				
8	390	200	25: 75	380	40	95: 5
9		220				
10		240				

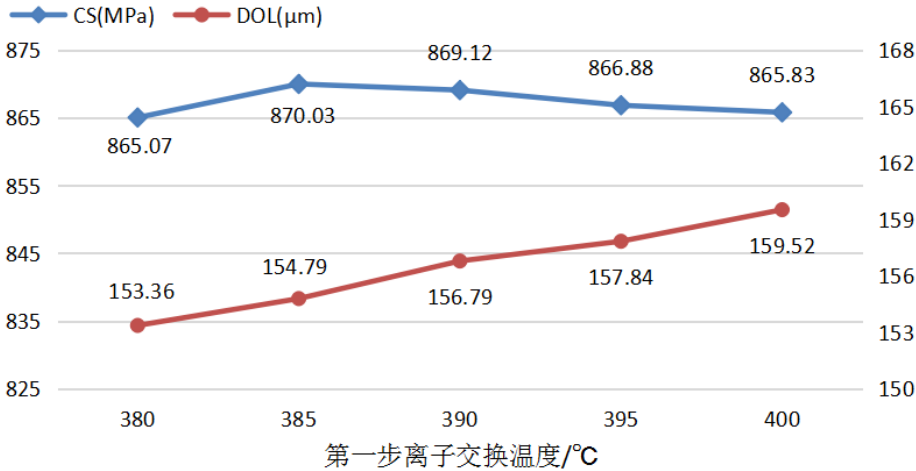


图 1 CS/DOL 随第一步离子交换温度变化曲线

Fig.1 The curve of CS/DOL with ion exchange temperature in the first step

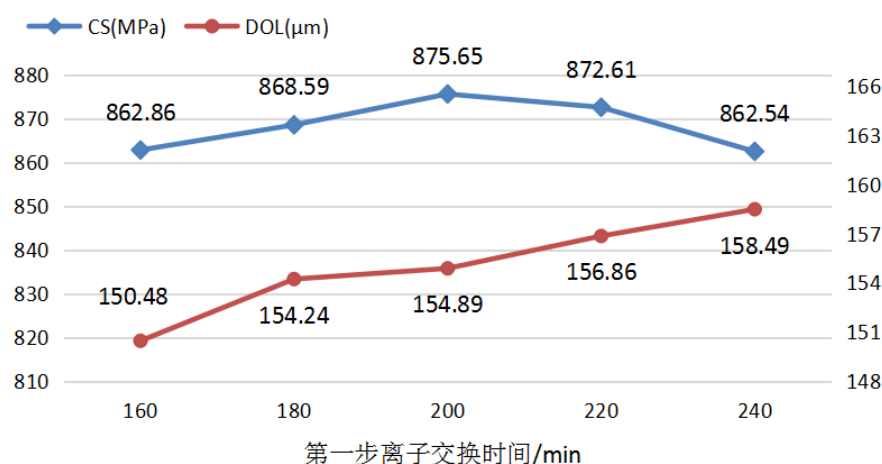


图 2 CS/DOL 随第一步离子交换时间变化曲线

Fig.2 The curve of CS/DOL with ion exchange time in the first step

由图 1 和 2 可知,随着第一步离子交换温度的升高和时间的延长,CS 先增大,后减小。出现这个趋势的因为,当化学强化温度较低,时间较短时,离子交换占主导地位,而随着交换时间的延长,玻璃会产生应力松弛现象,当离子交换产生的压应力增加量与应力松弛量达到动态平衡时,玻璃的 CS 达到最大值;当应力松弛占主导地位,其 CS 值下降。

随着第一步离子交换强化温度的升高和强化时间的延长, DOL 不断增大,由菲克第一定律可知(式 1),化学强化时间越长扩散通量 J (离子交换量)越大。故随着强化时间的延长,应力层深度呈增大趋势。由图 1 和 2 可以看出,与 CS 相比, DOL 变化趋势更加明显。这是因为 Na^+ 和 Li^+ 离子半径差较小 ($0.21 \text{ \AA}$),离子扩散时消耗的能量较小,即离子向玻璃内部扩散的距离会变大,所以,第一步离子交换主要为玻璃中 Li^+ 和盐浴中 Na^+ 的交换,主要提升离子交换层深度(DOL)。

$$J = -D \frac{dc}{dx} \quad (\text{式 1})$$

J : 扩散通量,即单位时间内通过单位面积的物质的量

D : 扩散系数

C : 浓度

x : 扩散方向距离

3.2 第二步离子交换温度/时间对强化性能的影响

在其他条件不变,改变第二步离子交换温度/时间的强化工艺下,分别对锂铝硅盖板玻璃进行强化,详细强化工艺如表 3 和 4 所示,探究第二步离子交换温度/时间对强化性能的影响及规律,如图 3 和 4 所示。

表 3 第二步离子交换温度不同的强化工艺

Table 3 The second step is strengthening process with different ion exchange temperature						
强化工艺	第一步离子交换			第二步离子交换		
	温度/°C	时间/min	盐浴(K:Na)	温度/°C	时间/min	盐浴(K:Na)
11	390	220	25: 75	370	40	95: 5
12				375		
13				380		
14				385		
15				390		

表 4 第二步离子交换时间不同的强化工艺

Table 4 The second step is strengthening process with different ion exchange time

强化工艺	第一步离子交换			第二步离子交换		
	温度/°C	时间/min	盐浴(K:Na)	温度/°C	时间/min	盐浴(K:Na)
16					30	
17					35	
18	390	220	25: 75	380	40	95: 5
19					45	
20					50	

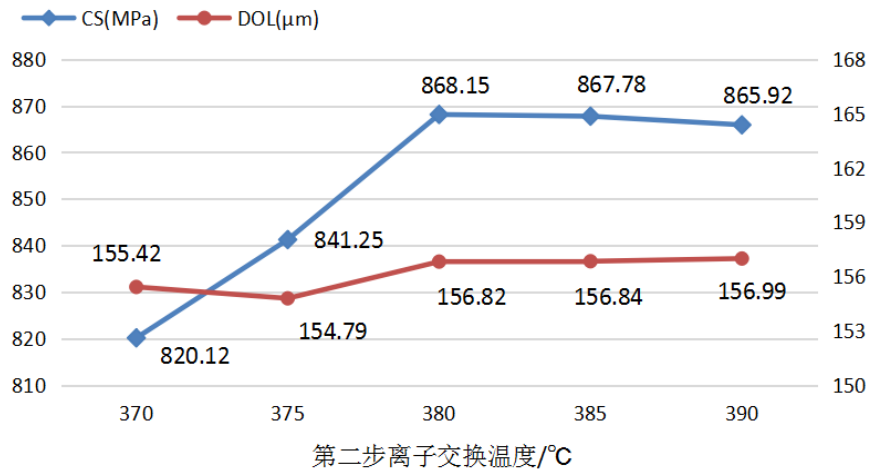


图 3 CS/DOL 随第二步离子交换温度变化曲线

Fig.3 The curve of CS/DOL with ion exchange temperature in the second step

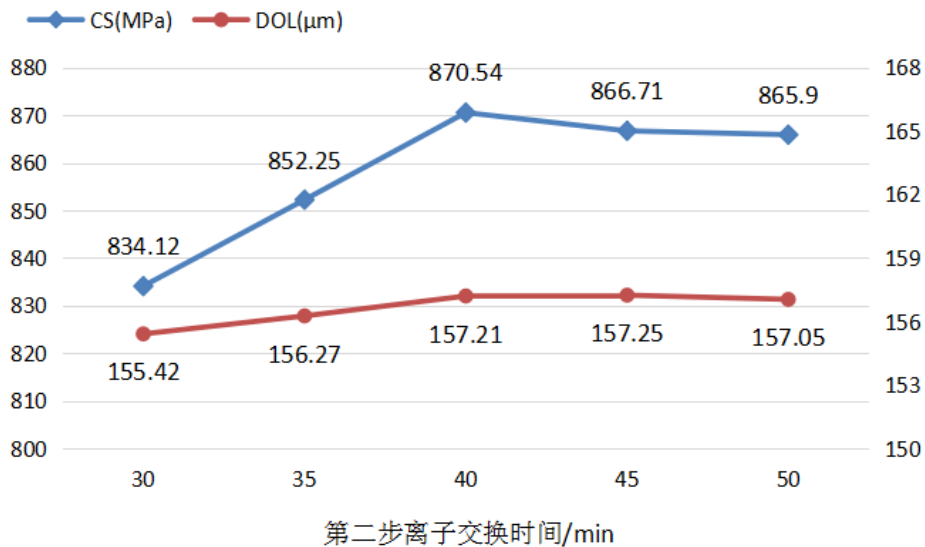


图 4 CS/DOL 随第二步离子交换时间变化曲线

Fig.4 The curve of CS/DOL with ion exchange time in the second step

由图 3 和 4 可知，随着第二步离子交换温度升高和时间的延长，CS 先增大，后减小，当离子交换产生的压应力增加量与应力松弛量达到动态平衡时，玻璃的 CS 达到最大值。

第二步离子交换时盐浴中的 K^+ 浓度较大，且 K^+ 和 Na^+ 离子半径差较大 ($0.36 \text{ \AA}$)，离子扩散能量消耗较大，使 K^+ 和 Na^+ 离子交换只能在表面几到十几个微米范围内进行，即第二步离子交换主要为玻璃中 Na^+ 和盐浴中 K^+ 的交换，主要目的在于提升玻璃的 CS 值。

随着第二步离子交换温度升高和时间的延长,因为 K^+ 和 Na^+ 离子半径差较大,离子交换后“剂塞”效应更加明显,所以,CS 变化比较明显。

随着第二步离子交换温度的升高和强化时间的延长,DOL 值基本不变,因为此时主要以玻璃中 Na^+ 和盐浴中 K^+ 的交换为主,在时间较短且离子半径差较大的情况下,DOL 变化不明显。

4 结论

基于两步法化学强化工艺,探究和总结了锂铝硅盖板玻璃第一步和第二步化学强化的主要作用,并总结了两步化学强化中温度/时间对CS/DOL的影响规律。研究表明升高强化温度和延长强化时间,CS先增大,后减小;DOL不断增大。第一步离子交换以玻璃中 Li^+ 和盐浴中 Na^+ 的交换为主,主要提升玻璃的DOL值;第二步离子交换以玻璃中 Na^+ 和盐浴中 K^+ 的交换为主,主要提升玻璃的CS值。这为锂铝硅盖板玻璃化学强化工艺调整方向有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 付静. 玻璃表面微缺陷与离子交换表面改性的研究[D]. 中国建筑材料科学研究院, 2002.
- [2] 郭振强, 章宇, 崔瑞男. 高碱铝硅酸盐的发展现状及趋势[J]. 建筑玻璃与工业玻璃, 2014, (3): 10-12.
- [3] 王承遇, 陶瑛. 玻璃表面处理技术[M]. 化学工业出版社, 2004.
- [4] 贲静, 李宇. 化学钢化玻璃强度影响因素控制[J]. 玻璃, 2004, 31(5): 53-55.

超薄玻璃条纹产生机理及对策方法

宁小永

(彩虹集团(邵阳)特种玻璃有限公司, 邵阳市, 422000, ningxy@ch.com.cn)

摘要: 本文主要是通过对超薄玻璃生产实际过程中出现的有关条纹质量技术对策的分析总结, 从而阐明条纹产生机理及对策方法, 是液晶显示领域超薄玻璃制造过程中必然要解决的问题, 通过对条纹种类、检测方法、产生机理、对策方法的分析, 有助于液晶显示领域生产过程中如何高效判断条纹产生部位、产生原因, 从而有效的进行工艺技术对策, 提高产线的稳定性和生产效率, 对于从事此行业大规模生产的产品质量高低起着至关重要的作用。

关键字: 池炉, 铂金通道, 搅拌槽, 供料管, L 管

Generation mechanism and countermeasures of ultrathin glass fringe

NING Xiaoyong

(Cai-hong Group (Shaoyang) Special Glass Co., LTD, Shaoyang, 422000, ningxy@ch.com.cn)

Abstract: This article mainly through the actual process of ultra-thin glass production quality technical countermeasures of the stripes in the analysis summary, so as to clarify stripe method, mechanism and countermeasures is ultra-thin glass manufacturing process of liquid crystal display field is bound to solve the problem, based on the stripe type, detection methods, mechanism and countermeasures of analysis, help how effectively in the process of liquid crystal display field production tell stripe produced parts and causes, and effective process technical countermeasures, enhance the stability of production line and the production efficiency, mass production product quality high and low for engaged in this industry plays an important role.

Key words: Pool furnace, Platinum channel, stirring tank, feed pipe, L pipe

技术背景

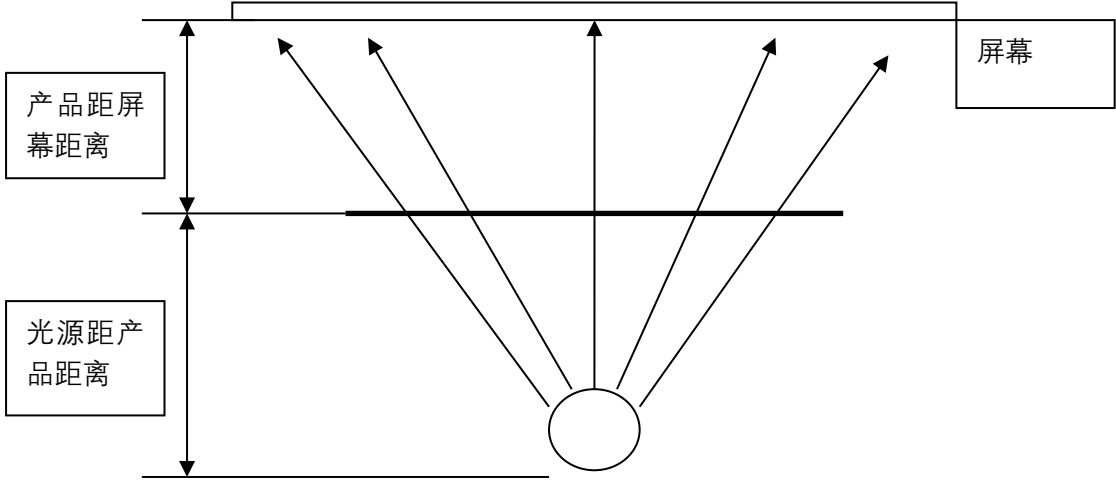
目前生产液晶显示超薄玻璃的几种成熟的方法中, 以溢流成型法最为流行, 也相对的最为成熟, 熔融玻璃在整个流动过程中, 铂金管道是玻璃流在不同设备间的最好连接, 因此从熔解池炉、澄清段、降温段、搅拌槽、供料槽对玻璃质量的改善各自承担了不同的功能, 那么根据设备功能准确进行工艺控制, 降低条纹的发生率, 有效提高产品质量, 是本文重要研究内容。

超薄玻璃(TFT 玻璃基板、盖板玻璃)是液晶显示领域主要原材之一, 其自身光学性能对显示影像有决定性作用, 因此条纹作为玻璃自身光学性能其中关键控制一项, 在玻璃生产中产生机理、对策方法的分析研究尤为关注。本文将通过对条纹的分类、产生原因、检测及对策方法进行详细介绍。

条纹是玻璃板内存在异性玻璃夹杂物, 从而影响光学性能均匀性的玻璃欠点。从需要的可视方向能够检测到的影响玻璃板视场均匀性的条纹是玻璃板生产过程中最常见的欠点之一。

一、玻璃板条纹的检测方法

用疝气灯作为光源，光源放置距产品距离为 2500mm、产品距屏幕 1000mm、氙气灯功率 300~500w 可调、屏幕处照明 100 流明，玻璃板与屏幕平行时设为 0°，肉眼观察屏幕有无不均匀视场，若没有就逐渐旋转玻璃板使玻璃板与屏幕形成一定的角度直至旋转到玻璃板



明暗条纹检查设备位置尺寸示意图

与屏幕成 90°，在旋转过程中观察屏幕视场是否存在不均匀视场并进行相应的角度记录，并画出不均匀视场的区域；再从 0° 向相反方向逐渐旋转玻璃板直到 90° 观察，在旋转过程中观察屏幕视场是否存在不均匀视场并进行相应的角度记录，并画出不均匀视场的区域。将出现不均匀区域切割取下，在表面粗糙度仪设备上做进一步检测。

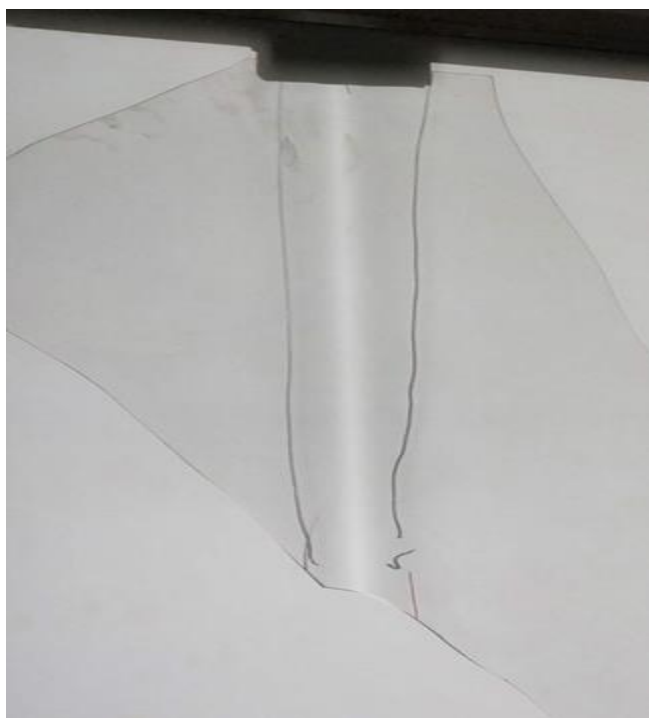
二、条纹的种类

玻璃板条纹分为细密条纹和明暗条纹两种。

第一种：细密条纹为细长或线状玻璃出现光学的或其它不同于邻近玻璃的特性。其特征为疝气灯检查视场显示出细线或木纹密集形状，明暗间距 2~5mm。如下图：



第二种：明暗条纹为粘度差异的玻璃在溢流砖出现流量不同而产生局部厚度变化产生的光学特性差异，它的特征为位置较为固定，数量 1 条以上，呈直线连续状。如下图：



三、两类条纹区分方法

第一种区分方法：

细密条纹是玻璃表面的缺陷，是纳米级的表面波纹度形成的，最简单的方法是对玻璃板两面进行研磨，每面去掉 0.03mm，如果能去除的条纹就是细密条纹；而明暗条纹是厚度有明显的上凸或下凹产生的透镜效应形成的，经过表面研磨是去除不掉的。

第二种区分方法：

使用表面粗糙度仪进行玻璃表面检测，这个方法是最准确有效的，通过测出的波形进行判断条纹属于细密或明暗条纹。通过表面粗糙度和波纹度的检测，若单波峰谷差 $>10\text{nm}$ 的表面就是 30° 可见的细密条纹，若单波斜率大于 $100\text{nm}/2\text{mm}$ 的表面 就是 0° 可见明暗条纹，若单波斜率小于 $10\text{nm}/2\text{mm}$ 的表面就是 60° 可见的明暗条纹。

两种条纹因为对显示面板制程和品质影响不同而有不同的检验规格。对细密条纹而言， 60° 可见 $\sim 60^\circ$ 不可见视为优级品， 60° 以下可见 $\sim 30^\circ$ 可见视为良品， 30° 以下可见为不良品；明暗条纹 0° 可见时通过极限样本对比判定，极限样品制作需要对 0° 可见条纹通过在厂家进行试做，根据制作显示面板的品质来确定。

四、条纹产生机理与对策方法

1、细密条纹的产生与对策方法

细密条纹是因为化学成分不均造成，产生的区域是发生在搅拌槽之前，如果把搅拌棒转速调整到 0.5~1 转/分钟，可以在玻璃板面上看到晶节，主要原因是：①氧化铝较多的池炉底部沉淀层进入玻璃工作流，对策是在通道澄清段入口处加挡板挡住高层玻璃，并且在池炉底部增加卸料装置，从池炉投料开始始终保持 15kg/hr 的卸料量；②耐火材料受侵蚀脱落进入玻璃工作流，对策是选用耐高温、耐侵蚀的耐火材料（选择针对料方抗侵蚀的耐火材料），对于池壁砖要防止电流通过造成砖体温度过高而产生的损坏，目前投料墙侵蚀严重的现象要有效控制，投料墙侵蚀严重的主要原因是此区域玻璃温度底，投入的玻璃料不能较快侵入玻璃液中去，造成大量挥发物顺着投料墙进入烟道，对投料墙形成冲刷侵蚀；③池炉内部凝结在碲顶的挥发物积累后脱落进入玻璃工作流，因此必须保证池炉内与外界微正气压，将挥发

物从烟道排除。炉压一般控制在 $15 \pm 5\text{Pa}$ ；④池炉内部玻璃对流不稳定，上部不动层玻璃进入玻璃工作流，对策是降低炉内空间温度 10°C 观察。出现细密条纹的消除措施就是加强搅拌，提高搅拌棒转速，增加搅拌能力，具体计算如下：

$$\tau = \text{rpm} * D * \eta / k$$

其中： τ 为搅拌能力

rpm 为转速

D 为搅拌齿直径

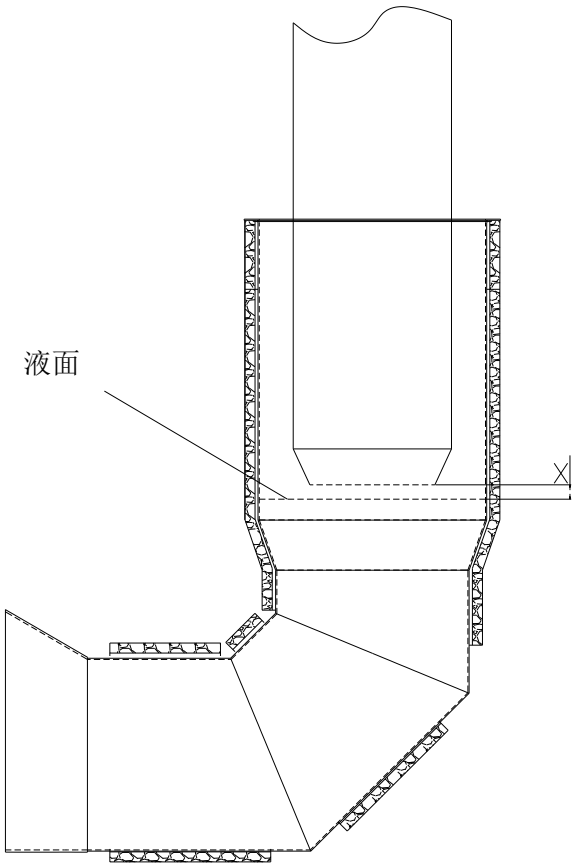
η 为玻璃粘度

k 为搅拌齿与槽壁的间隙

从搅拌能力关系式可知，提高搅拌能力的途径是提高搅拌棒转速和提高玻璃粘度，搅拌转速调整必须考虑搅拌棒的设计强度是否能够承受，在没有团聚状铂金欠点大量发生的情况下尽量低温，k 的值一般设计为 20mm 较为合适，搅拌棒高低调整能改变通道内玻璃位置的分布，从而可以改变条纹的位置，从设计上计算搅拌槽的能力的关键指标是被搅拌的玻璃要在搅拌槽内搅拌 15 分钟以上，所以提升引出量是要考虑搅拌槽的搅拌能力够不够。

2、明暗条纹的产生与对策方法

明暗条纹产生是因为玻璃分布不均造成，产生的区域是发生在搅拌槽之后，是因为粘度差异的玻璃在溢流砖沿溢出时流量不同而产生局部厚度变化产生的，主要产生的原因是搅拌槽以后玻璃与空气接触的空间玻璃有滞留，滞留的玻璃进入工作流在粘度上有差异造成，发生的主要部位是：①供料管与成型“L”管的对接部分玻璃液面处；②供料槽上部直管玻璃液面处；③搅拌槽上部玻璃液面处。要消除明暗条纹就要在上述部位遵循玻璃“先来先走”的原则，防止玻璃滞留。



供料管与成型“L”管的对接部玻璃液面处是最易产生玻璃滞留的部位，一般来讲“L”

管插入是距离“L”管液面 $\pm 25\text{mm}$ 的位置范围,通过生产过程中条纹发生情况调整马弗炉高度找出工作位置点,如果供料管出口过高与“L”管液面会产生卷入气泡,插入液面线 $\pm 5\text{mm}$ 为理想位置,正常生产时供料管出口是插入在“L”管缩径的直段部位,在溢流砖润湿时供料管出口是插入在“L”管缩径以上,在润湿完成后马弗炉高度调整至正常工作位置,尽量减少暴露在空气中玻璃面积,同时做好“L”管口处的保温和密闭工作,保温和密闭不好就会产生出现明暗条纹的条件,要很好的保温减少玻璃液的温度差异,密闭好可抑制硼挥发,减轻不动层的流失,具体是采用多层陶瓷纤维板垫在马弗炉与供料槽钢构之间压紧压实,再缠绕一圈玻璃纤维毯,确保保温和密闭良好。

供料槽上部直管玻璃液面处也是容易产生玻璃滞留的部位,在正常工作温度时,供料管上部直管玻璃液面距直管缩径处的距离是 $25\sim 50\text{mm}$ (不动层厚度)为最好,要做到这一点就是要在铂金通道设计是考虑前后压损计算,并且要实测实际的玻璃液面,在实际生产过程中,因为通道压损和玻璃引出量及玻璃温度相关,在调整玻璃引出量和玻璃温度时要考虑对不动层厚度的影响。

搅拌槽上部玻璃液面处玻璃滞留与供料槽上部直管处情况相同,不同的是经过搅拌槽的玻璃要经过搅拌,调整搅拌棒转速或搅拌棒高度明暗条纹的位置和强度有明显的影响。

参考文献:

- [1]赵彦钊 殷海荣主编《玻璃工艺学》、化学工业出版社。
- [2]干福熹主编《现代玻璃科学技术-特种玻璃与工艺》、上海科学技术出版社
- [3]干福熹主编《玻璃的光学和光谱性质工艺学》、上海科学技术出版社
- [4]王承遇、陶瑛主编《玻璃性质与工艺手册》、背景化学工业出版社

论“L”管工艺与成型工艺及产品质量的关系

宁小永

(彩虹集团(邵阳)特种玻璃有限公司, 邵阳市, 422000, ningxy@ch.com.cn)

摘要: 本文主要是对于 L 管在超薄玻璃生产过程中的主要作用及和产品质量关系进行说明, “L”管顾名思义是连接供料管与马弗炉溢流砖的一根 L 形金属管道, 是熔融玻璃从熔解到成型马弗炉溢流砖的必经之路, 因此其本身必须具备耐高温、耐侵蚀、易加热、变形小等特性, 并且 L 管整体位置及温度的设定均对产品的质量起着至关重要的作用。

关键字: L 管, 马弗炉, 溢流砖

On the relationship between "L" tube technology and forming technology and product quality

NING Xiaoyong

(Cai-hong Group (Shaoyang) Special Glass Co., LTD, Shaoyang, 422000, ningxy@ch.com.cn)

Abstract: This article is mainly for the L tube in the main role in the process of glass production and the relationship and the quality of the products, just as its name implies is to connect "L" tube feeding tube muffle furnace and a l-shaped metal pipe, overflow brick of the muffle furnace is molten glass from melt to molding the overflow brick path, so its itself must have a high temperature resistant, corrosion resistance, easy to heat, and small deformation characteristics, and the L pipe position and temperature setting plays an important role in the quality of products.

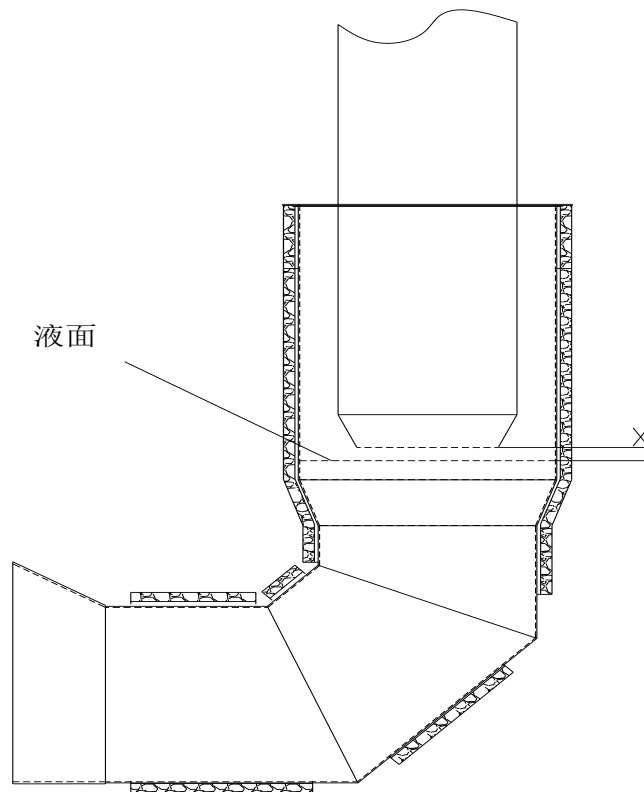
Key words: L tube, muffle furnace, overflow brick

技术背景

目前生产液晶显示器超薄玻璃的几种成熟的方法中, 以溢流成型法最为流行, 也相对的最为成熟, 熔融玻璃在整个流动过程中, 铂金管道是玻璃流在不同设备间的最好连接, 因此从溶解供料槽到达成型溢流砖之间的连接就是 L 管, 并且赋予了一定的加热单元, 不但有效的起到玻璃的导流作用, 还具备对玻璃的加热作用。L 管的设计目前被普遍采用, 工艺成熟、生产稳定。

一、L 管相对供料管的位置

供料管与成型 L 管的对接部位玻璃液面处是最容易产生玻璃滞留的部位, 一般来讲供料管插入是距 L 管液面 $\pm 25\text{mm}$ 的位置范围, 如图一。



图一

通过彩虹电子玻璃公司目前几条线体生产的运行工艺设定分析，供料管和 L 管液面控制在 $\pm 5\text{mm}$ 之间较为理想，这样此处产生的条纹、玻璃结的可能性才会比较低。如果供料管出口过高于 L 管液面，那么玻璃液从供料管到达 L 管内液面的距离加大，在玻璃液流下过程中对液面的冲击增大，产生卷入泡的可能性就会增加，而且暴露在空气中的玻璃液面积也会增大。另外供料管与 L 之间的保温非常重要，如果保温不好可能导致玻璃液温度不均，从而粘度发生变化，当粘度差异的玻璃在溢流砖沿溢时流量不同而产生局部厚度的变化形成“明暗条纹”。如果供料管插入 L 管液面以下时，此处的玻璃液不动层会增多，如果来料温度发生大的波动时导致粘度的变化影响到此处液面的变化打破不动层引发玻璃结的产生。所以供料管与 L 管液面的关系必须控制在一个较为合理的对应尺寸上才能减少不同欠点的发生。

二、L 管相对供料管位置与马弗炉 MSU 温度的关系

为对策熔解欠点或明暗条纹，马弗炉高度在进行调整时，马弗炉 MSU 温度也必须做相应的调整以满足玻璃板厚度的控制。马弗炉上升时，MSU 的温度要降低，降低时 MSU 温度要升高，其规律是 20mm 对应 1°C 。马弗炉高度的调整其实是改变了供料管内玻璃液进入马弗炉溢流砖的时间长短，当马弗炉升高时，玻璃液降温路程减短，高温玻璃快速进入溢流砖，因此必须适当的降低 MSU 的温度。当马弗炉降低时供料管内的玻璃液降温路程增长，较低温度的玻璃液进入溢流砖，MSU 就应该升温保证厚度的分布。

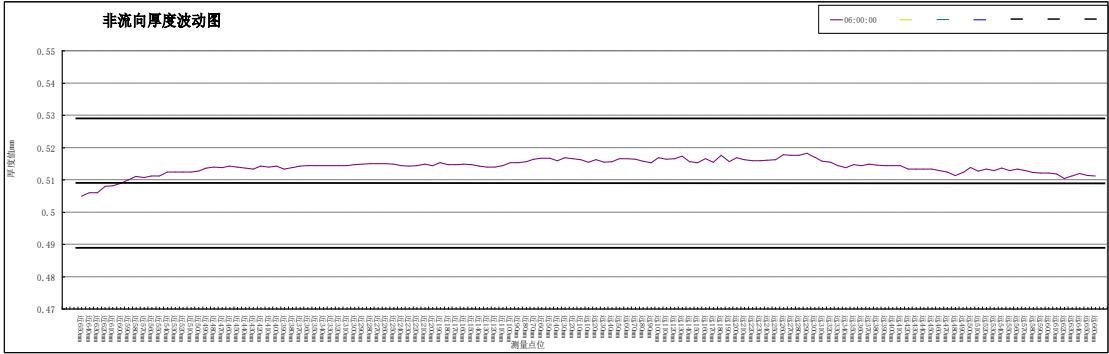
三、L 管各段的温度控制

L 管温度的设定和马弗炉工艺、产品厚度关系非常紧密，与产品的翘曲、应力也有一定的关系。

1、L 管温度与马弗炉 MSU 温度的关系

L 管 C、D、E、F、G、H、I、J、K、L 加热温度的高低直接会影响到马弗炉上层四根加热棒 MU1L、MU1R、MU2L、MU2R 加热量的变化，因为经过 L 管对玻璃液的加热，玻璃液在进入

溢流砖后，高温流动性增强，玻璃液会快速向远端流动，但为了产品厚度的要求 MSU 的温度将会人为降低，因此必须通过降低四根加热棒功率来达到将温度的目的，从而影响到整个马弗炉内的温度梯度，温度梯度的变换将会逐步延伸至成型区、退火炉。当 L 管温度过高时，马弗炉 MSU 的温度必须做更大的降温才能平衡掉 L 管温度的升高，当 MSU 温度过低时，厚度会发生变化，玻璃板中部明显厚于边部，如图二。

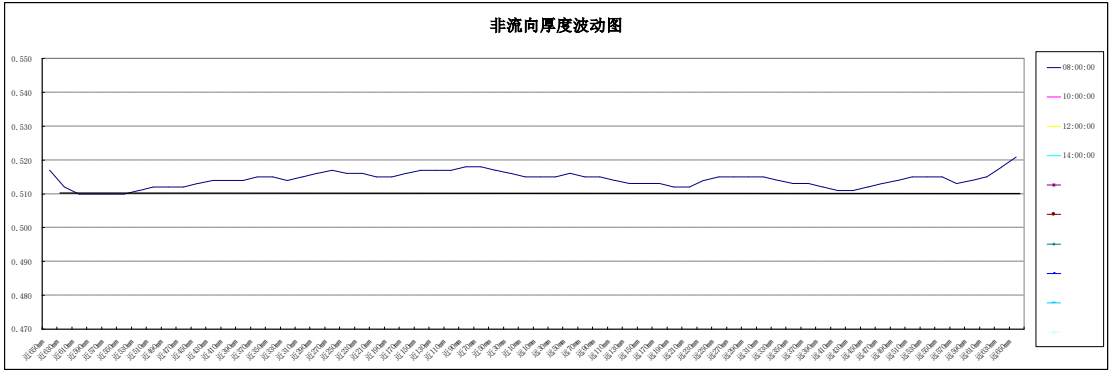


图二

在马弗炉溢流砖设计定型和来料流量控制到位后，从设计原理来讲，马弗炉 MSU 的温度就基本就定在了某个合适的温度，最终整生成型产工艺也就定型了，那么 L 管温度的调整将直接改变了 MSU 温度和整个成型生产工艺的设定，所以说 L 管温度的调整将会改变成型的整个生产工艺，因此 L 管温度的设定非常慎重，通常情况下不做调整，尤其是 L 管末端四个加热器的调整影响更大。

2、L 管末端 I、J、K、L 加热器对厚度的影响

通常情况下 L 管末端四个加热器的调整对马弗炉 MSU 的影响更大，如果末端四个加热器温度升高，MSU 必须进行温度降低来配合玻璃板厚度的调整，末端加热器的调整可有效改善玻璃板边部的厚度分布，如图三。



图三

如上图中的厚度，玻璃板两个边部厚度偏厚，那么可以通过对 L 管末端四个加热器温度的升高来改改善厚度分布，否则相反。

四、L 管温各加热单元和马弗炉角部立棒的关系

由于 L 管加热单元功率的大小决定了厚度边部的薄厚，为了使铂金挡板处的玻璃液饱满、足量，减缓挡板析晶的产生，日常生产工艺控制过程中尽可能的保证挡板温度，那么最有效的保温不是加热，是有足够的玻璃液不断流经挡板，通过高温玻璃不断的带离挡板处的流动性差的残留玻璃。因此 L 管功率过大可能造成溢流砖两个端部玻璃料量减少（实际是 L 管温度高造成玻璃液在溢流砖溢流面重新分布），从而导致挡板缺少足量玻璃液的包覆逐渐残留玻璃的积累形成玻璃析晶，一旦挡板析晶产生会造成玻璃板边部厚度的不稳定、翘曲的不稳定，很大程度上影响到生产的正常进行，最终被称之为大小料。那么在生产的初期必须

合理控制各辅助棒的功率和 L 管功率的设定，避免工艺控制下线的长期运行，杜绝大小料的产生。

参考文献:

- [1]赵彦钊 殷海荣主编《玻璃工艺学》、化学工业出版社。
- [2]干福熹主编，《现代玻璃科学技术-特种玻璃与工艺》、上海科学技术出版社。
- [3]干福熹主编，《玻璃的光学和光谱性质工艺学》、上海科学技术出版社。
- [4]王承遇、陶瑛主编《玻璃性质与工艺手册》，背景化学工业

高性能盖板玻璃抛光工艺研究

许星星, 仵小曦*, 王志安

(彩虹集团(邵阳)特种玻璃有限公司, 咸阳, 712000, 568194929@qq.com)

摘要: 随着智能手机产品的飞速发展, 手机行业对盖板玻璃的性能要求进一步提高, 不仅具有良好的光学性还要兼具美观, 随着 5G 通讯技术的发展与不断成熟, 进一步促进无机玻璃材料在手机盖板上的应用, 玻璃材质的手机外壳可以有效的减小手机外壳对手机电磁信号的屏蔽作用, 大大提高手机的信号稳定性, 高性能锂铝硅玻璃具有优良光、热和力学性能, 是极具潜力的手机盖板材料。本文从满足手机玻璃抛光的工艺要求出发, 分析抛光过程中各工艺参数对曲面手机玻璃的表面质量、材料去除率的影响, 探索抛光过程的最佳工艺参数, 为手机玻璃抛光技术的推广应用提供参考。

关键字: 高性能锂铝硅玻璃, 抛光

Study on polishing process of high-performance mobile phone glass-ceramics

Xingxing XU, Xiaoxi WU, Zhian WANG

(Cai-hong Group (Shaoyang) Special Glass Co., LTD Xianyang City, Shanxi Province 712000, CHN, 568194929@qq.com)

Abstract: With the rapid development of smart phone products, the performance of cover glass is required to be further improved in the mobile phone industry. It not only has good optical properties but also has beautiful appearance. With the development and continuous maturity of 5G communication technology, further promote the application of inorganic glass material on the mobile phone cover plate. The glass mobile phone shell can effectively reduce the shielding effect of the mobile phone shell on the mobile phone electromagnetic signal, and greatly improve the signal stability of the mobile phone, high-performance glass-ceramics has excellent optical, thermal and mechanical properties and is a potential cover material for mobile phones.

Key word: High Performance, Polishing

1 引言

伴随着智能手机的飞速发展, 手机盖板玻璃已经有最初的起保护作用有机塑料发展为价格便宜、性能优异的无机玻璃材质。其中, 高性能锂铝硅玻璃手感优良具有轻薄、耐刮花和机械性能优异的特点, 目前市场上的手机盖板玻璃以非晶态高铝硅玻璃为主, 厚度在 0.4mm 至 1.3mm 之间, 高性能锂铝硅玻璃具有优良光、热和力学性能。目前盖板玻璃的抛光大多采用柔性毛毯进行抛光, 抛光液成分为氧化铈 (ZrO_2)。

手机的屏幕与后盖是人们选择手机的关键因素之一, 相关产品屏幕与后盖也从最初的平面逐渐发展为 2.5D 曲面和 3D 曲面。随着 5G 通信技术的发展, 金属机壳屏蔽成为一重大问题, 因此, 在 5G 时代智能手机极可能将摒弃现有的金属后盖, 改而采用非金属材质。

抛光作为曲面手机玻璃的最后一道工序, 其目的是为了获得理想的透光率、表面粗糙度, 从而获得高质量的加工表面, 曲面手机玻璃抛光是一种精密加工技术, 本文从满足曲面手机

玻璃抛光的工艺要求出发,分析抛光过程中各工艺参数对曲面手机玻璃的表面质量、材料去除率的影响,探索抛光过程的最佳工艺参数,为曲面手机玻璃抛光技术的推广应用提供参考。

2 抛光技术及发展现状

目前国内传统的制造业单位仍然使用抛光磨轮磨具进行机械抛光,使用这种工艺抛光过的工件,外表虽然光滑无毛刺,但没有明显镜面效果,表面粗糙度只能达到 $Ra0.15\mu m$ 左右。到了 20 世纪 80 年代初,一些新型的抛光技术在我国才得到迅速的发展。目前在国际上,超精密抛光技术处于领先地位的国家主要是美国、德国、英国和日本。英国的克兰菲尔德大学(CranfieldUniversity)研制的 Nanocentre 可进行超精密磨削和抛光,表面粗糙度可达到 $Ra10nm$ 以下,代表了世界先进水平[2]。目前抛光技术和方法有如下两种:

2.1 非接触抛光

非接触抛光是指工件不与抛光垫接触,而通过磨料和工件的表层发生作用使表面变得平整的方法。该方法利用了许多物理化学间交叉学科之方法,其对工件表层的去除非常少,是现在比较前沿的表面磨抛工艺,这种方式有很多具体的实施方法可以大致分为软球弹射法、磁流变法、浮法、水流法等。弹性发射抛光是柔性小球高速撞击工件表面,使得工件表面的突起部分被去除,这种抛光方法的优点在于可以获得低损伤超光洁表面,但缺点也很突出,主要是严重依赖设备且成本高。磁流变法以磁流变体的特性而开发的一种新型工艺,磁流变体在空隙之间由磁力作用使液体抛光液中产生固体特性,从而对工件进行磨削,使工件表面突出部分被切削,从而实现表面超精密研磨抛光,这种磨削的优势在于没有磨损但磁流变抛光液制作复杂、成本高。浮法顾名思义,让平板玻璃悬浮在抛光液之上进行抛光的处理,平板显示面板玻璃的最表层粒子和磨料间相互接触摩擦,使得工件最外层原子被去除,达到原子级抛光效果且表面的亚损伤非常少,但这种方法对设备的精度要求极高。如图 2 为磁流变抛光原理图:

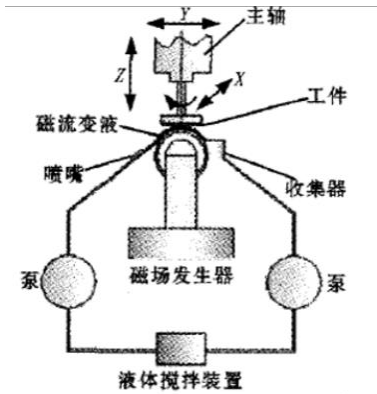


图 1 磁流变抛光原理图

2.2 直接接触抛光

直接接触抛光既可以采用柔性抛光垫使工件在压力作用下陷入抛光垫中进行抛光,也可以使用大量柔性的抛光丝制成毛刷形式在高转速下对工件进行扫抛光,但两者原理是相同的,都是使工件与抛光材料直接接触摩擦达到抛光效果。对于直接接触抛光的原理有多种理论,一般认为磨料与工件之间既有三体摩擦又有二体摩擦,其中三体摩擦是指磨料、抛光盘和工件三者相互接触,都发生了相互位移,在这种情况下,工件表面压入、犁动等作用同时起效。二体摩擦是指固结磨料和工件两个物体之间相互作用这种条件下,磨料只

与工件之间发生位移，两者相互作用，使得工件表面被磨料耕犁和微切除，因此这种摩擦行为使得磨粒能够更加深入地对工件表面进行研磨，而加工后的表面质量也要高于前者，图 1 给出了研磨抛光原理示意图，其中 A 是研磨过程示意图，B 是三体摩擦过程示意图，C 是二体摩擦过程示意图：

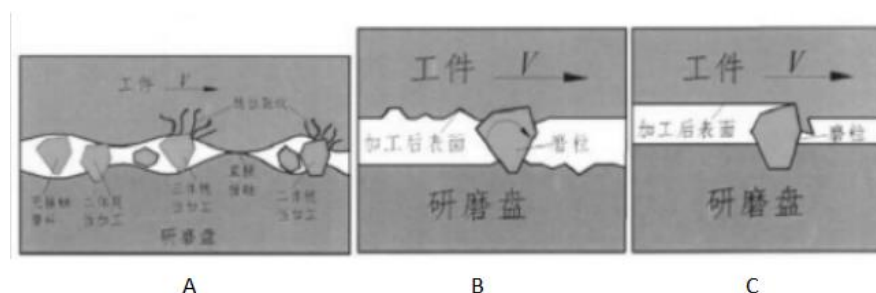
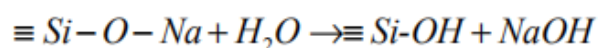


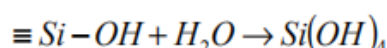
图 2 研磨抛光原理示意图

2.3 氧化铈抛光原理

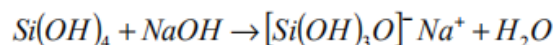
硅酸盐玻璃共有两种结构，一种是 $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ 结构，另外一种 $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Na}$ 结构，玻璃 中部分结构会与水发生水解反应：



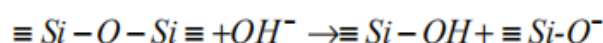
这一交换反应又会产生如下反应：



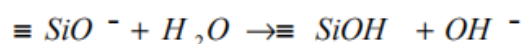
随后生成的 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 会与 NaOH 进一步反应：



以上三个反应互为因果，循环进行，反应速度取决于离子交换反应 2.2 的进行程度，因为此式决定着官能团 $\equiv\text{Si}-\text{OH}$ 和 NaOH 的生成速度。此外，水解反应得到的自由 OH^- 负离子又会进一步对硅氧骨架 $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ 玻璃表面发生亲核进攻作用，即 OH^- 对 $\text{Si}-\text{O}$ 键中的 Si 具有强烈吸引作用，使得 $\text{Si}-\text{O}$ 键发生断裂而造成玻璃整体破坏进而造成二氧化硅结构的破坏：

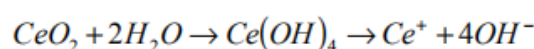


另外，产生的另一个断裂端可以与水分子结合：



反应产物 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 是称之为硅酸凝胶物质，硅酸凝胶是一高度分散 SiO_2-OH 系统，除了一小部分的硅酸凝胶能部分溶于水之外，大部分都附着在玻璃表面形成一层 很薄的变质软层。

除了水和水蒸汽侵蚀的侵蚀外，氧化铈与玻璃表面也会产生化学交互作用



同时玻璃中的硅酸盐会与氧化铈发生化学反应会生成大量的 $\text{Si}-\text{O}-\text{Ce}$ 键，而 $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ 的断裂则会进一步促进水解反应。高结晶度氧化铈颗粒具有强烈的形成 $\text{Si}-\text{O}-\text{Ce}$ 键的倾向，而与水反应进一步循环，最终形成更易于机械去除的软层。

3 实验准备

3.1 实验设备

3.1.1 研磨设备

本次曲面手机玻璃是采用苏州赫瑞特电子专用设备科技有限公司 D16B2M-T-J 型研磨机对玻璃进行减薄，该研磨机的转速在 0-60rpm 之间，采用三相交流异步电机，变频调速，起动及停机平稳，无冲击，可以防止玻璃破损，且内齿圈可以自动升降，并设置了内齿圈下降极限位置定位装置，便于取放工件及修正轮，太阳轮的高低位置通过对其内垫圈的增减进行调整，可以根据抛光情况调整高铝硅微晶手机玻璃放置的位置，设备如图 3 所示：



图 3 研磨机

3.1.2 抛光设备

本次高铝硅微晶手机玻璃是采用深圳赛贝尔自动化设备有限公司 DM-42-6P 型多功能弧面抛光机对玻璃进行抛光。

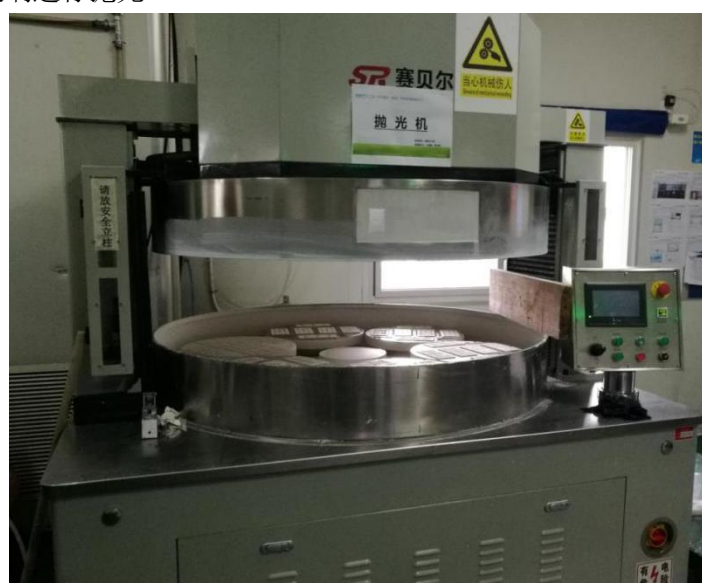


图 4 多功能弧面抛光机

3.2 玻璃预加工

为了快速去除微晶玻璃因多线切割机切割造成的表面凹凸不平及减少抛光时间对玻璃整体平整性的影响，保证所有的高铝硅微晶手机玻璃在抛光前表面粗糙度都保持一致。实验中，研磨机的工艺为见下表 1 所示：

工序	工序时间		下盘速度 r/min	太阳轮速度 r/min	加压时间 S	压力 KP
	min	s				
1	0	30	10	2	15	80-120
2	15-25	0	25	5	10	80-120
3	0	30	10	2	15	80-120

此工艺是将经多线切割机切割后的 0.900mm 玻璃片在 15-25min 内减薄至 0.750mm，研磨后的玻璃表面无切割线痕。

3.3 玻璃抛光

在抛光过程中，对玻璃的表面粗糙度和材料去除率的影响因素很多，本次实验主要探究抛光液浓度、加工压力和时间对材料去除率和表面质量的影响。每组因素取三个水平组成三水平三因素的 L9 正交试验表，如表 2 所示，其他实验非变量因素选择：，抛光液流量为 150ml/min。

表 2 正交实验水平因素

水平因素	抛光液浓度 A (mg/ml)	时间 B (min)	加工压力 C (kg)
1	0.5	40	180
2	0.8	60	200
3	1	80	220

3.4 工艺参数对抛光效果的影响

本实验探究考察参数主要为玻璃的厚度减少量和透亮度，采用电子精密测厚仪对玻璃抛光前后的厚度进行测量，如图 4 所示：



图 4 电子精密测厚仪

厚度减薄量计算公式：减薄量（mm）=减薄前厚度（mm）- 减薄后厚度（mm）

每个玻璃取三个点测量其平均减薄量，然后取平均值作为此工件的减薄量，每个水平取三个玻璃的平均值作为此水平下的整体减薄量。

试验号	因素			结果	
	抛光液浓度 A (mg/ml)	时间 B (min)	加工压力 C (kg)	减薄量 (μm)	透亮度
1	0.5	40	180	8	发朦
2	0.5	60	200	14	微透亮
3	0.5	80	220	19	半透亮
4	0.8	40	180	17	微透亮
5	0.8	60	200	25	几乎透亮
6	0.8	80	220	36	透亮
7	1	40	180	22	微透亮
8	1	60	200	45	透亮
9	1	80	220	63	透亮
K1	14	16	16		
K2	26	28	28		
K3	43	40	40		
R	29	24	24		

如图 5 所示随着抛光液浓度的增加，玻璃的减薄量不断增大，厚度不断下降，透亮度不断提高，这是因为因为抛光液中氧化铈磨粒对高性能玻璃所起到的化学腐蚀作用和物理机械作用较为显著，随着浓度的增加，氧化铈磨粒与玻璃表面的接触总面积也随之增加，进而提高了表面质量。

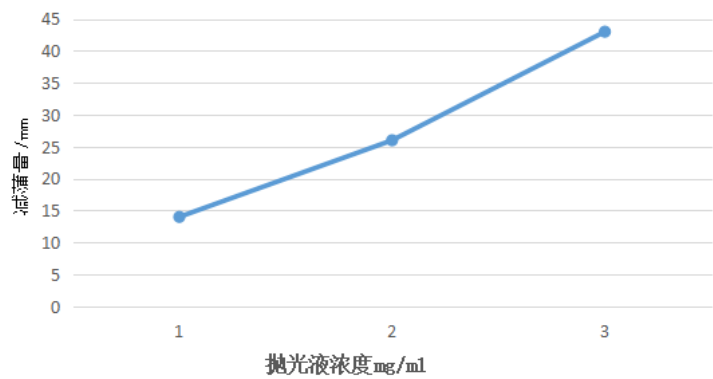


图 5 抛光液浓度对减薄量的影响

如图 6 所示随着抛光时长的增加，玻璃减薄量逐渐增加，透亮度不断提高，这是因为随着抛光时间的增加，高性能玻璃表面与氧化铈颗粒的接触时长增加而使玻璃表面的去除率增加，透光性增加。

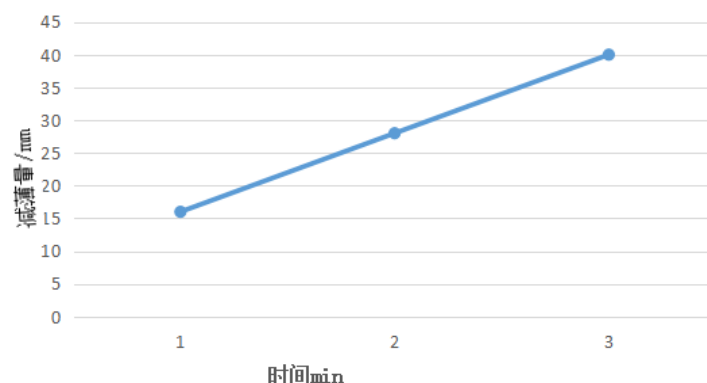


图 6 时间对减薄量的影响

如图 7 所示,随着加工压力的增大,玻璃表面粗糙度也随之下降,厚度逐渐下降,透亮度也随之提高,这是因为加工压力的增加会使得毛毯和玻璃的接触面积增大,接触更充分,物理机械作用增大,单位时间内的磨削量增大,提高了表面质量。

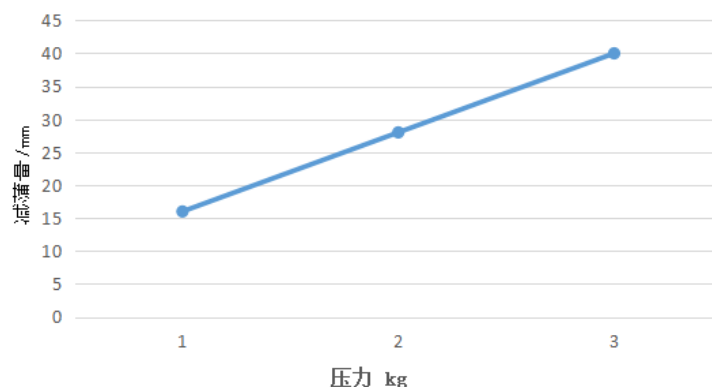


图 7 压力对减薄量的影响

根据以上对材料去除率影响因素实验分析所知,时间,抛光液浓度和加工压力三个因素对玻璃抛光效果的影响基本是相当的,结合加工效果和时间因素,确定获得高铝硅曲面玻璃最佳的材料去除率的抛光加工参数组合为 A3B2C2。即浓度为 1mg/ml、时间 60min 和加工压力为 200kg。

4. 总结

(1) 在化学去除的机理中,抛光液对高铝硅玻璃有着较为明显的侵蚀作用,玻璃中部分结构会发生水解反应,而氧化铈则会与硅酸盐发生化学反应生成大量的 Si-O-Ce 键,从而导致玻璃表面硬度的下降,加速机械去除速度。

(2) 对高铝硅玻璃进行了抛光实验,并根据实验结果进行了参数优化。实验结果表明:在抛光液浓度为 0.5mg/ml、0.8mg/ml 和 1.0mg/ml 的抛光液中,抛光液浓度越高,则抛光后的表面质量越好,且厚度减薄量增大。

参考文献:

[1] 张超. BK7 光学平面玻璃环抛工艺实验研究[D].湖南大学,2018.

- [2] 任鹏.3D 玻璃抛光液的制备及其性能研究[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(04): 159-160.
- [3] 王远, 李焕峰.曲面手机玻璃的一种抛光工艺[J].玻璃, 2017, 44(04): 40-43.
- [4] 杨向东, 陈文军.聚氨脂抛光垫表面开槽加工工艺研究[J].装备制造技术, 2016(10): 87-89+94.
- [5] 赵忠会.铈在工业技术领域的应用[J].稀土信息, 2016(06): 27-29.

柔性显示用盖板材料的发展趋势

张莉, 李党会

(彩虹集团(邵阳)特种玻璃有限公司, 咸阳, 712000, zl4000@163.com)

摘要: 随着 OLED 显示技术的成熟, 柔性显示逐渐浮出水面, 并有望发展成为中长期内显示技术的主流。对于承担触控、感知、保护和美观功能的盖板部件而言, 柔性化对其带来了新的挑战。超薄玻璃(UTG)和无色透明聚酰亚胺(CPI)是目前发现的最有潜力的两种柔性盖板材料。本文对国内外柔性盖板材料的技术、产业和市场进行了分析, 结合彩虹集团在此方面的一些前瞻研究, 探讨了超薄盖板玻璃未来的可能发展趋势, 对 UTG 的加工技术、竞争格局、行业挑战进行了研究和归纳, 尤其是对复合堆叠材料(Hybrid Stack Material, HSM)技术的发展潜力进行了分析。

关键字: 柔性显示器, 无色聚酰亚胺, 超薄玻璃, 减薄, 复合堆叠材料

The technology trend of cover materials for flexible displays

ZHANG Li, LI Danghui

(Cai-hong Group (Shaoyang) Special Glass Co., LTD Xianyang City, Shanxi Province 712000, CHN, zl4000@163.com)

Abstract: This article analyzes the technology, industry and market of flexible cover materials, and introduces the basic characteristics, processing techniques, advantages and disadvantages of the colorless polyimide and ultra-thin glass.

As well as, combining the forward-looking studies in Caihong Group in this field, the paper discusses the future development trend of flexible cover material, involved in the UTG processing technology and its competitive pattern, especially the development potential of composite stacking material technology.

Key word: Flexible displays, Colorless Polyimide, Ultra Thin Glass, Hybrid Stack Material

一、柔性显示正逐渐成为显示技术主流

随着 OLED 显示技术的日趋成熟, 柔性显示也逐渐浮出水面。在智能手机增长遇到瓶颈的背景下, 柔性屏无疑成为各品牌追求差异化、寻找新卖点的最好出口。2019 年 2 月 21 日, 三星正式发布全球首款可折叠屏手机 Galaxy Fold, 紧接其后的 2 月 24 日, 华为也发布了全球首款支持 5G 通信的折叠屏手机 Mate X, 自此正式进入了柔性显示的商业化时代。据统计, 截止目前, 全球共有十余款手机有折叠屏机型发布, 几乎涵盖了几乎所有的一线大厂。

正因如此, 2019 年被称作“柔性显示元年”。根据 IHS/Omdia 的预测, 2020 年全球折叠 OLED 面板需求将达到 830 万枚, 同比大增 453%。2025 年时, 市场规模将达到 5340 万枚, 2020-2025 年间的年均复合成长率将达到 45%。

对于柔性 OLED 而言, 柔性化的盖板玻璃必不可少, 对手机应用而言, 这往往意味着数万次甚至十万次以上、不同方向的折弯, 而且应当具备透明、超薄、足够硬度、耐磨、抗摔、以及高透光率等诸多特点, 这对柔性盖板材料提出了严峻的要求。不仅如此, 随着柔性技术的进展, 今后柔性显示还将从目前的有限角度折弯(foldable)向卷曲(wrapping)乃至卷绕(winding)形态演进, 对盖板材料的要求将越来越高。

可折叠显示设备列表									
品牌	三星	华为	Royole	OPPO	小米	中兴	Lenovo	TCL	三星
型号	Galaxy Fold	Mate X / Xs	FlexPai	原型机	原型机	nubia-α	MOTO RAZR	DragonHinge™	Galaxy Z Flip
图片									
应用	手机/平板	手机/平板	手机/平板	手机/平板	手机/平板	手表/手机	手机	手机/平板	手机
折叠类型	In-folding	Out-folding	Out-folding	Out-folding	Out-folding	Out-folding	In-folding	In-folding	In-folding
显示参数	4.58" 1960x840 7.29" 2152x1536	8.03" 2480x2200	7.8" 1920x1440	7.7" 2480x2160	7.4" 1920 x 1440	4.01" 960x192	4.86" 2340x1080 6.5" 2960x1440	7.2" 2048x1536	6.7" 2636 x 1080 1.1" 300 x 112
显示供应商	SDC	BOE	Royole	SDC	Visionox	Visionox	BOE	CSOT	SDC
触控方案	Touch on TFE (Y-OCTA)	Metal line (AP1S)	Metal line (AP1S)	Touch on TFE (Y-OCTA)	Touch on TFE (TOT)	AP1S	?	?	Touch on TFE (Y-OCTA)
触摸传感器供应商	SDC	DoogWoo	DoogWoo	?	Visionox	?	?	?	SDC
盖板方案	无色PI	无色PI	无色PI	无色PI	无色PI	超薄玻璃(肖特)	无色PI	无色PI	超薄玻璃(肖特)
发布时间	2019 MWC	2019 MWC / 2020 Feb	Oct 2018	/	/	2019 MWC	Mar 2019	2019 MWC	Feb 2020
预计发售时间	April 2019	2020 Mar	Now	/	/	April 2019	?	/	/
售价	\$1,980	€2,299 / €2,499	CNY 8,999	/	/	€ 449	\$ 1,500	/	\$ 1,380

图 1 几种典型的柔性显示屏产品

二、两种柔性盖板材料的基本性能及其特点

1、CPI 简介

目前，最有潜力充当柔性盖板的两种材料是无色聚酰亚胺（Colourless PI，CPI）和超薄玻璃（Ultra Thinning Glass，UTG），其中现阶段 CPI 为主流。由于 PI 本身呈淡黄色，因此需要开发无色透明的 PI。但 CPI 量产难度较大，为此，也有些厂商尝试混合多种有机材料，如混合 PI，PMMA，PET 和 PU 来制作柔性盖板，但是效果并不理想，也很难量产化。

PI 制备方法主要是由二胺和二卤化物合成并经酰亚胺化形成聚酰亚胺，产品形态有薄膜、液态和粉末等多种。日本住友化学、韩国 SKC-Kolon 是现阶段 CPI 的主要供应商，前者供应了三星 Galaxy，后者则是华为 Mate X 和 Moto Razr 供应商。为满足需求，包括中国厂家在内，各方对 CPI 的投资相当热络。Kolon 新厂（2 号厂）预计 2021 年量产，届时其总产能将达到 85 万 m²/年。在国内，Rayitek 公司正在投资 16 亿美元新建生产线，一期工程于 2019 年 5 月开工。

CPI 不但其单体配方较难，而且生产难度大，是最高等级的聚酰亚胺产品，导致其价格昂贵，大约 350-500 元/平方米（这还不含表面硬涂层成本），成为制约 CPI 大规模应用的重要因素之一。

目前，生产聚酰亚胺薄膜大致分为两步。第一步是合成聚酰亚胺薄膜，第二步是将薄膜形成亚胺化。常用的成膜方法包括铝箔胶合工艺（也称为浸渍法），浇铸法和流涎-双向拉伸（双轴拉伸）法等几种。其中，流涎法工艺复杂，需要大量投资，产品价格高，但产品质量高，适合于柔性盖板等高附加值应用场合，有望成为 CPI 的主流生产工艺。

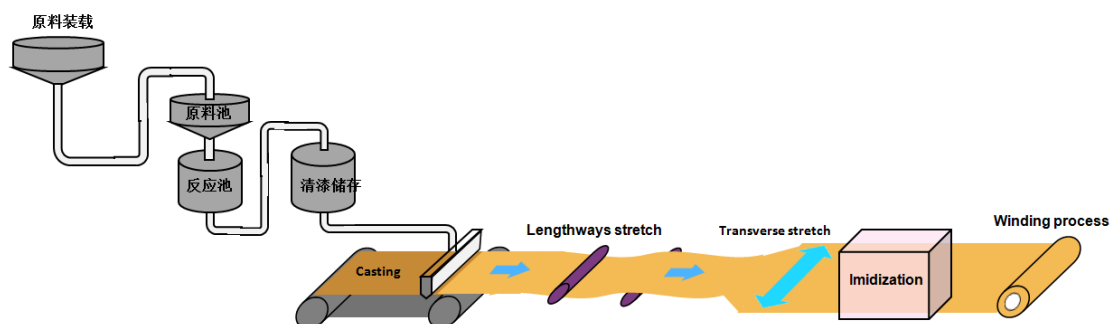


图 2 流涎-双向拉伸工艺生产 CPI 薄膜

目前，有机材料厂家仍在围绕着 CPI 的性价比提升而持续发力。比如，韩国 Kolon 公司 2020 年 1 月时申请了“交联改善 PI 尺寸稳定性”的专利（专利号 US 10538665），通过引入含羧酸官能团的二胺化合物，使得 PI 在 50 至 500° C 的宽温域下具有 5 ppm / ° C 或更低的热膨胀系数，而且 PI 薄膜的抗张强度为 250 至 350 MPa，伸长率为 13 至 15%，尺寸稳定性明显提高。

从材料本征属性（Intrinsic Attributes）出发，CPI 作为有机塑料，其用于柔性盖板材料存在两方面的挑战，一是如何实现低 CTE（热膨胀系数）/高模量和高透明度/低 Rth 之间的平衡，二是折叠（弯曲）耐力和冲击保护/表面抗划痕之间的平衡。为此，通过对单体成分、聚合物添加剂（氟添加剂）、酰化化学和工艺条件的改进，有可能开发出更好的产品。

表 1 CPI 的主要性能指标

光学	透明度	>90%
	色度 b*	<2
	R _{th}	Low
热学	T _g (°C)	>300 (for cover and TP substrate)
		>450 (for TFT substrate)
	T _{d10} (°C)	>400 (for cover and TP substrate)
		>500 (for TFT substrate)
	CTE (ppm/°C)	<20 (for cover and TP substrate)
其他	化学耐久	High
	表面性能	High scratch resistance
	折叠性能	

虽然现阶段 CPI 是主流的折叠盖板材料，但它显然并不完美，如，质地比较软，容易起皱，不耐刮，有塑料感，时间一久容易泛黄从而降低透光率，等等。

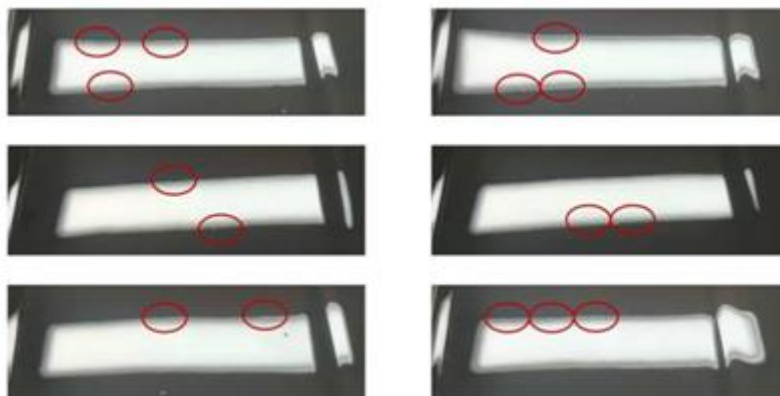


图 3 某折叠手机在使用 100 天以后在 CPI 盖板表面出现了细小皱纹和凹痕

2、UTG 简介

超薄玻璃(UTG)是另一个承担柔性封装盖板材料。普通玻璃是脆性材料，但当玻璃厚度 $\leq 100\mu\text{m}$ 时，其性质会发生诸多重要改变，如具有柔软性，可以弯曲卷绕，被称为柔性玻璃。

玻璃具有良好的平整度和透明度，耐热稳定，经过表面强化的高铝硅玻璃（铝含量 13% 以上）是目前电子产品盖板材料的主流选择。由于玻璃目前已经成功应用于盖板材料，形成了成熟的产品供应链和庞大的加工产能，所以对柔性盖板而言，只要玻璃原片的厚度变得足够薄从而使其实现弯曲，则可以在尽可能保留现有生产体系的情况下，就可实现柔性盖板的生 产。UTG 玻璃厚度小于 100 微米，可弯曲到数毫米的半径，而且不易产生弯曲疲劳，同时，UTG 玻璃还具备耐划伤、耐高温以及突出的水氧阻隔性能等优势。

2020 年 2 月，三星最新发布的折叠屏手机 Galaxy Z Flip 上采用了全新的 UTG 玻璃方案，有望推动 UTG 玻璃在折叠屏领域的快速渗透和产品需求的持续提升。

对于 UTG 而言，目前有两种基本实现方案，一是一步成型法，也就是在玻璃厂家直接产出超薄玻璃，使用时无需进行减薄，一步成型法又可以根据具体成型工艺而进一步细分为溢流法、浮法和窄缝法，这些都是目前大量量产的玻璃基板和盖板玻璃等的成熟制造工艺；二是两步成型法，也就是对目前的主流电子玻璃进行减薄，直到其厚度减薄至 100-70 微米，甚至更薄，具体也有化学减薄法和再拉法之分。就现阶段而言，虽然已经有厂家宣称能够直接生产 50 甚至 30 微米的玻璃，但仍然尚未进入批量应用阶段，所以目前较为现实的方案还是两步成型法，也就是通过减薄来进行。三星 Galaxy Z Flip 本次也是该路线。

必要的实操表明，对于二步法 UTG 技术而言，主要的难点在于：第一，化学强化。超薄玻璃化学强化时很难准确控制到 $30\mu\text{m}$ 的层深(DOL)；第二，薄化。从 $100\mu\text{m}$ 到 $30\mu\text{m}$ 薄化后如何保证表面的平整度，相当困难，薄化后的玻璃只有 $30\mu\text{m}$ ，很难通过化学抛光或机械抛光来进一步调整平整度。第三，边缘强度，因为裂纹总是从边缘出现，因此盖板玻璃都需要边缘强度，超薄玻璃也不例外，虽然其工艺难度很大。

减薄是 UTG 批量应用的基础，其最大的挑战在于如何保证减薄以后玻璃的质量，尤其是表面光洁度。跟踪目前国内外的一些专利，结合彩虹集团及其合作伙伴的一些基础实验，负压覆膜方案较为可行，如中国专利 201320525394.3。减薄时，先在一块铝硅酸盐玻璃（假设 $100\mu\text{m}$ ）的一面（A 面）贴上一层保护膜，对 B 面进行化学强化（B 面形成 DOL 层），然后在 A 面剥离保护膜，同时在 B 面（有 DOL 层的一面）贴上另一层保护膜，对 A 面进行薄化（蚀刻）工艺，直到玻璃厚度从 $100\mu\text{m}$ 降到 $30\mu\text{m}$ ，剥离保护膜，经过特殊的边缘强化工艺，提高强度等级。

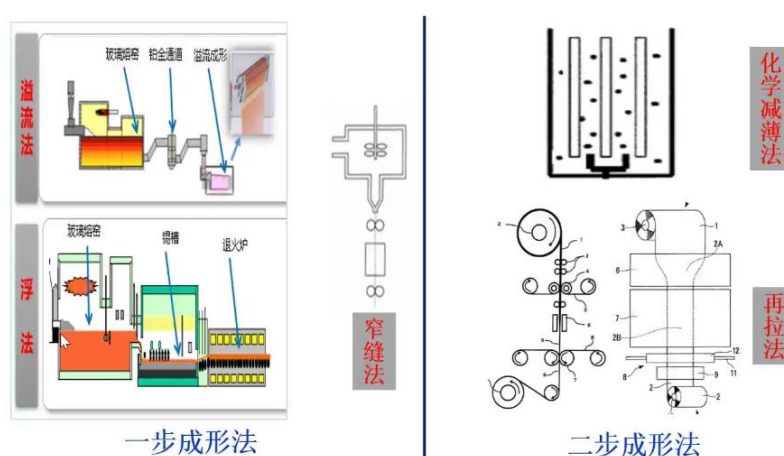


图 4 UTG 的一步和两步成型工艺

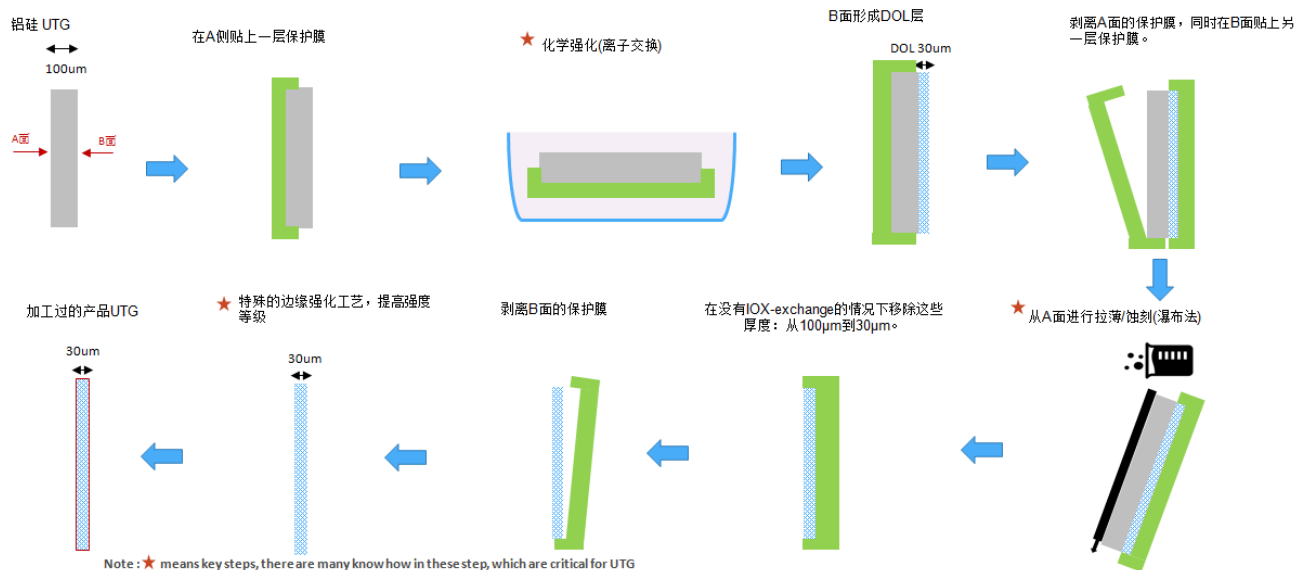


图 5 UTG 的减薄工艺

上图给出了相对完整的减薄流程，采用的是瀑布法（顶喷式蚀刻）。众所周知，化学减薄有不同的结构形式，如浸泡式、侧喷式、顶喷式等，各种工艺都有其优缺点。对于顶喷式而言，尤其是相对于传统的浸泡式蚀刻工艺而言，顶喷式适合于更大面积的基板，且玻璃原片装夹与仓储方向一致，从而降低搬运中的破损率，而且刻蚀残液的清理相对容易，刻蚀效率较高。实验表明，如果前处理液处理得当，则刻蚀时间最快时只需大约一刻钟，比目前小时级别的刻蚀时间提高数倍。不过，顶喷式作业过程中，刻蚀均匀性不易把控，同时，玻璃下部尤其是下边沿处可能会存在一定的刻蚀缺陷，因此需要对刻蚀设备进行认真研发。如果能够采用先进控制与传感技术，能够进行实时厚度检测，则刻蚀良率可望达到 98-99% 以上，而且减薄后玻璃的表面质量基本上能够满足客户需求。

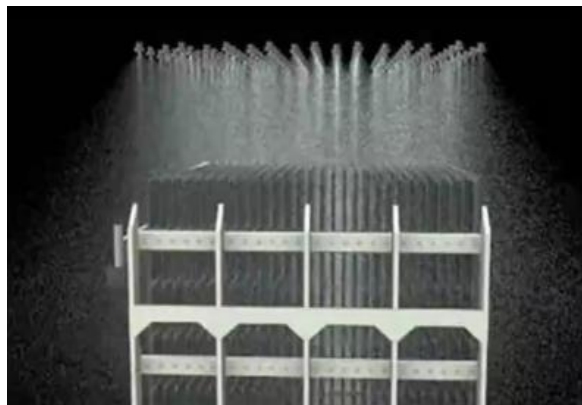


图 6 瀑布式（顶喷式）刻蚀作业

表面粗糙度 / μm^2	玻璃种类 ^{a)}		
	玻璃原片 0.15mm ^{a)}	化学减薄 0.05mm ^{a)}	视窗强化 0.07mm ^{a)}
1 ^{a)}	0.01 ^{a)}	0.006 ^{a)}	0.005 ^{a)}
2 ^{a)}	0.009 ^{a)}	0.013 ^{a)}	0.007 ^{a)}
3 ^{a)}	0.01 ^{a)}	0.006 ^{a)}	0.007 ^{a)}
4 ^{a)}	0.006 ^{a)}	0.005 ^{a)}	0.008 ^{a)}
5 ^{a)}	0.006 ^{a)}	0.006 ^{a)}	0.004 ^{a)}
6 ^{a)}	0.01 ^{a)}	0.005 ^{a)}	0.003 ^{a)}
7 ^{a)}	0.007 ^{a)}	0.011 ^{a)}	0.003 ^{a)}
8 ^{a)}	0.007 ^{a)}	0.009 ^{a)}	0.005 ^{a)}
平均值 / μm^2	0.008 ^{a)}	0.008 ^{a)}	0.005 ^{a)}
标准偏差 / μm^2	0.002 ^{a)}	0.003 ^{a)}	0.002 ^{a)}

表 2 薄玻璃减薄前后的表面质量对比

在二步法方案下，玻璃加工厂家（减薄、强化等）将扮演极其重要的角色，丝毫不亚于玻璃原片供应商。比如，三星唯一的超薄玻璃精加工厂 Dowoosys 自 2014 年研发超薄玻璃钢化工艺。三星创投(SVIC) 2019 年向 Dowoosys 投资 80 亿韩元，拟将其产能提升至 30 万台/月。

减薄只是柔性盖板领域需要面临的挑战之一。薄玻璃的切割以及边缘部加工也是需要解决的难点。就切割而言，由于薄玻璃极其轻薄，因此目前常见的刀具切割很容易造成应力并出现破碎。相对而言，激光切割是较为理想的方案。康宁公司在其专利中提出了卷绕辊+冷却剂+汽浮平台+激光切割的解决思路，有可能较好解决超薄玻璃的切割问题。

虽然现阶段二步法占据 UTG 产业化的主流，但长期看，一步法（直接成型法）或将后来居上。事实上，美国康宁，日本旭硝子，德国肖特等大厂也都有各自进展，国内的彩虹集团等厂家开发进度也值得期待。

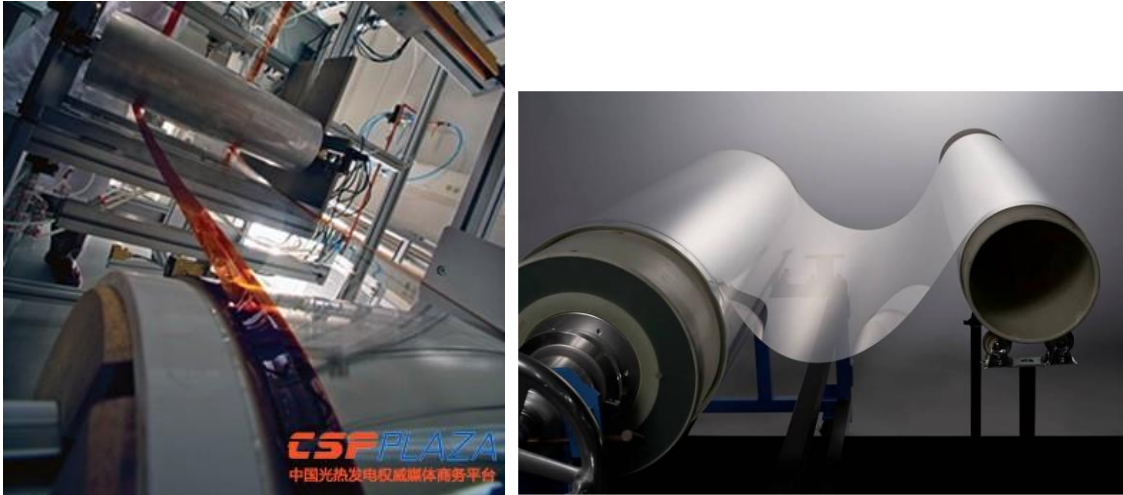


图 7 几家公司的超薄玻璃样品，左：康宁 Willow 玻璃；右：旭硝子 Spool 玻璃 (2014 SID, Sandiego, CA)

表 3 超薄玻璃（一步法）开发的若干重要里程碑

- 2012 年 美国康宁发布 Willow-Glass 玻璃，厚度为 $100\text{ }\mu\text{m}$ ，可以片式（sheet）或卷式（ribbon）供货
- 2013 年 德国肖特公司可批量供应 $25\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ 厚度的柔性玻璃
- 2014 年 日本旭硝子公司在美国圣地亚哥 SID 上展出了用浮法制成的厚度为 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的柔性玻璃 SPOOL
- 日本电气硝子公司在 FPDChina 展会推出了用溢流法制出厚度为 $30\text{ }\mu\text{m}$ 的柔性玻璃 G-Leaf
- 2020 年 韩国 Dowoosys 将为三星独家提供薄于 $100\text{ }\mu\text{m}$ 的 UTG 方案，采用肖特玻璃原片 AS 87 eco。

肖特的 AS 87 eco 是迄今为止全球首款量产化的可折叠式 UTG。作为 D263T eco 的升级版，AS 87 eco 可直接用下拉法成型，理论上无需进一步的薄化处理，在 500×400 或 $440\times 360\text{mm}^2$ 的片材尺寸下，可以薄到 $70\sim 350\mu\text{m}$ 。AS 87 eco 具有优良的离子交换（强化）性能， $70\mu\text{m}$ 玻璃的弯曲半径小于 2mm ，而如果不进行离子交换，则其弯曲半径不足 15mm 。肖特目前正在增加超薄玻璃的产能，目标 $100\text{ 万m}^2/\text{年}$ 。

表 4 几款超薄玻璃的性能比较

比较	AS 87 eco (Xensation [®] FlexOne)	D263t eco	薄化的铝硅玻璃	无碱玻璃（玻璃基板）
类型	铝硅玻璃	硼玻璃	铝硅玻璃	无碱玻璃
品牌	肖特	肖特	玻璃加工厂家	肖特，康宁，旭
CTE ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$;	8.7	7.2	7-10	~ 3.3
厚度公差 μm	± 10	± 10	± 25 or more	$\pm 10\sim 20$
介电常数 (1MHz)	7.7	6.7	7-7.7	~ 5
维氏硬度	689	570	640-690	580
CS	$> 800\text{ MPa}$	$> 250\text{ MPa}$	$> 700\text{ MPa}$	不能化学强化
DOL	$> 50\text{ }\mu\text{m}$	$> 15\mu\text{m}$	NA	不能化学强化
弯曲强度	$> 800\text{ MPa}$	$> 300\text{ MPa}$	$> 700\text{ MPa}$	$\sim 100\text{ MPa}$
静态压力 $\varnothing 10\text{mm}$ 钢	$> 30\text{ kgf}$	$> 10\text{ kgf}$	$> 20\text{ kgf}$	$\sim 10\text{ kgf}$

三、复合堆叠材料介绍

虽然一步法超薄玻璃值得期待，但即便两三年后一步法玻璃实现量产，其面临的挑战仍然不少，比如强化过程依然充满挑战。为此，有厂家正在研究将塑料和玻璃两种材质予以复合，从而能发挥其各自优势。

CPI 具有良好的弯曲性能，但其光学性能和抗划伤性稍显不足，因此需要在 CPI 上溅射一层硬质涂层。

虽然 UTG 的硬度较好，但其抗冲击性略显不足。UTG 在遇到强烈冲击时很容易破裂，所以 UTG 作为折叠盖板镜片的最外面仍有困难，需要在表面贴上一层保护膜。为此，有厂家提出在 CPI 和可折叠显示器之间层压一层 UTG 基板，UTG 基板作为 CPI 层的支撑性硬基。或者，将 UTG 层压在两个功能型 PET 膜之间，第一 PET 旨在减震吸收，第二 PET 膜旨在防碎。但这样的堆叠结构会比预期的厚，因为 OCA 的层数多，会影响可折叠半径。为此有厂家进一步提出，采用镀膜法或溅射法直接在超薄玻璃上做无色 PI 或 PET，以代替贴合工艺，这样的改进可以减少一层 OCA 和总厚度。虽然这些思路都还未得到广泛验证，但显然值得期待。

	CPI	UTG
硬度（硬化	软	硬
表面的附加涂层	N/A	保护涂层
平整度	一般	好
厚度	≤ 50 μm	≤ 100 μm
透光率	91.5-92%	87-90%
抗划伤	一般	增加额外涂层后存在变数
耐高温性能	300°	600° 以上
外观	中端	更高端
折叠可靠性	好	目前正常
可折叠半径	好	目前正常

表 5 CPI 与 UTG 的主要性能比较

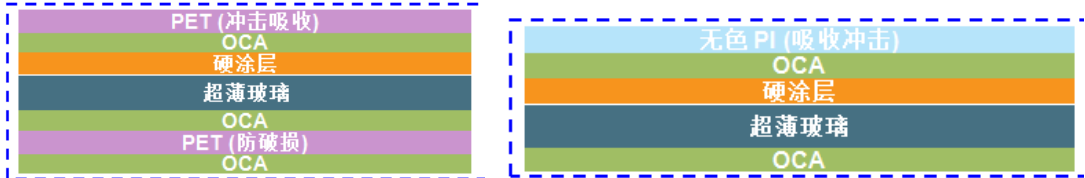


图 8 复合堆叠材料结构的两种基本结构

中频磁控反应溅射氧化硅薄膜(SiO_x)绝缘性的研究

沈奕, 冯兆昌, 郑丹旭, 张汉焱*

(汕头超声显示器技术有限公司, 广东省 汕头市 515041, yishen@goworld-lcd.com)

摘要: 本文采用兆欧表测量电阻的方法, 研究中频磁控溅射氧化硅(SiO_x)薄膜的绝缘性。XRD 确认溅射产物为无定型 SiO_x 。兆欧表探针接触薄膜瞬间的电阻 R_i 与 FTIR 图谱位于 900cm^{-1} 波数附近的吸收峰 a 和 760cm^{-1} 附近的吸收峰 b 相关。随着 R_i 增加, 吸收峰 b 红移, 峰高 a/b 比值上升, SiO_x 薄膜含氧量 x 增大。 R_i 偏低的异常品经过 250°C 热处理, 可达到正常产品的阻值范围。镀膜腔室内氧浓度的异常变化是生产过程中 SiO_x 薄膜绝缘性下降的原因。

关键字: 中频磁控溅射, 氧化硅薄膜, 绝缘性, 电阻, 傅里叶变换红外光谱, 含氧量

Research of insulation of silicon oxide film produced by medium frequency magnetron sputtering

SHEN Yi, FENG Zhaochang, ZHENG Danxu, ZHANG Hanyan*

(Shantou Goworld Display Technology Co., Ltd., Shantou 515041, CHN, yishen@goworld-lcd.com)

Abstract: The insulation of medium frequency magnetron sputtered silicon oxide films were surveyed by resistance measurement with megohm meter. XRD reveals the film is amorphous. Resistance of the moment when the probe on the megohm meter attaches the SiO_x film (R_i) is related to the absorbing peaks near wavenumber 900cm^{-1} (peak a) and 760cm^{-1} (peak b) on FTIR spectrum. As R_i rises, peak b shows red shift and a/b peak height ratio rises. It can be concluded that R_i rises as content of oxygen in SiO_x film grows. The abnormal products with lower R_i can be recovered to normal range by 250°C heating treatment. The insulation decrease of SiO_x films in production process may be caused by abnormal change of oxygen concentration in the chamber.

Key words: medium frequency magnetron sputtering, silicon oxide coating, insulation, resistance, FTIR, oxygen content

1 前言

二氧化硅具有高绝缘性和良好的化学稳定性, 是触控面板行业的一种关键材料, 常用于制作绝缘层、阻隔层薄膜。它还具有高可见光透过率, 通常和二氧化钛(TiO_2)、氧化铌(NbO_x)、氮化硅(Si_3N_4)等材料构成复合膜系, 起到减反射(Anti-reflection)、消除 ITO 电极影等光学效果^[1, 2]。在磁控反应性溅射中, 随着反应条件的变化, 生成产物的含氧量 x 可以偏离化学计量比 $x=2$ 状态, 在电性能、光学性能上与 SiO_2 呈现出一定程度的差异, 为了体现含氧量的影响, 以 SiO_x 来表示。

中频磁控溅射是电容式触摸屏(CTP)生产过程中采用的主流制程工艺, 具有连续生产、高溅射速率、适合大尺寸面板的技术特点。公司以该制程为核心, 形成较深的技术积淀, 发表多篇论文及发明专利, 在全球率先把一体式触摸屏(One glass solution, OGS)批量应用于车载触控显示的生产企业, 目前用于车载 OGS 触摸屏出货量居全球领先。在监控生产过程

中，我们发现 SiO_x 薄膜存在偶发的绝缘电阻值异常偏低现象。由于 CTP 的工作模式对微电流变化敏感，如果器件绝缘性不良，则静电等外界干扰因素容易引发信号异常或误触发，影响产品电性能表现，严重时可能造成产品功能性失效。CTP 器件要求绝缘层薄膜具备高绝缘性和良好的电阻均一性。因此，研究 SiO_x 薄膜绝缘性异常原因和改善方法对提升产品良率有重要意义。

2 实验

2.1 样品制备

在玻璃基板上依次制作衬底层、光学介质层($\text{NbO}_x+\text{SiO}_x$)、图形线路层和保护涂层，形成图 1 所示的产品结构。本研究的测试样本取自图中第 2 步骤完成 SiO_x 镀膜的中间产品。

SiO_x 薄膜通过中频磁控溅射镀膜机制备，设备配有旋转式硅靶，真空度由真空控制系统按照预设程序进行调节。 Ar 、 O_2 气体流量通过程序控制的流量系统实时监测并动态调节。

4. 保护涂层+油墨丝印图形
3. 图形线路层
2. 光学介质层 ($\text{NbO}_x \text{ SiO}_x$ 薄膜)
1. 玻璃基板 + 衬底层

图 1 产品结构

Fig1. Structure of the product

2.2 取样和测量方法

2.2.1 SiO_x 样品 XRD 分析

测试样品采用 XRD 扫描 2θ 范围 $10-70^\circ$ ，得到 SiO_x 样品衍射峰谱图和结构信息。

2.2.2 电阻值的测量

绝缘介质在外加电压下，可以表示为如图 2 所示的模型，流经绝缘体的电流可以分解为泄漏电流 I_L ，电容效应的充电电流 I_C 、介质吸收电流 I_A 三个分量。 I_L 来自绝缘介质本体的电阻特性，是外加电压下流经绝缘体的微小电流。 I_C 源自绝缘器件本身的电容效应。 I_A 是电容效应下充电后电荷释放耗散形成的。三者之中 I_L 随时间变化不显著，基本保持恒定；而 I_C 、 I_A 逐渐减小。总电流 I 呈现如图 3 曲线所示的变化趋势。

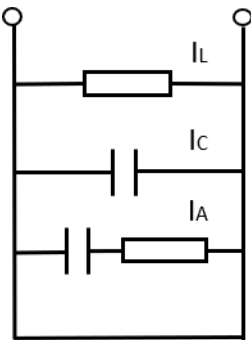


图 2 绝缘介质的电流模

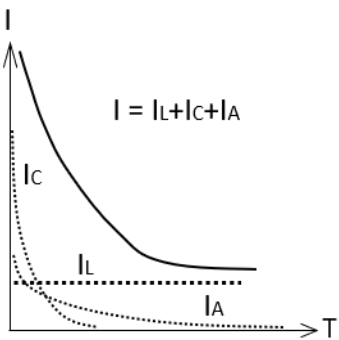


图 3 绝缘介质在外加电压下的电流变化曲线

Fig.2 Current model of insulator Fig.3 Current induced by external voltage applied to the insulator

根据兆欧表的伏安法测量原理，电阻 R 来源于测量流经兆欧表的微小电流 I ，根据图 3 绝缘介质在加电条件下的电流变化，电阻会呈现图 4 所示先增加后稳定的变化过程。CTP 器件需要合适的 R_i 和 R_t 以确保器件正常工作， R_i 偏低则易受外加电压干扰引起误触发，

R_t 偏低则可能导致微短路不良, 该 T-R 曲线可以反映外加电压下器件的绝缘特性。 SiO_x 薄膜的绝缘性可以通过兆欧表测量电阻值来评价。评价方法是: 测试样品玻璃基板上制作了多个产品单元, 每个产品单元内设置固定位置的取样点, 分别用兆欧表测量各取样点。测量时, 兆欧表探针直接接触取样点的 SiO_x 薄膜, 探针间距 1mm, 记录兆欧表示数随时间变化形成的 T-R 曲线。本实验所用的兆欧表最大量程为 $4000\text{M}\Omega$, 超过此量程的阻值以 “ $>4000\text{M}\Omega$ ” 表示。

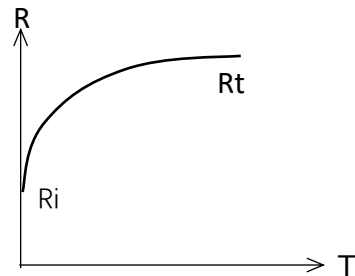


图 4 电阻测量过程中兆欧表的电阻曲线 (横轴 T 表示时间, 纵轴 R 代表电阻)
Fig.4 Resistance curve revealed by megohmmeter in the measuring process (“T” for Time; “R” for Resistance)

2.2.3 SiO_x 的 FTIR 表征

硅化合物在红外区存在典型吸收特征峰, 信号可识别度高, 通过 IR 光谱吸收曲线可以获得 SiO_x 结构相关的关键信息^[3-5], 在合适条件下, 还可以用于 SiO_x 薄膜中含氧量定量分析和膜厚测定^[6]。本研究采用 FTIR 分析 SiO_x 含氧量 x 的变化。从基板上切割出小片试样, 选取所需的取样点做 FTIR 分析, 获得 $650\text{-}4000\text{cm}^{-1}$ 波数的红外吸收曲线。

3 结果和分析

3.1 SiO_x 薄膜的 XRD 表征

根据图错误!未找到引用源。所示, XRD 谱图上未出现明显的衍射峰信号, 在 $10\text{-}40^\circ$ 范围形成宽阔的衍射谱线。结合相关研究报道^[7], 谱线特征与无定型 SiO_x 相符。

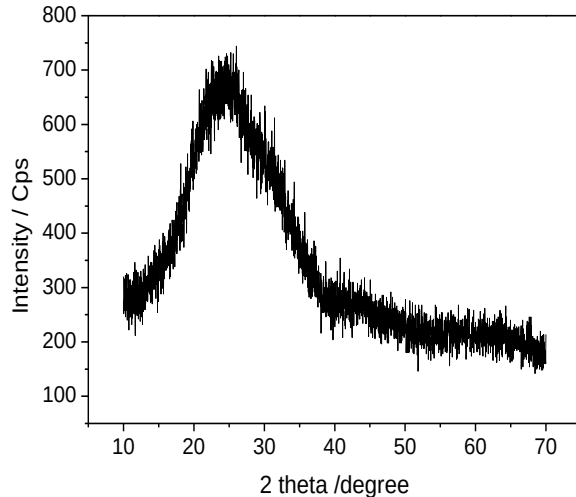


图 5 SiO_x 薄膜的 XRD 谱图
Fig. 错误!未找到引用源。 XRD spectrum of SiO_x coating

3.2 SiO_x 含氧量 x 与电阻值 R_i 的关系

从检出绝缘性异常的产品中, 对 R_i 偏低的取样点分别做 FTIR 分析, 得到图 6 所示的谱图。为方便分析和峰形结构比较, 所有谱图作了峰高归一化处理。

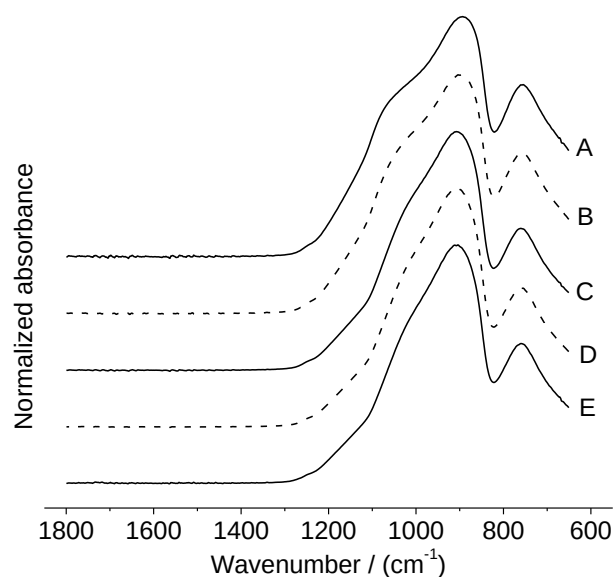


图 6 不同电阻值(R_i)测量点的 FTIR 谱线

Fig. 错误!未找到引用源。 FTIR spectrums of test points with different Resistance

各取样点的 R_i : A. 864M Ω , B. 1040M Ω , C. 1370M Ω , D. 3470M Ω , E. >4000M Ω

如图 6 所示, 900cm⁻¹ 波数附近存在一个强吸收峰(a), 760cm⁻¹ 附近存在一个次强峰(b), 1050cm⁻¹ 存在一个肩峰(c)。其中, a、c 吸收峰来源于 Si-O-Si 的非对称伸缩振动, b 吸收峰来源于 Si-O-Si 弯曲振动。^[4, 8, 9]比较各取样点 FTIR 吸收曲线, 发现以下变化趋势: (1) 随着 R_i 增大, b 吸收峰的封顶位置向高波数方向迁移(红移); (2) 吸收峰 a、b 的峰高比随着 R_i 增加而上升, 如图错误!未找到引用源。所示。

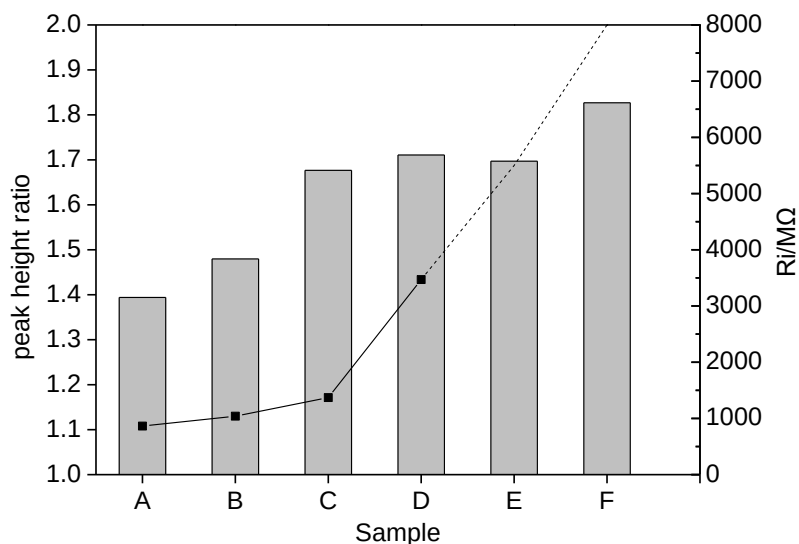


图 7 各个取样点的电阻值和红外吸收峰 a、b 的峰高比

Fig. 错误!未找到引用源。 a/b Peak height ratio of IR absorbance in different test points

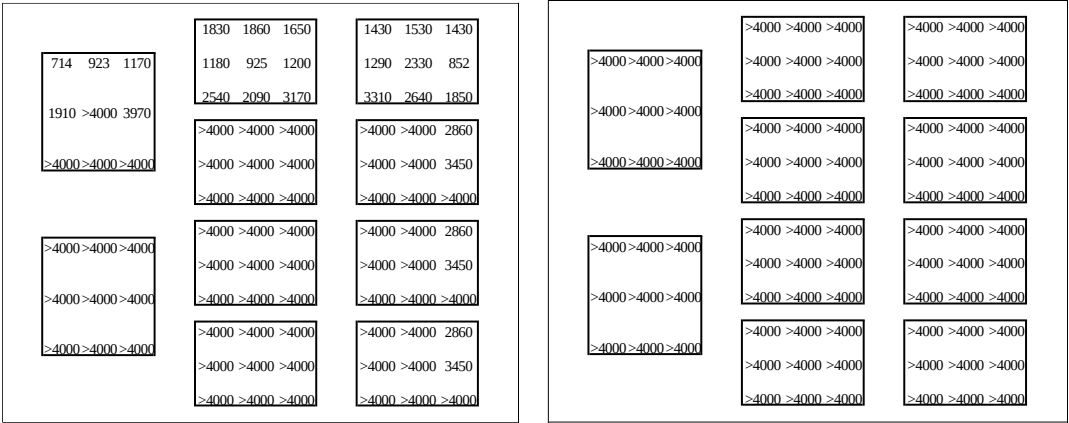
A. 864M Ω , B. 1040M Ω , C. 1370M Ω , D. 3470M Ω , E. >4000M Ω F. >4000M Ω (正常产品抽样)

根据相关研究^[3, 6, 10], Si-O-Si 吸收峰的峰位、峰形的变化和氧化硅 SiO_x 中的含氧量 x 的变化有关、和膜层结构有关, x 增大, Si-O-Si 吸收峰红移, a/b 峰高比值上升。从上述变化趋势可以推断, SiO_x(x $\leq$ 2) 薄膜的电阻 R_i 和薄膜含氧量 x 相关: x 增大, R_i 呈上升趋势

势。

3.3 热处理对电阻值 Ri 的影响

Ri 局部偏低的异常品，在空气气氛下经过 250℃/30min 的热烘，再次测量电阻值，结果如图错误!未找到引用源。所示。Ri 偏低的测量点在热烘后 Ri 明显提升，恢复到正常品的水平。



退火处理前 退火处理后
图 8 热处理前后的电阻 Ri 变化对比(电阻单位 M Ω)

Fig.错误!未找到引用源。 Ri on the sample after annealing compared to inferior without annealing

样品热烘前后的 FTIR 谱线对比如图错误!未找到引用源。所示，谱线的变化符合图错误!未找到引用源。、图错误!未找到引用源。所示的变化趋势——即随着 Ri 增加，a/b 峰高比增大。该结果表明，热烘后 SiO_x 薄膜含氧量增加，x 增大。据此推测，SiO_x 薄膜沉积过程中，可能因局部缺氧而导致氧空位和不饱和键增加，如硅悬挂键^[11]，这类缺陷充当电荷陷阱而形成电容效应，造成薄膜的充电电流 Ic 增大，Ri 偏低，表现为 T-R 曲线有明显的电阻上升过程。热烘过程中，更多的 O 原子填充到薄膜中，缺陷减少，Ic 减小，Ri 上升。

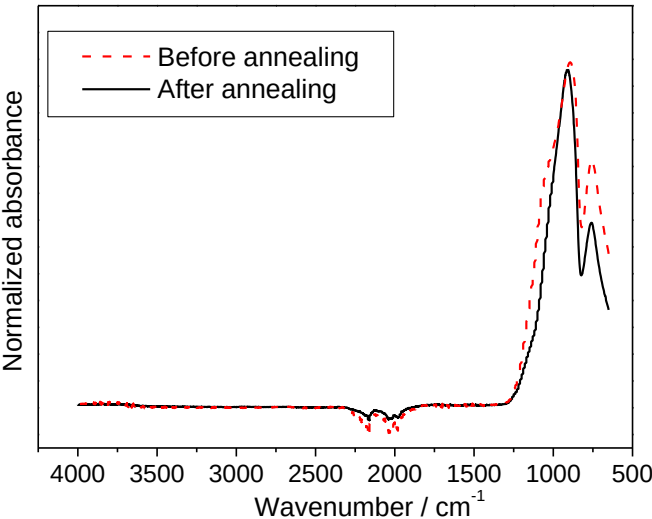


图 9 样品热处理前后的 FTIR 谱线

Fig.错误!未找到引用源。 FTIR spectrums of the sample before and after annealing

3.4 引起 SiO_x 薄膜绝缘性异常的因素

在磁控反应溅射 SiO_x 的过程中，O₂ 气体流量是调控 SiO_x 薄膜含氧量和溅射速率关键参数。中频溅射 SiO_x 与射频溅射的表现相似。^[12]实际生产过程的 O₂ 流量-电压曲线如图 10

所示，在 O_2 低流量区间，靶面处于高电压的金属态， SiO_x 产物计量比 $x < 2$ ，光学性能和电性能与 SiO_2 有较明显的差异；在 O_2 高流量区间，硅靶表面处于氧化状态，靶电压迅速降低，溅射速率明显下降，即“靶中毒”，此时的薄膜产物为化学计量数到略偏过氧态， $x \geq 2$ 。在 O_2 低流量和高流量区间之间，有一个靶电压随 O_2 流量剧烈变化的过渡区，且 O_2 流量从低→高和高→低的变化过程中，电压变化曲线呈现不同的路径，即反应性溅射中典型的“滞后效应”。^[12]实际生产中，通过控制程序对 O_2 流量实时调节，靶电压被精确调节在由图中两条曲线构成的滞回区间的前半部，接近金属态的高电压区间，以达到较高溅射速率，满足生产效率需求。此时产物接近化学计量比略偏金属态， $x \approx 2$ 。由于过渡区对 O_2 含量变化高度敏感，容宽度小，当镀膜腔室内 O_2 浓度偏低时，溅射进入金属态，生成产物 $x < 2$ ，薄膜空穴和不饱和键增加，而导致绝缘性下降。

从图错误!未找到引用源。Ri 分布可以看出，异常品 Ri 偏低是局部性的，表明溅射过程中异常品各部位的氧含量分布不均。跟踪生产过程发现，当镀膜腔室出现断车现象时（腔室内的运载小车排空），腔室内的气体空间突然增大，造成 O_2 分压下降，靶面电压升高，引起溅射速率和膜层氧含量变化，后续进入镀膜腔室的产品出现绝缘性异常波动的可能性增大。由于腔室气体重新恢复均匀状态需要一个过程，该过程中 O_2 的浓度分布不均会导致 Ri 局部偏低的现象。

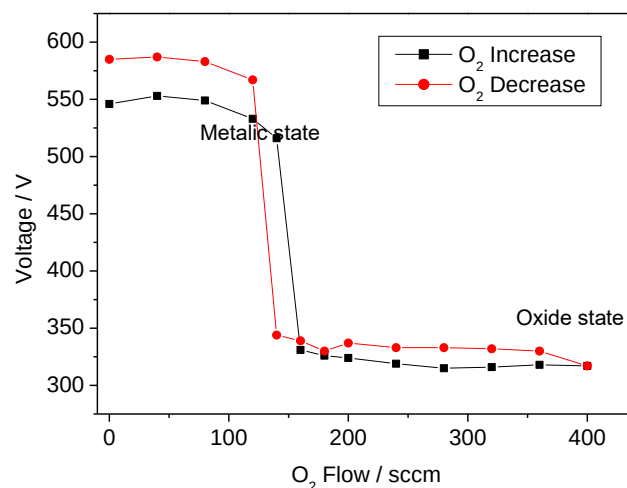


图 10 反应性溅射中的滞后效应

Fig. 错误!未找到引用源。 Hysteresis effect in reactive sputtering

4 结论

通过测试分析，确认了中频磁控反应性溅射的 SiO_x 薄膜为非晶态。 SiO_x 薄膜含氧量 x 的变化可以通过 FTIR 上-Si-O-键吸收峰峰高比值的变化进行表征。 SiO_x 含氧量 x 产物从在缺氧态($x < 2$)到化学计量比($x = 2$)的变化过程中，随着 x 增大，T-R 曲线上的 Ri 上升。镀膜过程中，腔室局部氧含量偏低造成薄膜含氧量下降，产品绝缘性异常。绝缘性异常的产品经过退火工艺处理后，绝缘性可以达到正常产品的水平。

参考文献:

- [1] 黄翀, 李成, 杨玮枫, 等. 电容触摸屏 ITO 消影膜的设计与制备[J]. 光电子技术, 2014,34(04):269-272.
- [2] 孟政, 刘静, 汪洪. 消影透明导电薄膜的光学设计与制备: 2015 年全国玻璃科学技术年会, 江苏宿迁, 2015[C].
- [3] He L N, Wang D M, Hasegawa S. A study of plasma-deposited amorphous $SiO_x \cdot H$ ($0 < x \leq 2.0$) films using infrared spectroscopy[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2000,261(1):67-71.

- [4] Pai P G, Chao S S, Takagi Y, et al. Infrared spectroscopic study of SiO_x films produced by plasma enhanced chemical vapor deposition[J]. Journal of Vacuum Science & Technology A, 1986,4(3):689-694.
- [5] Gole J L, Dudel F P, Grantier D, et al. Origin of porous silicon photoluminescence: Evidence for a surface bound oxyhydride-like emitter[J]. Physics Review B, 1997,56:2137-2153.
- [6] 何乐年. 等离子体化学气相沉积非晶 SiO_x : H (0≤x≤2.0) 薄膜的红外光谱[J]. 半导体学报, 2001,22(5):587-593.
- [7] 季一勤. 离子束溅射高性能 SiO₂ 薄膜特性研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2013.
- [8] Hofman R, Westheim J G F, Pouwel J, et al. FTIR and XPS studies on corrosion resistant SiO₂ coatings as a function of the humidity during deposition[J]. Surface & Interface Analysis, 2017,24(1):1-6.
- [9] 何乐年, 徐进, 王德苗. 反应 RF 磁控溅射法制备非晶氧化硅薄膜及其特性研究[J]. 真空, 2001(03):16-19.
- [10] 王慧, 刘静. 溅射 SiO_x 薄膜氧含量与红外特性关系研究[J]. 陶瓷, 2007(09):27-29.
- [11] 黄香平. 硅薄膜微结构及悬挂键缺陷研究[D]. 中南大学, 2010.
- [12] 许生, 侯晓波, 范垂祯, 等. 硅靶中频反应磁控溅射二氧化硅薄膜的特性研究[J]. 真空, 2001(05):1-6.

基于神经网络的金属氧化物薄膜晶体管器件模型

邓婉玲

(暨南大学, 广州, 510630, dwanL@126.com)

摘要: 金属氧化物薄膜晶体管具有迁移率较高、可低温制备等优点, 其应用范围已从显示面板电路扩大至柔性电路板上系统等。人工神经网络采用面向数据的方法, 能够在短时间内实现高精度、泛化性好的紧凑模型。本文采用基于 L-BFGS 算法的神经网络对金属氧化物晶体管进行建模, 并且结合粒子群算法和反向传播算法, 提出了混合建模方法, 充分利用群智能优化算法的全局搜索特性和神经网络算法的收敛能力。同时, 在损失函数中加入了小信号参数对模型进行改进。此模型在电路仿真软件中采用 Verilog-A 语言实现, 反相器和驱动电路等的仿真结果验证了该神经网络模型的有效性。

关键字: 金属氧化物薄膜晶体管, 粒子群算法, 人工神经网络

Modelling for metal-oxide thin-film transistors based on artificial neural network

DENG Wanling

(Jinan University, Guangzhou, 510630, CHN, dwanL@126.com)

Abstract: Metal-oxide thin-film transistor (MOTFT) has wide application potentials from display panel circuits to the system on panel, because of its higher mobility, low-temperature fabrication, etc. Artificial Neural Network (ANN) as a new data-oriented modelling method can build a device model with high accuracy and good generalization in a very short time. An ANN based on L-BFGS is used to model MOTFTs. Combined with particle swarm optimization (PSO) and back propagation (BP) algorithm, a hybrid modelling routine is proposed which enhances the global search and the convergence abilities of neural network algorithm. At the same time, small signal parameters are added into the loss function in training process to improve the accuracy of the modeling results. In addition, this ANN model was implemented in the SPICE simulator using Verilog-A. Basic inverters and a scan driver were simulated, and the excellent agreement between predictive values and measured ones proves that our hybrid modeling method is valid.

Keywords: metal-oxide thin-film transistor, particle swarm algorithm, artificial neural network

High performance hybrid quantum-dot light-emitting field-effect transistors

Penghui He, Linfeng Lan*, Junbiao Peng

(State Key Laboratory of Luminescent Materials and Devices, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China, hepenghui60@foxmail.com)

Abstract: As a novel multifunctional three-terminal active device, Light-emitting field-effect transistor (LET) has drawn much attention due to its special capability of combining the switching and the electroluminescence capacity in single device. Herein, we report a colour-saturated, highly efficient and stable red quantum-dot hybrid light-emitting field-effect transistor (QD-HLET), which combining a solution-processed InScO/ZnO-nanoparticle heterojunction channel layer and a deep-level organic hole transport layer (HLT). The red QD-HLET exhibits a field-effect mobility of $3.1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ with an on/off ratio of $\sim 10^5$, a maximum brightness of $145,000 \text{ cd m}^{-2}$ with a peak external quantum efficiency (EQE) of 22.8 % and low efficiency roll-off (an EQE of 17.0 % at a brightness of $100,000 \text{ cd m}^{-2}$). In addition, the operating stability of HLET is investigated by monitoring time-dependent change in the brightness of QD-HLET under various VGS, while an operational lifetime of more than 153,000 hours at 100 cd m^{-2} is achieved. A comprehensive study on the electrical and optical characteristics of the red QD-HLET under different operation modes is conducted, and an operation model is proposed.

反射/荧光双重模式胆甾相液晶微球

俞燕蕾

(复旦大学, 上海, 200433, ylyu@fudan.edu.cn)

摘要: 具有多种光学状态的材料是防伪领域的研究热点。开发反射/荧光模式下携带不同信息的防伪标签有助于提高防伪力度但极具挑战。本工作中, 我们提出利用胆甾相液晶结构色代替荧光材料染料色的策略制备了荧光胆甾相液晶, 并利用微流控技术将其制备成尺寸均一、取向有序的“双色”微球。利用结构色可变、荧光性质稳定的特点将荧光二维码隐藏在多彩的反射图案中, 实现了信息加密。这种双色油墨在防伪技术中具有加密和保护有价值的真实信息的潜力。

关键字: 胆甾相液晶, 结构色, 荧光, 毛细管微流控, 防伪

Geminate labels programmed by two-tone microdroplets combining structural and fluorescent color

YU Yanlei

(Fudan University, Shanghai, 200433, CHN, ylyu@fudan.edu.cn)

Abstract: Creating a security label that carries entirely distinct information in reflective and fluorescent states would enhance anti-counterfeiting level to deter counterfeits ranging from currencies to pharmaceuticals but has proved extremely challenging. Efforts to tune the reflection color of luminescent materials by modifying inherent chemical structures remain outweighed by substantial trade-offs in fluorescence properties, and vice versa, which destroys the information integrity of labels in either reflection or fluorescent color. Here, a novel strategy is reported to design geminate labels by programming fluorescent cholesteric liquid crystal microdroplets (two-tone inks), where the luminescent material is ‘coated’ with the structural color from helical superstructures. These structurally defined microdroplets fabricated by capillary microfluidic technique contribute to different but intact messages of both reflective and fluorescent patterns in the geminate labels. Such two-tone inks have potential for encryption and protection of valuable authentic information in anti-counterfeiting technology.

Keywords: cholesteric liquid crystals, structural color, fluorescence, capillary microfluidics, anti-counterfeiting

Growth dynamics of Wadsley phase V_6O_{13} crystal

Wen Zeng, Weiguang Xie

(Siyuan Laboratory, Department of Physics, Jinan University, CHN, 1109721458@qq.com)

Abstract: Vanadium oxide is a typical strongly correlated oxide with various functional property changes for application in novel electronics and photonics. One of the attractive feature is the strong correlation between properties and structural phase. As a typical Wadsley phase vanadium oxide, V_6O_{13} ($n=6$) adopts unique alternating single-layer and double-layer $V-O_6$ octahedrons structure which has long been considered as a promising cathode candidate for high-performance Li ion batteries. It exhibits site-selective metal insulating transition behavior and wide tuning of opto-electrical properties for opto-electrical applications. The mixed-valence feature and the thermodynamic instability of the Wadsley phase results in great difficulty in preparation of pure phase, which has long been the obstacle for the fundamental research and device application. The key issue is the understanding of the thermodynamic phase transition. In this study, we carried systematic investigation on the growth of pure phase V_6O_{13} . The morphology and intermediate phase transition of V_2O_5 film was traced in-situ at elevated temperature. A time and temperature slot, which allowed thermodynamic growth with stoichiometric ratio, was revealed for rapid growth of high quality V_6O_{13} .

The highlights of our study are listed as follows:

1. Growth of V_6O_{13} crystal sheet with controllable size up to millimeter was demonstrated. The V_6O_{13} crystal sheet shows atomic flat ($00l$) terrace, preferential growth along $[010]$ direction,
2. Thermodynamic investigation reveals a synergistic growth mechanism from melting and decomposition, that decomposition of V_2O_5 produces the nucleus, while the synchronous melting of V_2O_5 offers the driving force for the growth of V_6O_{13} .

This study provides first the understanding of thermodynamic phase transition of vanadium oxides. Second, it offers a viable and scalable method for the fabrication of pure phase mix-valence vanadium oxides.

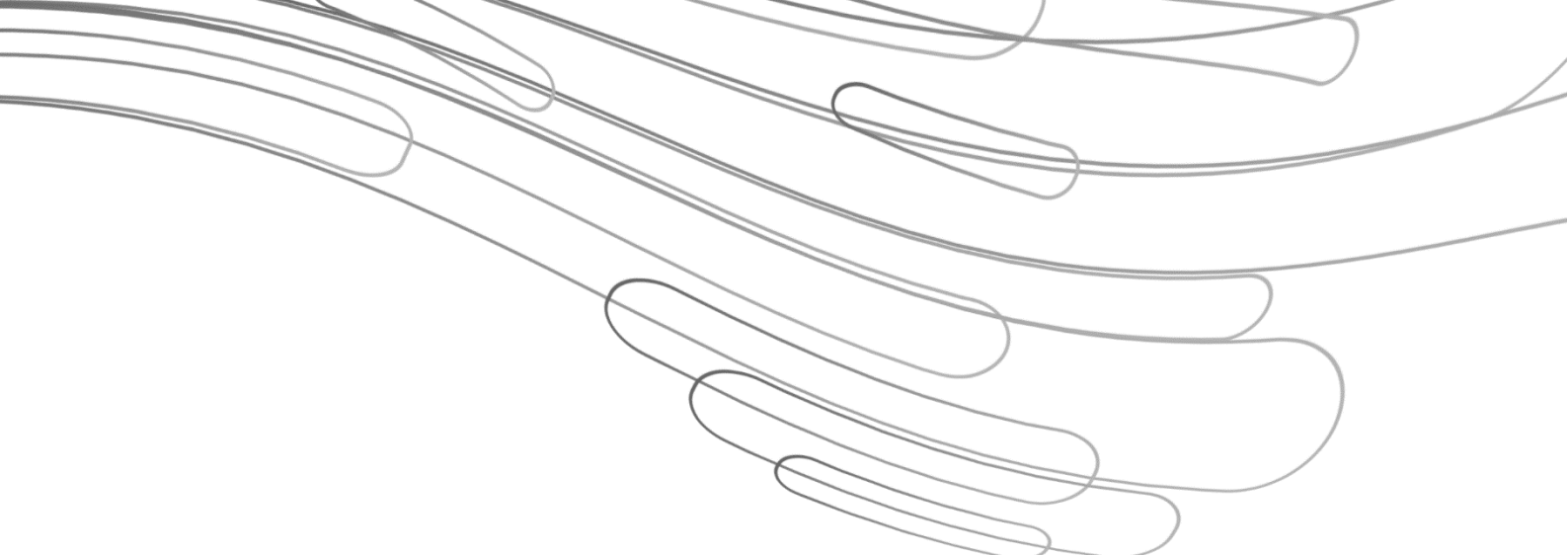
气相法制备钙钛矿薄膜

林东旭, 李新, 刘彭义, 谢伟广

(暨南大学, 思源实验室, 781893765@qq.com)

摘要: 钙钛矿材料具有优异的光电特性而备受关注。在钙钛矿太阳能电池 (PSCs) 中, 因其高缺陷容忍性和高效的光电转换效率 (接近单晶硅) 使其被认为有望进一步降低太阳能光伏的发电成本。在钙钛矿发光二极管 (PeLEDs) 中, 因其具有发光光谱窄, 色域广, 效率高和制备成本低等优势被作为下一代显示和照明技术的潜在应用技术之一。

目前, 实验室制备基于钙钛矿材料器件基本上采用的是溶液加工的方式。而我们课题组主要采用气相法制备钙钛矿薄膜和相关器件。气相法制备能够轻松实现大面积生产, 避免有毒溶剂使用。同时拓展了传输材料的选择范围以及无需考虑材料的溶解度问题。在气相法中, 我们主要围绕在钙钛矿材料的结构控制问题上。通过在 3D 结构的体、表面引入 2D 结构的钙钛矿材料使其稳定性得到提升。同时, 通过控制不同有机胺盐的比例, 利用混合蒸气制备出不同 n 值的 2D 钙钛矿材料, 具有在 PSCs 和 PeLEDs 上应用的潜力。



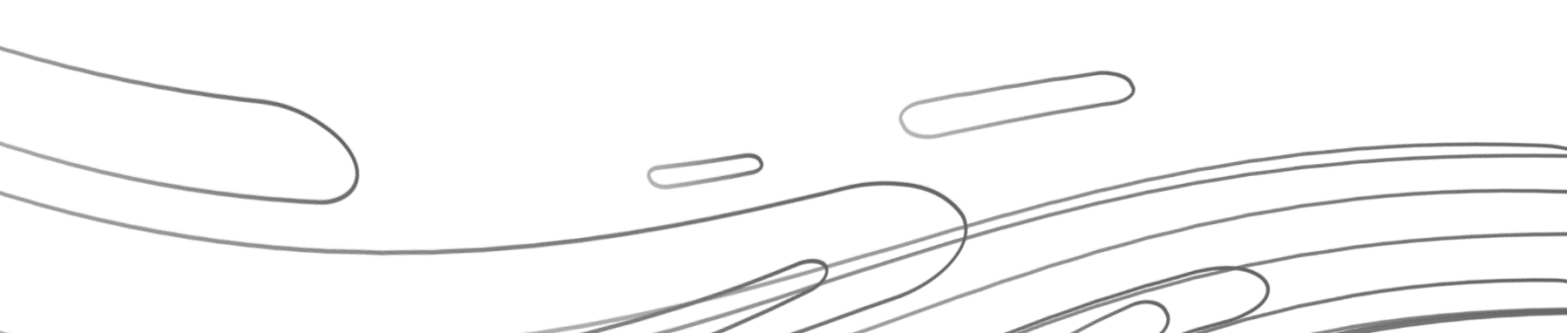
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第十一章

显示电子学



基于金属氧化物 TFT 显示应用的交叉耦合运算放大器

梅相霖, 刘玉荣, 吴为敬*

(华南理工大学, 广州, 510641, 283184502@qq.com)

摘要: 金属氧化物薄膜晶体管 (MOTFT) 具有高迁移率、低成本、均一性好及兼容柔性衬底等特点, 适用于显示驱动的 MOTFT 高性能运算放大电路设计成为研究热点。为提高开环电压增益, 我们设计了一个由共源级交叉耦合放大电路、差分转单端输出缓冲级和单端输入的共源级放大电路级联的多级运算放大电路。测试结果显示, 在 15V 电源电压和 2.58V 输入共模电平条件下, 该电路的开环差模增益为 28dB, 开环带宽为 1.53kHz, 单位增益带宽为 37.3kHz 和相位裕度为 31.5 度, 静态功耗为 0.137mW。实验结果表明, 多级运算放大电路能同时有效提高运算放大电路的电压增益和输出电压摆幅, 适用于基于 MOTFT 的柔性显示驱动电路中。

关键字: 金属氧化物薄膜晶体管, 交叉耦合, 运算放大器

An output-feedback level shifter employing metal oxide TFT for display application

MEI Xianglin, LIU Yurong, Wu Weijing*

(South China University of Technology, Guangzhou, 510641, CHN, 283184502@qq.com)

Abstract: Metal oxide thin film transistors (MOTFTs) have the characteristics of high mobility, low cost, good uniformity and compatibility with flexible substrates. The design of high-performance operational amplifier using MOTFT suitable for display driving circuits has attracted wide attention. In order to improve the open-loop voltage gain, we propose a multi-stage operational amplifier circuit cascaded by a cross-coupled common source stage, a differential to single-ended output buffer stage and a single-ended input common source amplifier circuit. The test result shows that under the condition of 15 V power supply voltage and 2.58 V input common mode level, the differential mode open loop gain of the circuit is 28 dB, the open loop bandwidth is 1.53 kHz, the unity gain bandwidth is 37.3 kHz and the phase margin is 31.5 degrees, static power consumption is 0.137mW. It is suitable for MOTFT-based display driving circuits.

Keywords: metal oxide thin film transistor, cross-coupled, operational amplifier

参考文献:

- [1] Kim K.; Choi K.Y.; Lee H. a-InGaZnO Thin-Film Transistor-Based Operational Amplifier for an Adaptive DC-DC Converter in Display Driving Systems[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2015, 62(4): 1189-1194.
- [2] Ishida K.; Shabanpour R.; Boroujeni B.K., et al. 22.5 dB Open-Loop Gain, 31 kHz GBW Pseudo CMOS Based Operational Amplifier with a-IGZO TFTs on a Flexible Film[J]. IEEE Asian Solid-State Circuits Conference, 2014.

高增益金属氧化物薄膜晶体管运算放大器设计

徐文星, 刘玉荣, 吴为敬*

(华南理工大学, 广州, 510640, 596560197@qq.com)

摘要: 运算放大器是用于构建薄膜电子系统的基础模拟电路功能模块^[1]。对于大部分闭环应用而言, 运算放大器需要具备高的开环电压增益以提供合适的线性度和闭环增益误差。然而, 采用薄膜晶体管设计高增益运算放大电路面临着许多挑战。一方面, 在大部分工艺中无法同时制备互补型器件, 这使得运算放大器的只能采用单极型电路拓扑^[2]。另一方面, 薄膜晶体管自身本征增益较低, 因此单级放大电路所能提供的电压增益十分有限^[3]。在这些限制下, 我们提出通过改进传统单极型运放电路拓扑实现高增益薄膜晶体管运算放大器。其中, 在单级放大电路中, 我们使用了参数优化的正反馈电路, 从而使单级放大电路能提供两倍以上晶体管本征增益的电压增益。为解决单级放大电路增益不足的问题, 我们采用了两级增益级级联的方式获取晶体管本征增益平方数量级的电压增益。此外, 考虑到多级运放存在稳定性问题, 我们还提出了一种带右半平面零点消除功能的密勒补偿电路。通过实际流片和测试, 所设计的运算放大电路在 10 kHz 的带宽内实现了高达 52 dB 的电压增益。

关键字: 薄膜晶体管, 运算放大器, 正反馈, 密勒补偿

Design of high gain operational amplifier based on metal-oxide thin film transistors

XU Wenxing, LIU Yurong, WU Weijing*

(South china university of technology, Guangzhou, 510640, 596560197@qq.com)

Abstract: Operational amplifier is the fundamental analog circuits building block for constructing thin film electronic systems^[1]. For most of the close-loop applications, the operational amplifiers should exhibit large open-loop voltage gain to ensure high linearity and small close-loop gain error. However, it is still challenge to design high gain operational amplifier based on thin film transistor. On one hand, only single-channel device is available in most of TFT technologies. Hence the amplifier circuit design is confined unipolar topologies^[2]. On the other hand, the intrinsic gain of individual TFTs is poor and hence the gain of single-stage amplifier is quite limited^[3]. Under these constraints, we propose to design high gain operational amplifiers by with improved unipolar amplifier topology. Practically, positive feedback structures with optimized feedback factor are included in single-stage amplifier design. The improved single-stage amplifiers can achieve voltage gain higher than double the intrinsic gain of TFTs. In addition, as the voltage gain of single-stage amplifiers is still hard to be satisfied, two gain-stages are cascaded to obtain voltage gain in the order of the square of intrinsic gain of TFTs. Moreover, as the multistage amplifier is weak in stability, a novel compensation circuit based on Miller effect is proposed. This compensation circuit also includes the right-half-plane zero elimination. From the measurement result, the proposed operational amplifier achieves voltage gain as 52 dB over a 3 dB bandwidth of 10 kHz.

Key words: thin film transistor, operational amplifier, positive feedback, Miller compensation

参考文献:

- [1] Y. Tarn, et al., "An Amorphous-Silicon Operational Amplifier and Its Application to a 4-Bit Digital-to-Analog Converter," in IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 45, no. 5, pp. 1028-1035, May 2010, doi: 10.1109/JSSC.2010.2043886.
- [2] P. G. Bahubalindruni et al., "Analog Circuits With High-Gain Topologies Using a-GIZO TFTs on Glass," in Journal of Display Technology, vol. 11, no. 6, pp. 547-553, June 2015, doi: 10.1109/JDT.2014.2378058.
- [3] Z. Chen, et al., "A New High-Gain Operational Amplifier Using Transconductance-

Enhancement Topology Integrated With Metal Oxide TFTs," in IEEE Journal of the Electron Devices Society, vol. 7, pp. 111-117, 2019, doi: 10.1109/JEDS.2018.2883585.

PXI-3

基于金属氧化物 TFT 显示应用的输出反馈电平移转器

梅相霖, 刘玉荣, 吴为敬*

(华南理工大学, 广州, 510641, 283184502@qq.com)

摘要: 电平移转器作为显示面板中驱动模块的一个重要组成部分, 实现信号摆幅在不同电压域之间的切换。基于近年来广泛应用于显示驱动电路的金属氧化物薄膜晶体管 (MOTFT), 我们提出了一种采用输出信号反馈结构的电平移转器, 采用两个直流电源电压和一个输入信号实现了 0~5V 到 0~15V 的信号电平转换。采用级联双晶体管输入模块与输出信号反馈结构的电平移转器有效减小下拉模块的关断泄漏电流, 从而增大输出电压摆幅并减小功耗, 适用于金属氧化物 TFT 的柔性显示驱动模块。

关键字: 金属氧化物薄膜晶体管, 电平移转器, 输出反馈

An output-feedback level shifter employing metal oxide TFT for display application

MEI Xianglin, LIU Yurong, Wu Weijing*

(South China University of Technology, Guangzhou, 510641, CHN, 283184502@qq.com)

Abstract: As an important part of the driving module in the display panel, the level shifter realizes the switching of the signal swing between different voltage domains. Based on the metal oxide thin film transistor (MOTFT) that has been widely used in display drive circuits in recent years, we propose a level shifter with an output signal feedback structure, which uses two DC power supply voltages and an input signal to achieve signal level conversion from 0~5V to 0~15V. Through the output signal feedback technology, the leakage current of the level shifter is effectively reduced, thereby increasing the output swing and reducing the power consumption, which is suitable for metal oxide TFT display applications. The level shifter with cascaded two-transistor input module and output signal feedback structure effectively reduces the turn-off leakage current of the pull-down module, thereby increasing the output voltage swing and reducing power consumption, which is suitable for flexible display driving module using metal oxide TFT.

Key words: metal oxide thin film transistor, level shifter, output feedback

参考文献:

- [1] Kim B , Choi S C , Kuk S H , et al. A Novel Level Shifter Employing IGZO TFT[J]. IEEE Electron Device Letters, 2011, 32(2):167-169.
- [2] Kim S Y , Kim J D , Kim Y K , et al. A Low-Power Single-Input Level Shifter for Oxide Thin-Film Transistors[J]. Journal of Display Technology, 2013, 9(2):71-73.

非晶氧化铟锌薄膜晶体管光响应电流的研究

范昌辉, 辛彧, 周晓梁, 张盛东

(北京大学 信息工程学院, 深圳, 518055, fanchanghui@pku.edu.cn)

摘要: 研究了四种不同氩氧气体流量比条件下溅射生长的非晶氧化铟锌 (a-InZnO) 有源层所制备的薄膜晶体管的光响应电流特性。实验表明, 随着照射光波长的减小, 器件的光响应电流逐渐增加, 在器件关态区光响应电流与暗电流具有最高的信噪比, 最有利于进行光电探测。在 400 nm 波长光照下, 随着溅射有源层时氩气流量的增大、氧气流量的减少, 器件的光响应电流最终达到了 $2.8 \times 10^{-5} \text{ A}$, 响应度达到了 2804 A/W , 均提高了将近两个数量级, 同时动态光响应电流速度也得到了提升。

关键字: 薄膜晶体管, 非晶氧化铟锌, 光响应电流, 光电探测

Photo Response Current Properties of Amorphous Indium Zinc Oxide Thin Film Transistors

FAN ChangHui, XIN Yu, ZHOU XiaoLiang, ZHANG ShengDong

(School of Electronic and Computer Engineering, Peking University, Shenzhen, 518055, CHN,
fanchanghui@pku.edu.cn)

Abstract: The photo response current characteristics of amorphous InZnO thin film transistors under different Ar:O₂ gas flow ratio when growing the a-InZnO active layer by sputtering are investigated. Experiments show that as the wavelength of the incident light decreases, the photo response current of the device gradually increases. The photo response current and dark current in the off-state region of the device have the highest signal-to-noise ratio, which is most conducive to photo detection. Under 400 nm wavelength light, with the increase of argon flow and decrease of oxygen flow during sputtering of the active layer, the photo response current of the device finally reached $2.8 \times 10^{-5} \text{ A}$, and the responsivity reached 2804 A/W . Both are improved by nearly two orders of magnitude, and the dynamic photo response current speed has also been improved.

Key words: thin film transistors, a-InZnO, photo response current, photodetection

1 引言

非晶氧化物半导体薄膜晶体管 (AOS TFTs) 由于其具有制备温度低、均匀性好、可大面积生产、器件关态电流低、场效应迁移率较高 ($>10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)、亚阈值摆幅较小等优点^[1], 对于其在不同领域的应用一直引起大家的广泛关注。除了在显示背板驱动技术中被认为是能够取代非晶硅薄膜晶体管驱动实现大尺寸、高分辨率液晶显示 (LCD) 和有机发光二极管显示 (OLED) 的一种可行性方案外^[2]; 由于 AOS TFTs 自身对蓝光和紫外线 (UV) 的高度敏感性, AOS TFTs 近些年来还被用作光电探测器和图像传感器^[3]。非晶氧化铟锌 (a-InZnO) 相比于常用的非晶铟镓锌氧化物 (a-InGaZnO) 材料, 具有更窄的带隙 ($E_g \sim 2.9 \text{ eV}$), 同时由于缺少了镓 (Ga) 对于氧空位的抑制, a-InZnO 中存在着大量的氧空位缺陷, 在其导带下方 2 eV 存在着 $10^{15} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3} \text{ eV}^{-1}$ 的高浓度深能级中性氧空位 (Vo) 缺陷态^[4-6]。在光照

下, a-InZnO 中的中性 V_o 缺陷态可以吸收光子的能量释放出自由电子, 同时产生离化氧空位 (Vo^{2+})。较高的 V_o 缺陷态密度和较窄的带隙意味着 a-InZnO 对蓝光和近紫外光具有较强的吸收, 因此在光照下具有较高的光响应电流和响应度^[4]。通过调节磁控溅射生长 a-InZnO 有源层时的 Ar 和 O_2 的气体流量, 将会影响 a-InZnO 有源层中的 V_o 缺陷态密度的高低, 进而影响所制备的 TFTs 的光响应电流。

因此, 通过调节溅射生长 a-InZnO 有源层时的 Ar 和 O_2 的气体流量, 可以在相同的光照条件下获得更高的光响应电流和响应度。在这篇论文中, 我们系统研究了四种不同氩氧气体流量比条件下溅射生长的 a-InZnO 有源层所制备的 TFTs 的稳态和动态光响应电流特性。

2 实验过程

实验中所制备的底栅交叠型 a-InZnO TFTs 器件结构示意图如图 1 所示。具体制备工艺流程如下: 首先, 通过直流磁控溅射在玻璃衬底上生长一层 100 nm 厚的金属 Mo, 并通过光刻对其进行图形化形成底栅电极。之后, 采用等离子体增强型化学气相沉积 (PECVD) 在 300℃ 下生长一层二氧化硅 (SiO_2) 作为底栅栅介质。随后, 通过直流磁控溅射生长一层 40 nm 厚的 a-InZnO 作为有源层, 并通过光刻和稀盐酸湿法刻蚀对 a-InZnO 有源层进行图形化。然后, 通过直流磁控溅射生长一层 ITO 作为源漏电极, 并通过剥离的方式进行图形化。随后, 通过反应离子刻蚀 (RIE) 的方式形成底栅电极接触孔。最后, 将所制备的器件在 O_2 氛围中 300℃ 条件下退火 1 h。实验过程中均采用 Agilent B1500 半导体参数分析仪在室温 (25℃) 空气中测试器件特性, 测试时空气湿度保持在 50 %。

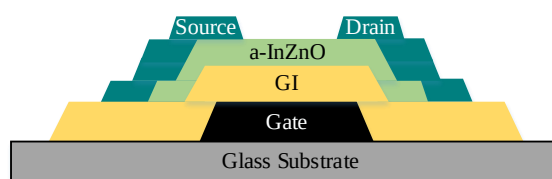


图 1 底栅交叠型 a-InZnO TFT 器件结构截面示意图

Fig 1. The schematic cross section view of the fabricated inverted staggered bottom gate a-InZnO TFT structure.

3 结果与讨论

图 2 给出了黑暗条件下四种不同氩氧气体流量比条件下溅射生长的 a-InZnO 有源层所制备的 TFTs 的转移特性曲线。测试转移特性曲线时采用正扫模式, 栅极电压 (V_{gs}) 从 -30 V 扫描到 30 V, 漏端电压 (V_{ds}) 固定在 0.1 V 和 10.1 V 进行测试。器件沟道宽度 (W) 和长度 (L) 为 100 μm 和 20 μm 。四种不同氩氧气体流量比条件下所制备的 TFTs 均表现出良好的开关特性, 关态电流 (I_{off}) 均小于 10^{-12} A, 在 $V_{ds} = 10.1$ V 时器件的电流开关比达到了 10^9 。表 1 给出了所提取的黑暗条件下四种不同氩氧气体流量比条件下所制备的 a-InZnO TFTs 的主要电学性能参数。随着 Ar: O_2 气体流量比从 20:30 sccm 增加到 35:15 sccm, 器件饱和和迁移率 (μ_{sat}) 略有降低, 但基本上保持在 $17 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, 器件阈值电压 (V_{th}) 从 -0.60 V 下降到 -2.84 V, 亚阈值摆幅 (SS) 略有增加, 从 0.31 V/dec 增加到 0.44 V/dec。磁控溅射 a-InZnO 有源层时, 随着溅射腔室中 Ar 气体流量的增加, O_2 气体流量的减少, 所生长出的 a-InZnO 薄膜中的氧含量逐渐降低, 载流子浓度逐渐增加, 与氧空位相关的缺陷态密度逐渐增加, 所制备出的器件阈值电压逐渐变负, 增加的氧空位缺陷状态密度也使得器件的亚阈值摆幅 (SS) 逐渐恶化。

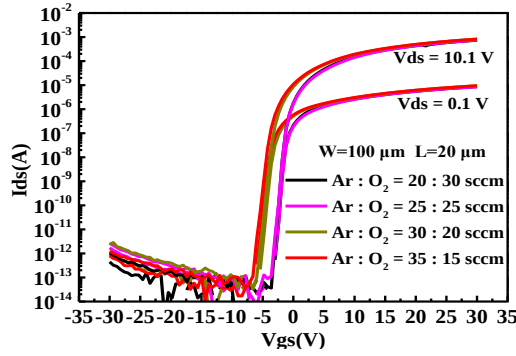


图 2 黑暗条件下四种不同氩氧气体流量比条件下 a-InZnO TFTs 的转移特性
Fig 2. The typical transfer characteristics of the fabricated a-InZnO TFTs with four different Ar:O₂ gas flow ratios in the dark.

图 3 (a)-(d) 给出了在黑暗和在相同的光功率密度 ($500 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) 光照波长从 525 nm 减小到 350 nm 波长的光照下, 四种不同 Ar:O₂ 气体流量比条件下 a-InZnO TFTs 器件的稳态光响应电流转移特性。测试时采用反扫模式, 栅极电压 (V_{gs}) 从 30 V 扫描到 -30 V, 漏端电压 (V_{ds}) 固定在 10 V 进行测试。随着入射光的波长减小, 处于器件负偏置电压, 关态状态区域中的光响应电流急剧增加。随着 Ar:O₂ 气体流量比从 20:30 sccm 增加到 35:15 sccm, 所生长的 a-InZnO 薄膜中的氧含量不断降低, Vo 缺陷的态密度不断提高。

表 1 黑暗条件下四种不同氩氧气体流量比条件下 a-InZnO TFTs 的主要电学性能参数
Table 1. Major electrical performance parameters of the fabricated a-InZnO TFTs with four different Ar:O₂ gas flow ratios in the dark.

Conditions	Saturation Mobility ($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)	Threshold Voltage (V)	Subthreshold Swing (V/dec)
Ar:O ₂ = 20:30 sccm	17.27	-0.60	0.31
Ar:O ₂ = 25:25 sccm	17.24	-0.70	0.34
Ar:O ₂ = 30:20 sccm	16.85	-2.52	0.40
Ar:O ₂ = 35:15 sccm	16.74	-2.84	0.44

在波长范围为 525 nm 至 500 nm 的光照下, 相应的光子能量为 2.37 eV 至 2.49 eV, 深能级中性 Vo 缺陷态会被轻微激发, 产生光生电子和 Vo²⁺, 带正电荷的 Vo²⁺在漏端正偏置电压 ($V_{ds}=10 \text{ V}$) 的作用下向源端移动聚集, 进而导致源端势垒降低 (SBL) [5,7], 降低的源端势垒使得源端的电子能够通过热离子发射的方式进入沟道[9], 产生光响应电流; 由于此时光子的能量较低, 被激发的 Vo 缺陷态较少, 所带来的 SBL 效应较弱, 最终所产生的光响应电流较小。另一方面, 在波长范围为 475 nm 至 400 nm 的光照下, 相应的光子能量为 2.62 eV 至 3.11 eV, 深能级中性 Vo 缺陷态被强烈激发, 从而产生很强的 SBL 效应, 进而产生更大的光响应电流。并且随着光波长的减小, 光子能量的增加, 更多的 Vo 可以被激发, 光响应电流急剧增加, 如图 3 (a)-(d) 所示。

随着 Ar:O₂ 气体流量比从 20:30 sccm 增加到 35:15 sccm, a-InZnO 薄膜中的氧含量不断降低, Vo 缺陷的态密度不断提高。在 525 nm 至 400 nm 的相同光功率密度光照条件下, 高 Ar:O₂ 气体流量比生长的 a-InZnO 膜中可以激发更多的 Vo 发生电离, 这将导致更强的 SBL 效应, 使得光响应电流进一步增加, 如图 3 (a)-(d) 中结果所示。

随着照射光波长从 370 nm 减小至 350 nm, 相应光子能量为 3.36 eV 至 3.55 eV, 此时光子的能量已超过 a-InZnO 的带隙宽度, 因此带间吸收是主要的激发过程, 而 Vo 的激发是

次要激发过程，更高的光子能量强烈激发了带间跃迁和靠近价带边缘 V_o 的吸收电离，进而产生更大的光响应电流，如图 3 (a)-(d) 中所示。由于此时光照引起的 V_o 吸收电离是次要激发过程，因此随着 Ar:O₂ 气体流量比的增加，由 V_o 态密度增加引起的光响应电流的增加并不明显。

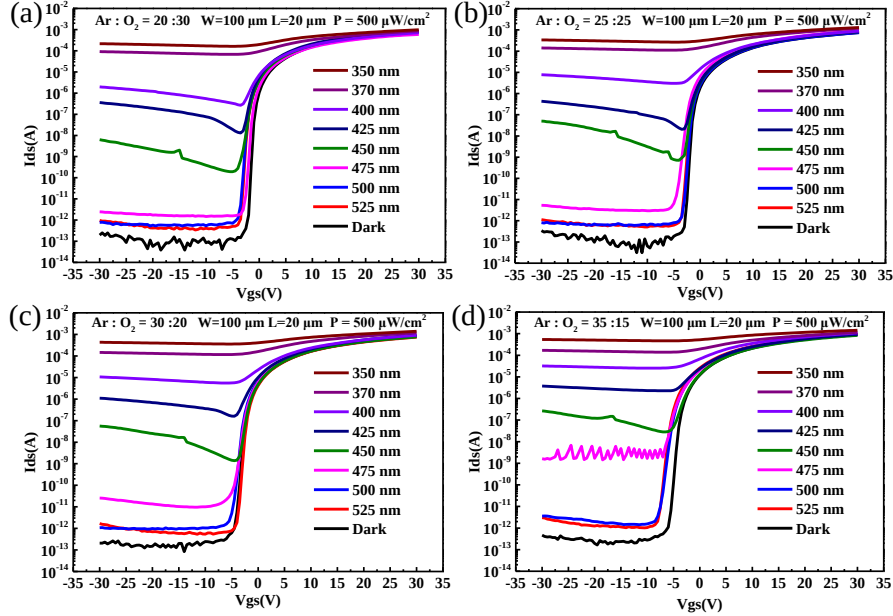


图 3 (a)-(d) 四种不同氩氧气体流量比条件下的 a-InZnO TFTs 在相同光功率密度条件下从 525 nm 到 350 nm 的稳态光响应电流转移特性曲线

Fig 3. (a)-(d) The steady state photo response current transfer characteristics of a-InZnO TFTs fabricated at four different Ar:O₂ gas flow ratios under the same light power density with a wavelength ranging from 525 nm to 350 nm.

在光照下，四种不同氩氧气体流量比条件下的 a-InZnO TFTs 的响应度参数可以通过以下的公式进行计算^[8]:

$$R = \frac{I_{ph} - I_{dark}}{P_{inc} \times W \times L} \quad (1)$$

公式中的 R 代表响应度， I_{ph} 是在 $V_{gs} = -20V$ 时，根据图 3 (a)-(d) 中的光响应电流转移特性曲线所提取出的光响应电流， I_{dark} 是黑暗条件下器件的关态电流， P_{inc} 是测试时照射光的光功率密度， W 是器件的沟道宽度 (100 μm)， L 是器件的沟道长度 (20 μm)。根据公式 (1) 计算所得到的四种不同氩氧气体流量比条件下的 a-InZnO TFTs 的响应度 (R)，随照射光波长的变化结果如图 4 (b) 所示，图 4 (a) 对应给出了所提取得到的光响应电流 (I_{ph}) 随照射光波长的变化结果。随着入射光波长的减小，如图 4 (a) 和图 4 (b) 所示，器件的光响应电流 (I_{ph}) 和响应度 (R) 急剧增加，并且随着 Ar:O₂ 气体流量比的增加， I_{ph} 和响应度 R 也随之增加。在 475nm 至 400nm 相同光功率密度光照条件下， I_{ph} 和响应度 R 近似增加了两个数量级。

除了对四种不同氩氧气体流量比条件下的 a-InZnO TFTs 的稳态光响应电流进行测试外，我们还对其随时间变化的动态光响应电流进行了测试，实验结果如图 5 所示。

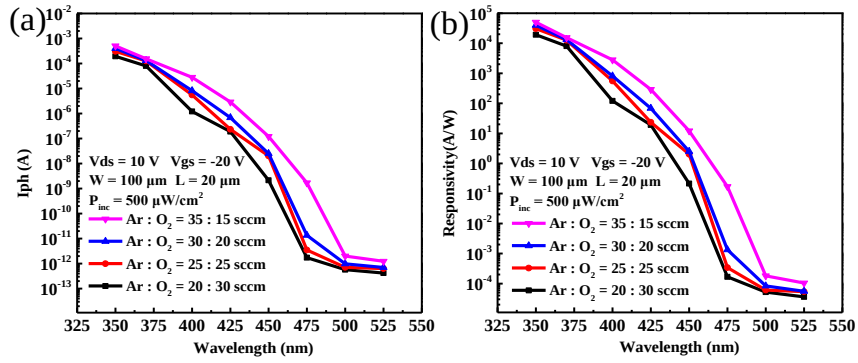


图 4 四种不同氩氧气体流量比条件下的 a-InZnO TFTs 的 (a) 光响应电流 (b) 响应度 随照射光波长的变化

Fig 4. (a) I_{ph} , (b) Responsivity of four different Ar:O₂ gas flow ratios a-InZnO TFT with incident light wavelength.

测试时器件处于关态区 ($V_{gs} = -20$ V, $V_{ds} = 10$ V), 选用波长为 400 nm 光功率密度为 $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 的蓝光进行测试, 测试时在 $t = 0.5$ s 打开光照射到 a-InZnO TFTs 器件上, 在 $t = 7.0$ s 时停止光照。在开始光照之前的 $t = 0.0$ s 到 $t = 0.5$ s 的时间段内, 器件处于黑暗条件下的负栅压关态区, 此时所采集到的电流为器件的关态电流 ($\sim 10^{-11}$ A); 在开始光照后的 $t = 0.5$ s 到 $t = 7.0$ s 的时间段内, 光响应电流迅速上升并最终达到趋于饱和; 在停止光照后的 $t = 7.0$ s 到 $t = 12.0$ s 的时间段内, 器件的动态光响应电流缓慢下降, 表现出持续光电导 (PPC) 现象^[9]。随着 Ar:O₂ 气体流量比从 20:30 sccm 增加到 35:15 sccm, a-InZnO 薄膜中 Vo 缺陷态密度的提高, 在 $t = 0.5$ s 打开光照后, 将会有更多的 Vo 发生电离产生 Vo^{2+} , 而电离的 Vo^{2+} 在漏端正偏置电压的作用下引起源端势垒降低 (SBL) ^[5,7], 使得源端的电子能够通过热离子发射的方式更快的进入沟道^[5], 产生动态光响应电流。因此在光照开启后的相同时间内, 随着 Ar:O₂ 气体流量比的增加, a-InZnO TFTs 器件可以产生更大的动态光响应电流, 具有更快的动态光电流响应速度。

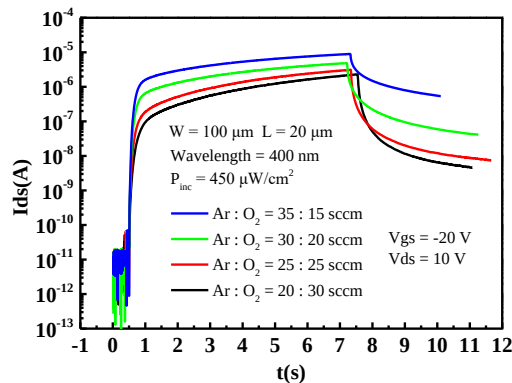


图 5 四种不同氩氧气体流量比条件下的 a-InZnO TFTs 的动态光响应电流结果

Fig 5. Dynamic photo response current results of a-InZnO TFTs of four different Ar:O₂ gas flow ratio conditions.

4 结束语

综上所述, 我们对四种不同氩氧气体流量比条件下的 a-InZnO TFTs 在相同光功率密度条件下, 从 525 nm 到 350 nm 不同波长光照下的稳态光响应电流进行了探究, 并提取了光响应电流和响应度参数, 随着光波长的减短和溅射时氩氧气体流量比的提高, 光响应电流和响应度均得到了很大的提升, 最后我们还对其随时间变化的动态光响应电流进行了测试, 发现随

着氩氧气体流量比的提高，器件具有更快的动态光电流响应速度。

参考文献:

- [1] Nomura K, Ohta H, Takagi A, et al. Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors [J]. *Nature* 2004, 432(7016), 488-492.
- [2] Lee E, Chowdhury M D, Park M S, et al. Effect of top gate bias on photocurrent and negative bias illumination stress instability in dual gate amorphous indium-gallium-zinc oxide thin-film transistor [J]. *Applied Physics Letters* 2015, 107(23).
- [3] Chang S P, Ju B K. Ultraviolet and visible light detection characteristics of amorphous indium gallium zinc oxide thin film transistor for photodetector applications [J]. *International Journal of Advanced Smart Convergence* 2012, 1(1), 61-64.
- [4] Nathan A, Lee S, Jeon S, et al. Amorphous Oxide Semiconductor TFTs for Displays and Imaging [J]. *Journal of Display Technology* 2014, 10(11), 917-927.
- [5] Lu H, Zhou X, Liang T, et al. Nonlinear photocurrent-intensity behavior of amorphous InZnO thin film transistors [J]. *Applied Physics Letters* 2018, 112(4).
- [6] Kamiya T, Hosono H. Material characteristics and applications of transparent amorphous oxide semiconductors [J]. *NPG Asia Materials* 2010, 2(1), 15.
- [7] Jeon S, Song I, Lee S, et al. Origin of High Photoconductive Gain in Fully Transparent Heterojunction Nanocrystalline Oxide Image Sensors and Interconnects [J]. *Journal of Church & State* 2014, 26(41), 7102–7109.
- [8] Ahn S, Song I, Jeon S, et al. Metal Oxide Thin Film Phototransistor for Remote Touch Interactive Displays [J]. *Advanced Materials* 2012, 24(19), 2631–2636.
- [9] Jeon S, Ahn S E, Song I, et al. Gated three-terminal device architecture to eliminate persistent photoconductivity in oxide semiconductor photosensor arrays [J]. *Nature Materials* 2012, 11(4), 301.

IGZO TFT 集成栅极驱动电路的寿命预测模型研究

杨激文¹, 廖聪维¹, 梁键¹, 彭志超¹, 安军军¹, 张盛东^{1, 2*}⁽¹⁾ 北京大学信息工程学院, 深圳, 广东, 518055⁽²⁾ 北京大学信息科学技术学院, 北京, 100871, zhangsd@pku.edu.cn)

摘要: 本文在经典延展指数模型的基础上, 研究了阈值电压漂移特征时间对过驱动电压的依赖关系, 提出了改进型的 IGZO TFT 阈值电压漂移模型。基于线性回归方法分别提取得到了特征时间、饱和阈值电压漂移量、延展指数因子等主要参量。对照结果表明, 在不同温度条件下, IGZO TFT 的阈值电压漂移量测试数据与模型预测值符合程度较高。运用所提出的改进型 IGZO TFT 阈值电压漂移模型, 计算了典型栅极驱动电路(10T1C)的寿命, 并较详细地讨论了电路失效的机理。

关键字: 薄膜晶体管, 铟镓锌氧, 稳定性模型, 集成栅极驱动电路

Lifetime Prediction Model for IGZO TFT Integrated Gate Drive Circuit

YANG Jiwen¹, LIAO Congwei¹, LAING Jian¹, PENG Zhichao¹, AN Junjun¹, ZHANG Shengdong^{1, 2}

(School of Electronic and Computer Engineering, Peking University, Shenzhen, Guangdong, 518055

School of Electronic Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing, 100871, CHN,

email:zhangsd@pku.edu.cn)

Abstract: An improved IGZO TFT threshold voltage shift model based on the classic stretch exponential model is proposed in this paper, and the influence of over-drive voltage on the characteristic time (i.e. τ) is considered. Numerical fitting methods are used to extract the characteristic time, saturation threshold voltage shift, and stretch exponent factors. The comparison results show that under different temperature conditions, the measured threshold voltage shift amount of IGZO TFT is highly consistent with the model. The failure mechanism of a typical gate drive circuit is discussed in detail, and the life of the circuit is analyzed based on the proposed improved IGZO TFT threshold voltage shift model.

Key words: Thin film transistor, IGZO TFT, Stability model, Integrated gate driver

1、引言

薄膜晶体管(TFT)是信息显示技术的基础, TFT 器件及其集成电路的稳定性研究对于推动信息显示技术的发展具有重要价值^[1]。近年来, 以铟镓锌氧(IGZO)为代表的金属氧化物 TFT 的应用越来越广泛; 相比于传统的硅基 TFT, IGZO TFT 具有迁移率较高($>10\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)、可低温制备(室温)、均匀性较好、稳定性较好等优点^[2]。IGZO TFT 集成栅驱动电路技术的发展也有利于实现更高分辨率、更窄边框、更高稳定性的显示器。IGZO TFT 集成栅极驱动电路寿命预测模型的研究因为成为近年来产业界关心的重点问题^[3]。

Cai 等人计算了隧穿载流子总数以及隧穿概率, 所推导的阈值电压漂移模型能够很好地反映非晶硅 a-Si TFT 以及 IGZO TFT 在栅应力作用下阈值电压的漂移^[4]。Hu 等人提出了新型下拉结构, 使下拉管的过驱动电压保持恒定, 从而延长了 TFT 集成栅极驱动电路的寿命

[5]。

本文在经典的延展指数模型的基础上,提出了改进型阈值电压漂移模型。新模型更清晰地展示了阈值电压漂移量与应力作用时间以及温度的关系。通过对比不同温度下 IGZO TFT 的阈值电压漂移量的测试值与模型预测值,检验所述模型的合理性。所提出的阈值电压漂移模型还被应用分析 TFT 集成栅极驱动电路的稳定性及失效机理。

2、IGZO TFT 的阈值电压漂移模型

TFT 器件的电学特性漂移,尤其是阈值电压的漂移规律,是 TFT 集成电路寿命预测模型的基础。早在 1992 年, F. R. Libsch 等人基于 a-Si TFT 的实验数据,提出了经典的延展指数(Stretched Exponential Time Dependence)模型^[6]。经典的延展指数模型虽然能够很好地解释 a-Si TFT 的特性漂移规律,但是其用于描述 IGZO TFT 应力工作稳定性时,仍然存在以下几个问题:(1)最大阈值电压漂移量 ΔV_{th0} 与 V_G 并非线性关系;(2)特征时间 τ 和指数项 β 与温度的关系不能完全满足 $\tau=\tau_0 \exp(E_r/kT)$ 以及 $\beta=T_{ST}/T_0^*-\beta_0$ 的表达式。根据 IGZO TFT 的实际漂移情况,下文通过修正这三个参数,来改进 IGZO TFT 的阈值电压漂移模型。

TFT 阈值电压的漂移主要是栅介质层和界面缺陷态俘获载流子引起,因此可以建立阈值电压漂移量 (ΔV_{th0}) 与被俘获载流子数量的函数关系: $\Delta V_{th0}=q\Delta N/C_{OX}$ 。其中, q 为载流子电荷量; C_{OX} 为单位面积的栅介质层电容; ΔN 为被栅介质层中的深能态和有源层与栅介质层界面处浅能态俘获的载流子浓度之和,后者在去掉栅压应力后的短暂时间内可能得到一定程度的恢复的,而前者则需要通过高温热退火才能得到恢复。因此,被俘获载流子浓度的总量可表示为:

$$\begin{aligned}\Delta N &= nP = n_{deep}(V_{GS})P_{deep}(V_{GS}) + n_{shallow}(V_{GS})P_{shallow}(V_{GS}) \\ &= n(V_{GS})[P_{deep}(V_{GS}) + P_{shallow}(V_{GS})]\end{aligned}\quad (1)$$

其中, n_{deep} 和 $n_{shallow}$ 为参与俘获总的载流子密度,两者近似相等,均与栅源电压大小相关; P_{deep} 和 $P_{shallow}$ 为载流子被深能态和浅能态俘获的概率,也与栅源电压大小相关。该计算流程可以参考我们先前的工作^[7]。

由于 ΔV_{th0} 与实际作用于 TFT 上有效栅源电压($V_{GS}-V_{GS0}$)的值呈正相关关系,本研究采用幂律来描述: $\Delta V_{th0}=a \times (V_{GS}-V_{GS0})^\alpha$ 。其中, V_{GS} 为加在 TFT 上的实际栅源电压; V_{GS0} 是开启 TFT 所需的最小栅源电压; α 为栅介质层质量影响因子,它的值主要与栅介质层中的陷阱态密度和栅介质层电容的大小等相关。

由于器件上所加栅源电压增大,载流子在垂直电场的作用下被界面处陷阱态俘获的概率增加。因此,特征时间 τ 与过驱动电压存在一定的关联:即过驱动电压的值越大,特征时间 τ 的值越小。因此,这里引入反比例函数来刻画特征时间 τ 对过驱动电压值的依赖关系: $\tau=f(V_G, T)=\tau_0 \exp(E_r/kT) \times (V_{GS}-V_T)^{-1}$ 。另外,基于 a-Si TFT 的模型以及 IGZO TFT 的测试值,假定 β 与 T 之间满足指数关系: $\beta=(T_{ST}/T_0^*)^{\gamma^2}-\beta_0$ 。从而,推导得到 IGZO TFT 的器件稳定性特点推导的较完整的阈值电压漂移模型为

$$\Delta V_{th} = a \cdot (V_{GS}-V_{T0})^\alpha \cdot \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\tau_0 \exp(E_r/kT) \cdot (V_{GS}-V_{T0})^{-1}} \right)^{\left(\frac{T_{ST}}{T_0^*} \right)^{\gamma^2} - \beta_0} \right] \right\} \quad (2)$$

考虑到降低运算的复杂度,忽略特征俘获时间与栅源电压的关系, IGZO TFT 的阈值电压模型可以简化为:

$$\Delta V_{th} = a \cdot (V_{GS}-V_{GS0})^\alpha \cdot \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\tau_0 \exp(E_r/kT)} \right)^{\left(\frac{T_{ST}}{T_0^*} \right)^{\gamma^2} - \beta_0} \right] \right\} \quad (3)$$

3、模型参数提取及验证

采用半导体测试仪 Keysight 1500 测试了不同温度下, IGZO TFT 在不同正向栅源电压下阈值电压的漂移情况。器件宽长比为 $W/L=10\text{ }\mu\text{m}/8\text{ }\mu\text{m}$, 栅介层材料为 SiO_x , 厚度 $t_{\text{ox}}=1500\text{ }\text{\AA}$, 相对介电常数为 3.9。其初始阈值电压为 -1 V , 迁移率为 $5.9\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 亚阈值摆幅为 0.25 V/dec 。

根据式子 (2) 和 (3) 的模型, 采用 MATLAB 数值拟合工具, 基于线性回归方法提取了 IGZO TFT 稳定性相关的模型参数。如图 1 所示, 特征时间 τ 和延展指数因子 β 的拟合情况较好, 而最大阈值电压漂移量 ΔV_{th0} 的拟合情况较差, 这可能是由于阈值电压较小时器件容易受测试环境等因素的影响, 只有到阈值电压足够大时, 才能弱化其他因素的影响。

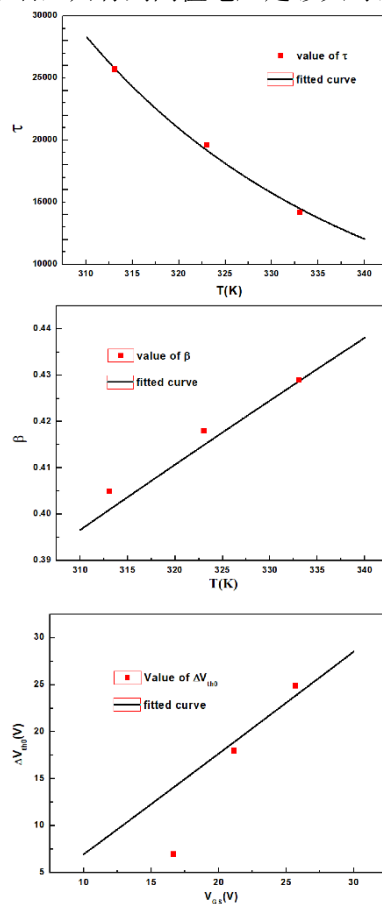
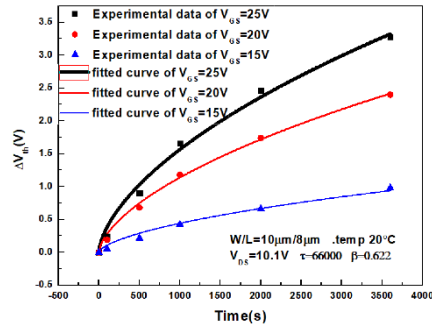
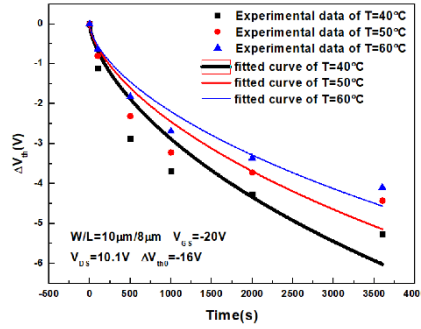


图 1. IGZO TFT 阈值电压漂移模型中参数 τ 、 β 、 ΔV_{th0} 的拟合曲线图

图 2 示意了 IGZO TFT 的阈值电压漂移测试值及模拟拟合值。可以看到, 上述改进模型可以较好地反映 IGZO TFT 在不同的正向栅源电压和温度下阈值电压的漂移情况。



(a)



(b)

图 2. W/L=10/8 的 IGZO TFT: (a)在不同正向栅源电压下阈值电压漂移量随时间变化关系的拟合情况; (b)不同温度下阈值电压漂移量随时间变化关系的拟合情况

将前面讨论的各参数 (τ 、 β 和 ΔV_{th0}) 满足的关系式带入公式(3), 可以得到阈值电压漂移量与栅源电压 V_{GS} 与温度 T 、时间 t 的关系式, 如下面的方程(4)所示。

$$\Delta V_{th} = (V_{GS} - 2.5)^{0.983} \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{(1.24 \cdot 10^{-7}) \cdot \exp(\frac{9354}{T})} \right)^{\frac{T_{85}}{225} - 0.7} \right] \right\} \quad (4)$$

4、栅极驱动电路寿命预测模型

图 3 是一种典型的集成栅极驱动电路 (GOA 电路) 结构与时序图^[8]。该电路利用脉冲偏置和双下拉结构的方式增强电路的稳定性。当 P 点为高电平时, T4、T5 和 T8 管均导通, CLK2 的信号通过 T8 传递给输出端, 而 T6、T7、T9 的栅极均被拉低, 处于关断状态, 从而防止了 P 点和输出节点的漏电; 在低电平维持阶段, P 点为低电平, 当 CLK2 变为高电平时, T3、T6 开启, 使得 T7、T9 也开启从而为 P 点和输出节点放电。该电路采用的是两相时钟 CK1、CK2 控制, T9 管和 T10 管交替对输出节点放电。

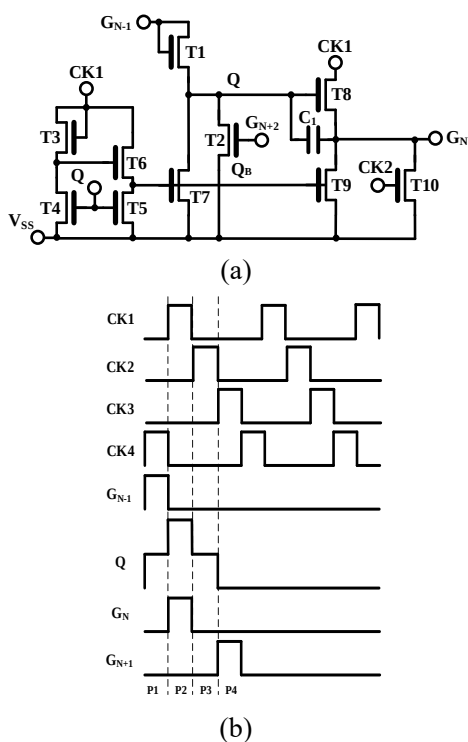


图 11. 一种典型的栅极驱动电路及时序图

提取了 IGZO TFT 的 RPI 模型(level=35)，采用 Smartspice 仿真器对所设计的集成栅极驱动电路进行仿真。将上述集成栅极驱动电路级联 16 级进行级联仿真，每一级驱动的负载量为 $R_L=3\text{ k}\Omega$ 、 $C_L=350\text{ pF}$ ；时钟信号的高电平为 20 V，低电平为 -10V,时钟频率为 25 KHz； V_{SS} 为 -10 V。从电路工作原理介绍部分可以看出，在集成栅极驱动电路工作过程中，下拉管需要长时间处于电压应力作用下，因此其阈值电压漂移量最大。这里通过在下拉管 T7、T9 的栅极添加偏置电压源的方法，来拟合器件阈值电压的漂移。下表是 GOA 电路中各器件的尺寸。

表 1 栅极驱动电路中各器件的尺寸

器件	尺寸	器件	尺寸
T1 T2	400 $\mu\text{m}/5\mu\text{m}$	T3 T6	200 $\mu\text{m}/5\mu\text{m}$
T4 T5	50 $\mu\text{m}/5\mu\text{m}$	T7	500 $\mu\text{m}/5\mu\text{m}$
T8	2000 $\mu\text{m}/5\mu\text{m}$	T9 T10	1000 $\mu\text{m}/5\mu\text{m}$
C1	3pF		

图 4(a)为阈值电压没有发生漂移时第 5 级到第 8 级的输出波形图，此时各级输出波形正常，在 0 μs - 100 μs 各级能够很好的维持低电平。图 4(b)为阈值电压发生 11.4 V 漂移量时第 5 级到第 8 级的输出波形图，从图中我们可以看到，在 0 μs - 100 μs 这段时间，各级不能很好的维持低电平，脉冲幅值从 -7.56 V 逐级增长到 -6.11 V，如果仿真级数足够多，后面肯定会出现错误输出。这主要是由于当晶体管阈值电压漂移量达到一定值后，在低电平维持阶段，下拉管 T7 和 T9 已经不能够被较好地开启，使得 Q 和 G_N 受 CK1 电位耦合而跳变的电荷无法很快的下拉，从而输出端无法稳定维持低电平。图 4(c)为阈值电压发生 11.5 V 漂移量时第 5 级到第 8 级的输出波形图，由于前面提到的原因，这里就可以很明显的观察到 G(8)在 80

μs - $100\ \mu\text{s}$ 出现了错误的输出, 此时集成栅极驱动电路功能异常。

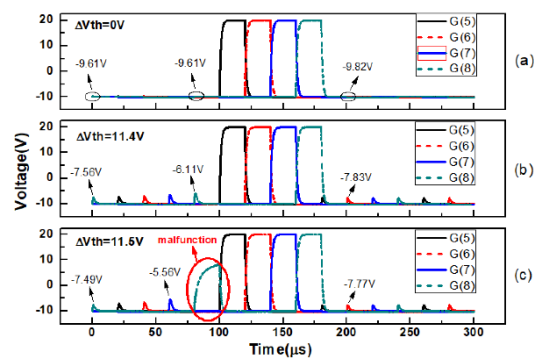


图 12. 不同阈值电压漂移量下集成栅极驱动电路第 5 级到第 8 级级联仿真输出波形:

(a) $\Delta V_{th}=0\text{V}$; (b) $\Delta V_{th}=11.4\text{V}$; (c) $\Delta V_{th}=11.5\text{V}$

从仿真结果可以看出, 当下拉 TFT 的阈值电压漂移量达到 11.5V 时, 栅极驱动电路便出现了功能异常。基于此, 可以根据所推导阈值电压漂移模型(4), 推算出电路可以持续正常工作时间为 $1.68 \times 10^6\text{s}$ (约 466.7h)。

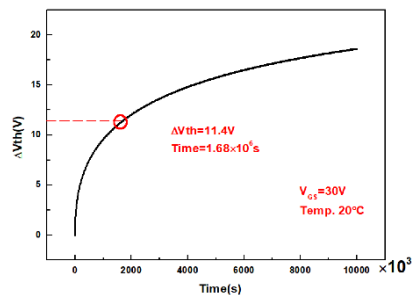


图 13. 20°C 下 IGZO TFT 的 ΔV_{th} 随时间的变化情况

由于此数据是在 TFT 一直处于栅源电压应力条件下测得的, 即占空比为 100%, 而实际的工作时下拉管则作用于一个脉冲的时钟信号。而实际上, 在相同的栅源电压应力下, 脉冲信号的占空比越小, 单位时间内器件阈值电压漂移量越小^[9-11]。因此, 实际电路的工作寿命长于上述计算值。

5、结论

本文提出了新的延展指数模型, 此模型考虑了过驱动电压对特征时间的影响、环境温度对特征时间与延展指数因子的影响。然后, 结合实际测得的器件的实验数据进行拟合验证, 求出适用于该器件的模型关系式中的各参数: τ 、 β 和 ΔV_{th0} , 得到的模型拟合结果与实验测得的数据高度重合。接着, 将测得的器件数据萃取得到的仿真模型用于栅极驱动电路的级联仿真, 对电路进行失效性仿真分析。失效主要是由于下拉管阈值电压发生漂移后, Q_B 点无法正常将其打开, 使得其在低电平维持阶段无法迅速的对 Q 点和输出节点下拉, 导致错误输出。得到电路可承受的最大阈值电压漂移量为 11.5V , 并将此值带入改进的延展指数新模型, 可较简捷地计算得到电路的工作寿命。本文所示的 IGZO TFT 阈值电压漂移模型可用于高可靠性的 TFT 集成电路设计。

参考文献:

- [1] Tsuno M, Suga M, Tanaka M, et al. Physically-based threshold voltage determination for MOSFETs of all gate lengths [J]. IEEE Trans Electron Dev ,1999,46(7):1429-1434.
- [2] C E Kim, E N Cho, G H Kim, et al. Density-of-States Modeling of Solution-Processed InGaZnO

- Thin-Film Transistors [J].IEEE Electron Device Letters,2010,31(10): pp.1131-1133.
- [3] P Gorrn, M Lehnhardt, T Riedl, et al. The influence of visible light on transparent thin oxide thin film transistors [J]. Applied Physics Letters,2007,91(19): 193-504.
- [4] Yuying Cai, Lisa Ling Wang and Shengdong Zhang. A gate-stress-induced ΔV_{th} model reflecting impact of electric field in IGZO thin film transistors. 2014 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits, Chengdu, 2014, pp. 1-2, doi: 10.1109/EDSSC.2014.7061105.
- [5] Zhijin Hu, Cuicui Wang, Congwei Liao, Shijie Cao, Jia Fan, Qiang Zhao, and Shengdong Zhang. TFT Integrated Gate Driver with VTH Shift Compensable Low-Level Holding Unit. Digest of Technical Papers, SID International Symposium, 2016, pp. 134-137.
- [6] F R Libsch, J Kanicki. Bias-stress-induced stretched-exponential time dependence of charge injection and trapping in amorphous thin-film transistors [J]. Applied Physics Letters, 1993,62(11): 1286-1288.
- [7]Zhijin Hu, Lisa Ling Wang, Congwei Liao, Limei Zeng, Chang-Yeh Lee, Alan Lien, and Shengdong Zhang. Threshold Voltage Shift Effect of a-Si:H TFTs Under Bipolar Pulse Bias [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 62, No. 12, pp. 4037-4043, Dec. 2015.
- [8] Choi, Jae Won, et al. P-16: Distinguished Student Paper: Noble a-Si: H Gate Driver with High Stability [C]. Sid Symposium Digest of Technical Papers, 2008.39(1):1227-1230.
- [9] Mohan N, Karim K S, Prakash S, Nathan A. Stability issues in digital circuits in amorphous silicon technology [C]. Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering, 2001, 1:583-588.
- [10] Chiang C, Kanicki J, Takechi K. Electrical Instability of Hydrogenated Amorphous Silicon Thin-Film Transistors for Active-Matrix Liquid-Crystal Displays. Japanese Journal of Applied Physics [J]. Regular Papers & Short Notes, 1998, 37(9A):4704-4710.
- [11] Huang C Y, Teng T H, Tsai J W, et al. The Instability Mechanisms of Hydrogenated Amorphous Silicon Thin Film Transistors under AC Bias Stress [J]. Japanese Journal of Applied Physics, 2000, 39(39):3867-3871.

一种带有复位功能的 IGZO TFT 栅极驱动电路

安军军 廖聪维 杨激文 邱赫梓 张盛东*

(北京大学深圳研究生院, 深圳, 518055, zhangsd@pku.edu.cn)

摘要: 本文提出了一种铟镓锌氧化物 (IGZO) 薄膜晶体管 (TFT) 栅极驱动电路, 其提供的复位功能能够给有源像素阵列进行全局复位。电路使用了两个非交叠时钟进行驱动, 并在双时钟的间隙进行复位, 从而全局同步输出一种电平可变的电压脉冲信号。通过电容耦合模块抑制时钟馈通效应。Spice 仿真结果表明, 当 IGZO TFT 的阈值电压漂移量分别达到正向 3.7 V 和负向 -5.3 V 时, 该电路仍然可以正常工作。

关键字: 栅极驱动电路, 铟镓锌氧化物, 薄膜晶体管, 复位, 同步

An IGZO TFT Integrated Gate Driver Circuit with Reset Function

AN Junjun, LIAO Congwei, YANG Jiwen, QIU Hezi, ZHANG Shengdong*

(Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen, 518055, CHN, zhangsd@pku.edu.cn)

Abstract: In this paper, a gate driver circuit integrated with Indium Gallium Zinc Oxide (IGZO) thin film transistors (TFTs) is proposed. Due to the added reset function, the gate driver enables global discharge/reset of the active matrix pixel circuits. Two non-overlapping clocks are employed, and a variable reset pulse can be generated between the gap of the two clocks. In addition, the capacitive coupling module is used to suppress the clock feed through effect. Through SPICE simulations, it is proved that the proposed gate driver still work normally when the threshold voltage (i.e. V_{TH}) shift, the maximum positive and negative V_{TH} shift reach 3.7 V and -5.3 V, respectively.

Keywords: Gate Driver Circuit, IGZO, Thin Film Transistor, Reset, Synchronization

1 引言

薄膜晶体管集成的栅极驱动电路是现代有源显示器的重要组成部分^[1-6]。TFT 集成栅极驱动电路有利于减少显示器外围驱动 IC 及其连接线、减少显示器边框、精简显示器生产和制作流程、降低显示模组的成本。随着 IGZO 等金属氧化物 TFT 技术的日渐成熟, 金属氧化物 TFT 集成的栅极驱动电路开始较广泛地应用到 TFT 液晶显示器、有源矩阵有机发光二极管显示 (AMOLED) 之中。相比于非晶硅 TFT 电路, 金属氧化物 TFT 集成的栅极驱动电路具有更快的速度、更好的稳定性、更窄的边框, 同时也具备更丰富的电路性能^[4-9]。

传统的 TFT 液晶显示器中, 栅极驱动电路主要作用是为显示像素阵列提供行选通的功能, 使得像素阵列逐行打开。对于 AMOLED、micro LED 等新型显示而言, 一般还要求栅极驱动电路具有全局复位功能。在显示器驱动的初始化阶段, 为了避免残存电荷的影响, 有必要对栅极驱动电路的内部节点以及输出节点进行放电清空的操作。另一方面, AMOLED 的像素阵列需要栅极驱动电路提供出全局复位信号, 使得显示像素阵列的内部节点以及相关电容获得合适的初始状态^{[1]-[3]}。但是, 显示器所要求的这些全局复位功能与传统栅极驱动电路的下拉维持模块存在着矛盾。当栅极驱动电路的第 N 级输出一个用于行选通的高电平脉冲后, 在接下来的一帧时间内将保持为低电平, 而为了维持这种状态, 需要一个由第 N+1 级输出端控制的低电平维持模块来维持。当第 N+1 级输出为高电平时, 通过

低电平维持模块使第 N 级产生低电平。为此本文提出了一种基于金属氧化物 TFT 的新型栅极驱动电路，其带有全局复位的功能。该电路只需要用到 2 个非交叠的时钟信号，单级的栅极驱动电路仅包括 9 个 TFT 和 2 个电容。

2 电路工作原理分析

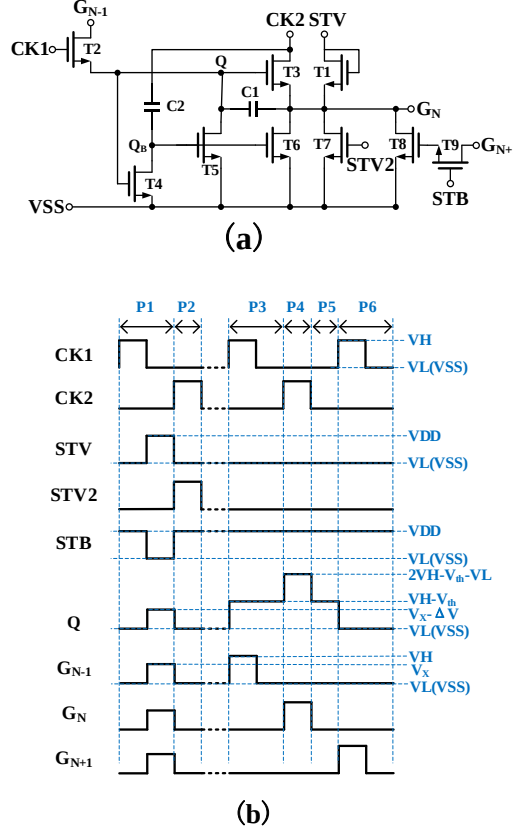


图 1. 本文提出的栅极驱动电路 (a) 原理图 (b) 时序图
Figure1. The proposed gate driver circuit. (a) schematic and (b) timing diagram.

如图 1 所示，这里以奇数级栅极驱动电路（如图 1. (a)）为例分析本文栅极驱动电路的工作原理。单极驱动电路包括：九个 TFT (T1~T9)、两个电容 (C1、C2)、五个控制信号 (CK1、CK2、STV、STV2、STB) 和两个输入信号 (GN-1、GN+1) 以及输出信号 (GN)。

此电路可以分为 6 个阶段进行工作，其中 P1 和 P2 阶段实现对显示像素阵列的全局复位功能；P3、P4、P5 和 P6 阶段实现像素阵列的逐行选通功能。本电路的工作过程将详述如下：

(1) 复位上拉阶段 P1:

控制信号 CK1 和 CK2 为两个周期相同的非交叠时钟信号，占空比都为 25%，错开时间长度占时钟周期的 25%。在 P1 的后半段，CK1 和 CK2 均为低电平，于是 T2 和 T3 管都处于断开状态。由于全局复位信号 STV 为高，二极管连接的 T1 管提供充电电流到 GN 节点。随着 GN 节点电位升高，以及电容 C1 的耦合作用，T3 管被逐步打开，并且 GN 的电压最终被稳定到 V_X 。此时 T1 与 T3 管都处于饱和区状态，假定 T1 与 T3 管的尺寸比例为 m ， V_{th} 为阈值电压。忽略此过程中 Q 点的电荷变化，那么可以求出输出电压 V_X 为：

$$(V_X - V_{th} - VSS)^2 = m(VDD - V_X - V_{th})^2 \quad (1)$$

$$V_X = \frac{\sqrt{m}VDD + VSS - (\sqrt{m}-1)V_{th}}{\sqrt{m}+1} \quad (2)$$

当 T1 与 T3 管的尺寸比例 m 很大时, V_X 趋近于 $(V_{DD}-V_{th})$ 。而实际工作中因为 T5 管本身的耦合电容导致 Q 点在此过程中存在电荷泄露, 使得实际输出电压小于式 (2) 的推算值。

同时应当注意到当 G_N 节点被上拉到 V_X 电压时, 下一级栅极驱动电路为偶数级, 其控制信号 CK1 和 CK2 对应奇数级的 CK2 和 CK1, 但是因为处于两个时钟的低电平阶段, 因此下一级的输出节点 G_{N+1} 也为 V_X 电压, 不受奇偶级电路区别的影响。如果 G_{N+1} 直接连接到本级栅极驱动电路的 T7 管, 那么会拉低 G_N 的电位。因此本电路的设计是在 G_{N+1} 节点和 T8 管之间加入 T9 管, 其栅极由控制信号 STB 控制, 且 STB 与 STV 信号在逻辑上是反相信号。那么在 STV 信号为高时, STB 为低电平信号, 关闭 T9 管, 那么 G_{N+1} 电位升高时, 并不会影响 G_N 信号。从而实现了所有级栅极驱动电路同步输出为相同的电平可变的电压脉冲信号, 用于像素阵列的全局复位或者校正。

(2) 复位下拉阶段 P2:

在 P2 阶段, STV 为低电平, STB 为高电平, 因此 T9 管被打开。由于 STV2 跳变为高电平, T7 管被打开, 于是各级栅极驱动电路的输出被复位下拉至低电平。

(3) 预充电阶段 P3:

由于前一级栅驱动信号 G_{N-1} 为高电平, 而且 CK1 为高电平, CK2 为低电平, 所以 T2 管被打开, Q 点被 G_{N-1} 充电至 V_H-V_{th} ; 进而 T3 和 T4 管被打开, Q_B 被下拉到低电位, T5 和 T6 管关闭。而 STB 此时为高电平, 使 T9 管导通, 但 G_{N+1} 仍为低电平, 所以 T7 管也关断。CK2 的低电位通过 T3 管传输到输出端 G_N 。在预充电阶段 P3, 驱动晶体管 T3 先于 CK2 的高电平脉冲被较充分地打开, 内部节点 Q_B 的电位被预先拉低。

(4) 上拉阶段 P4:

当 CK2 为高电平时, CK1 仍为低电平, T2 管关断, Q 点一开始为悬浮的高电位, 使得 T3 管导通, CK2 的高电位通过 T3 管传输到 G_N 端。由于电容 C1 及 T3 管耦合电容的作用, 使得 Q 点被上拉到一个更高的电平 $2*V_H-V_{th}-V_{SS}$, T3 管导通的更彻底, 使得 G_N 输出上拉为高电平。

(5) 下拉及放电阶段 P5:

当 CK2、CK1 都为低电平时, Q 点为悬浮的高电位, 因此 T3 管导通, CK2 的低电平传输到输出端 G_N 。由于电容 C1 和 T3 管耦合电容的作用, Q 点电位下拉至 V_H-V_{th} 。

(6) 低电平维持阶段 P6:

当 CK1 再次为高电平时, T2 管导通, 因为 G_{N-1} 为低电平, 其低电平传输到 Q 点。而同时下一级栅极驱动电路进入上拉阶段, 使得 G_{N+1} 端输出为高电平, 并且由于 STB 为高电平, 本级的 T9 管导通, 因为 G_{N+1} 端的高电平传输到本级 T8 管的栅极, 使得原本因为 Q 点下拉耦合将被拉低为更低电位 $2*V_{SS}-(V_H-V_{th})$ 的 G_N 节点, 仍被维持在低电平不变。

本文提出的栅极驱动电路的特点在于可以在逐行输出行选通信号之前, 所有行同步输出相同的电平可变的电压脉冲信号, 用于像素阵列的初始化复位或者校准。

3 结果与讨论

在本研究中, 采用 RPI TFT (Level=35) 模型对上述电路进行了 SPICE 模拟分析。经参数提取, 所用 IGZO TFT 的阈值电压为 1 V, 亚阈值摆幅为 0.6 V/dec, 迁移率为 $5 \text{ cm}^2 (\text{Vs})^{-1}$ 。表 1 展示了单极驱动电路器件的参数, 为了仿真实际显示像素阵列的情况, 在输出端串联了一个 1 K Ω 的电阻, 并联了一个 80 pF 的电容。

图 2 展示了各个阶段的连续两级的 Q 点和 G_N 节点的瞬态响应。在 12~24 μs 内, STV 信号为 20 V 电平, STB 信号为 -10 V 低电平, CK1 和 CK2 信号都为 -10 V 的低电平, 因此对 G_1 和 G_2 节点同时进行上拉, 最终稳定在 7.76 V。在 24~36 μs 内, STV2 信号为 20 V 高电平, 同时对 G_1 和 G_2 端同时进行下拉到 -10 V。在 48~60 μs 内, G_0 信号为 15 V 高电平, 同时 CK1 也为 15 V 高电平, G_0 对 Q_1 点进行充电至 11.48 V。在 60~72 μs 内, Q_1 点继续保持该电平。

在 72~84 μ s 内, CK2 信号为高电平, 通过电容 C1 和 T3 管的耦合电容, Q₁ 点自举到 35 V, 同时 G₁ 节点也上拉至 15 V 的高电位。同时 G₁ 也对下一级的 Q₂ 点进行充电至 12 V。在 84~96 μ s 内, CK2 信号为低电平, 通过 T3 管对 G₁ 进行下拉, 同时通过电容 C1 和 T3 管的耦合电容, Q₁ 点也被下拉至 12 V。而 Q₂ 点保持电位不变。在 96~108 μ s 内, CK1 为高电平, T2 管导通, Q₁ 点被下拉至 G₀ 的低电平。同时 Q₂ 点通过下一级的电容 C1 和 T2 管耦合电容的自举上拉至 35 V, 而 G₂ 也上拉至 15 V。在 108~120 μ s 内, G₂ 通过下一级的 T2 管进行

表 1.提出的栅极驱动电路的器件参数

TFT aspect ratio W/L					
T1	800 μ m/10 μ m	T4	20 μ m/10 μ m	T7	200 μ m/10 μ m
T2	100 μ m/10 μ m	T5	20 μ m/10 μ m	T8	200 μ m/10 μ m
T3	400 μ m/10 μ m	T6	200 μ m/10 μ m	T9	100 μ m/10 μ m
Capacitance					
C1	8 pF	C2	2 pF		
Voltage					
CK1	-10 V~15 V	CK2	-10 V~15 V	VSS	-10 V
STV	-10 V~20 V	STV2	-10 V~20 V	STB	-10 V~20 V

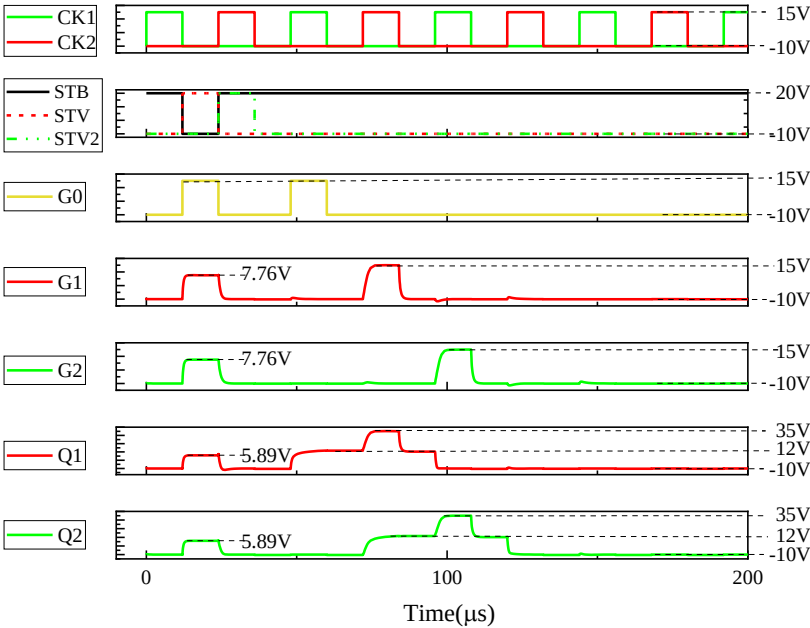


图 2.提出的栅极驱动电路内部节点 Q 点、输出节点 G₁、G₂ 的瞬态模拟结果

Figure2. Transient simulation results of internal node Q point、output node G₁、G₂ of proposed gate driver circuit

下拉, 同时 Q₂ 点通过下一级的电容 C1 和 T2 管耦合电容下拉至 12 V。在 12~132 μ s 内, CK1 为高电平, T9 管导通, Q₂ 点被放电至 G₁ 信号此时的电平即低电平。在此过程中为了使得所有输出节点在复位时能够上拉到完全相同的电位, 因此复位阶段 G₀ 的电压也设置为高电平, 以达到整体输出的一致性。

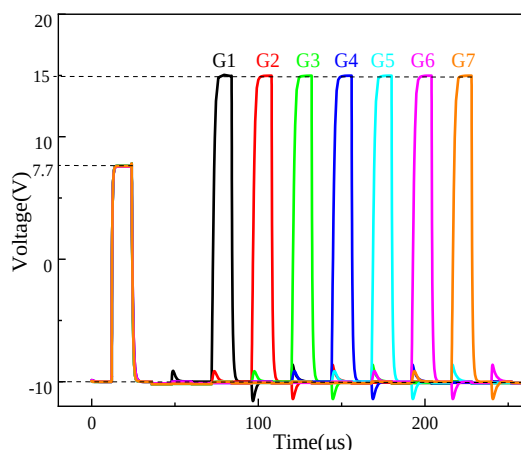


图 3.提出的栅极驱动电路 7 级输出节点的瞬态模拟结果

Figure3. Transient simulation results of 7-Stage output nodes of proposed gate driver circuit

图 3 示意了连续 7 级栅极驱动的电路的瞬态模拟结果。可以看到，在 12~24μs 内，各级栅极驱动电路都同步输出了幅度为 7.7 V 的脉冲电平。从第 48μs 开始，逐行输出宽度为 12μs、幅度为 15 V 高电平脉冲信号，近邻行扫描信号的间隔时间为 24μs。

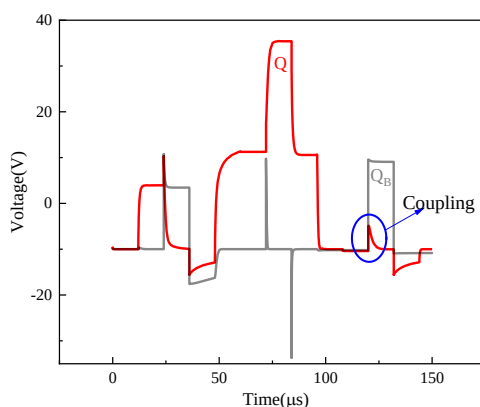


图 4.提出的栅极驱动电路节点 Q 与 Q_B 点瞬态模拟结果

Figure 4. Transient simulation results of nodes Q and Q_B of proposed gate driver circuit

在电路原理图 1 中，奇数级的电容 C2、T4、T5、T6 管似乎在整个工作周期内没有参与工作。每级栅极驱动电路中，直接与时钟信号相连的电容以及与 Q_B 点有关的三个下拉管的作用是防止因为时钟信号的跳变而耦合到错误的输出。这种情况在晶体管交叠电容大的情况下尤其明显。当 T2 管交叠电容大时，CK2 跳变为高电平时，Q 点可能会被耦合到较高的电平，使得 T2 管导通，然后使得 G_N 上拉，而 G_N 耦合 Q 点进行自举，最终导致一个错误的输出，并传递给其他级。在每级加入上述的电容 C2、T4、T5、T6 管后，Q_B 点的电平也会耦合到高水平，使得 T5 管导通，将耦合到 Q 点的信号进行下拉，并使 T6 管导通对 G_N 进行下拉，从而避免因时钟信号的跳变而导致错误的输出。而 T4 管是在 Q 点在正常预充电及输出自举时下拉 Q_B 点，关闭 T5 和 T6 管，使得电路正常运行。图 4 展示了在增加电容交叠量时，Q 点存在短暂的耦合上升，后 Q_B 通过 T5 管被下拉的细节，从而避免了错误的输出。当然在器件的交叠电容很小的工艺中，上述的三个管子和电容，尺寸可以选取很小，甚至可以被去除。

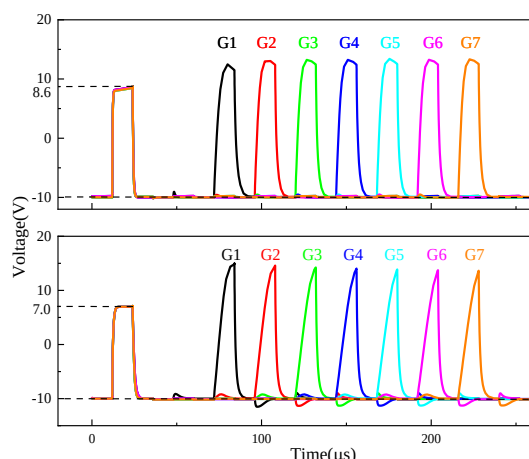


图 5.提出的栅极驱动电路阈值电压漂移-5.3V/+3.7V 的瞬态仿真结果

Figure 5. Transient simulation results of threshold voltage drift -5.3 V/+ 3.7 V of proposed gate driver circuit

图 5 展示了 7 级级联的栅极驱动电路在器件模型的阈值电压在漂移正负-5.3 V/+3.7 V 的工作情况。仿真的方法是在所有管子的栅极串联一个直流电压源，电压源的直流值代表阈值电压漂移的数值，来观察电路的工作情况。对比图 3 可以看到当阈值电压正向漂移时，复位阶段的上拉电压 V_X 下降了 0.7 V，这从式 2 中也可以得出上述结果。同样的当阈值电压负向漂移时候，复位阶段的上拉电压增加了 0.9 V。在行选通阶段，当阈值电压正向漂移 3.7 V 时，会出现每级输出信号上升时间长、高电平时间短的问题。当正向漂移大于 3.7 V 时，电路会因无法输出而失效。以奇数级的电路为例进行分析：当阈值电压正向漂移过大时，T3 管传输电流的能力变小， G_{N-1} 对 Q 点充电的速度下降，会导致 Q 点在预充电结束时达到的电压不足以开启 T2 管，并且 T2 管本身的阈值电压也发生了正向漂移，使得 Q 点更加难以开启 T2 管，从而无法在上拉阶段上拉 G_N 节点，使电路失效。当阈值电压负向漂移小于 -5.3 V 时，电路也会失效，因为 CK2 跳变为高电平时，耦合电容 C2 使得 Q_B 点也迅速上升，T5 和 T6 管的下拉能力因为阈值电压的负漂而增加，T6 管对 G_N 的下拉作用通过电容 C1 耦合也可以认为是对 Q 点的下拉作用。 Q_B 点通过这两个管子对 Q 点下拉的能力超过 Q 点通过 T4 管对 Q_B 点下拉的能力，因此在上拉阶段 Q 点本应自举上拉，却被 Q_B 点下拉，从而无法在下一阶段上拉 G_N ，使得电路负向漂移失效。值得一提的是，当器件模型的阈值发生漂移时，可抵抗阈值漂移而不失效的电压范围的数值是不变的。随着器件模型阈值增加或减少，可抵抗漂移的范围右移或者左移。对于此电路，可以通过增加对 Q 点的充电时间即增加电路工作周期或者增加驱动管 T2 管或者预充电管 T3 管的尺寸来增加阈值电压正向漂移时的范围；亦可以通过增加下拉管 T4 的尺寸或者减小下拉管 T5 管、T6 管、耦合电容 C2 的尺寸来增加 Q 点下拉 Q_B 点的能力来增加抵抗负向漂移的范围。

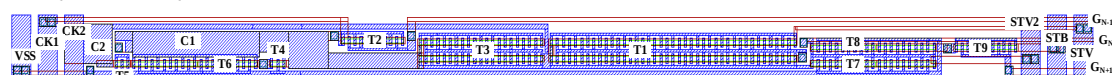


图 6.提出的栅极驱动电路的单级版图

Figure6. The single stage layout of proposed gate driver circuit

图 6 示意了单级栅极驱动电路的版图，每级的尺寸为 140μm 宽，2800μm 宽，其中包含 5 根控制线以及 VSS 线的宽度。该版图设计中，栅电极金属层的最小线宽及线距分别为 6μm 和 6μm；源漏金属层的最小线宽及线距分别 6μm 和 6μm；控制线的宽度为 50μm。图中标注了单级电路中各个管子和电容的位置。

4 结论

本文设计了一种带复位功能、可用于像素阵列整体复位的栅极驱动电路,详细地分析了该电路的工作过程,采用 RPI TFT (Level=35) 的模型进行了 SPICE 验证和分析。结果显示该电路可以在复位阶段全局同步输出一种相同的电平可变的电压脉冲信号,在行选通阶段逐行输出高电平脉冲信号,并且可在阈值电压漂移-5.3 V/+3.7 V 下正常工作。该电路提供了一种新的用于像素阵列复位的可行性方案,有利于提高像素阵列总体显示的均匀性。

参考文献:

- [1] Xue Y, Han B X, Wang X, et al. Dynamic threshold voltage compensation IGZO-GOA circuit for AMOLED display[C]// SID Symposium Digest of Technical Papers, 2019, 50(S1): 10–12.
- [2] Liao C , Hu Z , Dai D , et al. A Compact Bi-Direction Scannable a-Si:H TFT Gate Driver[J]. Journal of Display Technology, 2015, 11(1):3-5.
- [3] Wang P D, Wang D, Yuan G, et al. Development of IGZO ESL Type TFTs at G8.5 for 55' AMOLED TVs[C]// SID Symposium Digest of Technical Papers 2016(668): 1159–1161.
- [4] Hu Z , Liao C , Li W , et al. Integrated a-Si:H Gate Driver With Low-Level Holding TFTs Biased Under Bipolar Pulses[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2015, 62(12):1-7.
- [5] J. Kim, J. Byun, J. Jang, et al. A high-reliability carry-free gate driver for flexible displays using a IGZO TFTs[J]. Transactions on Electron Devices, 2018, 65: 3269–3276.
- [6] Hu Z , Liao C , Zheng C , et al. A high-speed and reliable TFT integrated shift register[C]// Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC), 2013 IEEE International Conference of. IEEE, 2013.
- [7] Liao C , He C , Chen T , et al. Implementation of an a-Si:H TFT Gate Driver Using a Five-Transistor Integrated Approach[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2012, 59(8):2142-2148.
- [8] Lin C L , Cheng M H , Tu C D , et al. Highly Reliable Integrated Gate Driver Circuit for Large TFT-LCD Applications[J]. IEEE Electron Device Letters, 2012, 33(5):679-681.
- [9] Lin C L , Wu C E , Chen F H , et al. Highly Reliable Bidirectional a-InGaZnO Thin-Film Transistor Gate Driver Circuit for High-Resolution Displays[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2016, 63(6):1-7.

基于 a-Si TFT 的 AM Mini-LED 像素电路研究

彭志超, 廖聪维, 付佳, 梁键, 张盛东*

(北京大学, 信息工程学院, 深圳, 518055, 1801213308@ pku.edu.cn)

摘要: 本文研究基于非晶硅薄膜晶体管(a-Si TFT)的有源矩阵 Mini-LED 像素电路的稳定性。针对实际测试的 Mini-LED 以及 a-Si TFT 的电流-电压特性, 提取了高精度的 SPICE 模型。采用 SmartSpice 仿真器, 对比分析了 2T1C 电压型以及 4T1C 电流镜型的 Mini-LED 像素电路的可靠性。本文的仿真结果表明, 当 2T1C 结构的 V_{th} 漂移量为 0.75V, 其电流误差率为 25%。而电流镜型电路具有一定的补偿阈值电压的能力, 对应于 5mA 级别的驱动电流, 当 V_{th} 漂移量为 0.75V, 电流误差率小于 10.5%。

关键词: 非晶硅薄膜晶体管, 电流编程型像素电路, AM Mini-LED

AM Mini-LED Pixel Circuit Design Based on a-Si TFTs

PENG Zhichao, LIAO Congwei, FU Jia, LIANG Jian, ZHANG Shengdong*

(School of Electronic and Computer Engineering, Peking University, Shenzhen, 518055, CHN, 1801213308@ pku.edu.cn)

Abstract: The stability of active matrix Mini-LED pixel circuit based on amorphous silicon thin film transistor is investigated in this paper. According to the current-voltage characteristics of the actual tested mini LED and a-Si TFT, a high-precision SPICE model is extracted. The SmartSpice simulator is used to compare and analyze the reliability of the 2T1C voltage type and 4T1C current mirror type Mini-LED pixel circuit. The simulation results in this paper show that, for 2T1C structure, the current error rate is 25% with V_{th} shift (i.e. ΔV_{th}) of 0.75V. The current mirror circuit has better ability to compensate the threshold voltage shift. For the LED current of 5 mA, the current error rate of 4T1C current mirror circuit is less than 10.5% with ΔV_{th} of 0.75V.

Key words: Amorphous Silicon Thin-Film-Transistor, Current-programmed pixel circuit, Active Matrix Mini-LED

1 引言

近年来, 发光二极管(Light Emitted Diode, LED)的大阵列集成化成为信息显示产业的一个重要发展趋势^[1,2]。LED 尺寸越做越小, 其中特征尺寸在 0.2 μm 左右、间距在 0.7mm~1.5mm 左右的主动矩阵型微型发光二极管(Active Matrix Mini LED, AM Mini-LED)显示受到行业厂商的广泛关注。目前 AM Mini-LED 两大的应用方向分为小间距的 AM Mini-LED 直显技术和液晶显示(Liquid Cristal Display, LCD)的背光面板应用。AM Mini-LED 技术与薄膜晶体管(Thin-Film-Transistor, TFT)阵列结合, 可以实现 LCD 全阵列局部区域调光(Full-array Local Dimming)。AM Mini-LED 应用在 LCD 显示 Local Dimming 中既可降低 LCD 显示的功耗, 还可以提高画面对比度^[3-5]。这为低功耗、高对比度 LCD 提供了有力支持。

非晶硅(Amorphous Silicon, a-Si)薄膜晶体管工艺成熟、成本低, 在显示领域取得了广泛应用。a-Si 存在一些缺点, 如较低的迁移率($\mu \approx 0.3 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$)、长时间栅极高压偏置下引起的阈值电压 V_{th} 漂移等等, 这些对高稳定性的 AM Mini-LED 像素电路设计提出了严峻的挑

战。本文对比分析了 2T1C(两个晶体管一个电容，以此类推)像素电路和一种具有补偿阈值电压功能的电流编程型 4T1C 像素电路，通过较详细的分析和计算讨论了 a-Si TFT 用于实现 AM Mini LED 阵列的可行性。

2 分析计算与仿真

2.1 Mini-LED 以及 a-Si TFT 的 SPICE 模型

Mini-LED 的发光亮度与电流具有很好的线性关系，其发光亮度正比于电流，如图 1 所示。本次仿真计算采用 Mini-LED 的 SPICE 模型根据图 2 所示的测试数据拟合。所使用的 a-Si TFT 的 SPICE 模型根据图 3 所示的测试数据拟合。其迁移率 $\mu \approx 0.77\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ ，阈值电压 $V_{th} \approx 1.21\text{V}$ 。

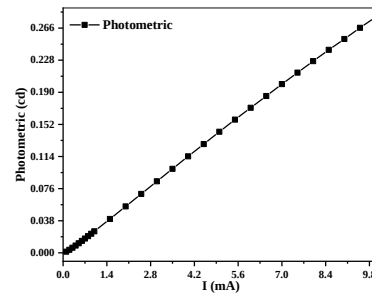


图 1 Mini-LED 测试亮度与电流曲线

Fig. 1 Mini-LED test brightness verse current curve

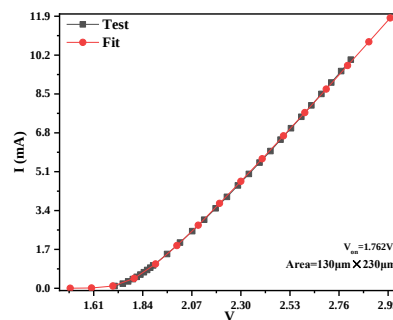


图 2 Mini-LED I-V 曲线

(1)Test 测试数据(2)Fit 拟合结果

Fig.2 Mini-LED I-V curve (1) Testing (2) Fitting

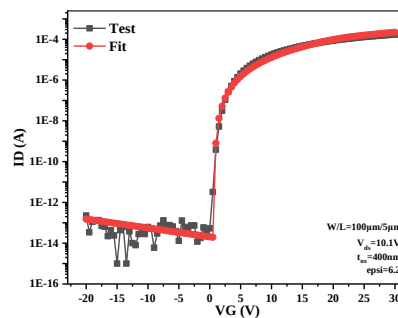


图 3 a-Si TFT $I_D - V_{GS}$ 曲线

(1)Test 测试数据(2)Fit 拟合结果

Fig. 3 a-Si TFT $I_D - V_{GS}$ curve (1) Testing (2) Fitting

2.2 2T1C 像素电路

最基本 2T1C 像素电路必须包括一个开关 TFT、一个驱动 TFT 以及一个存储电容 C_s ，如图 4 所示。

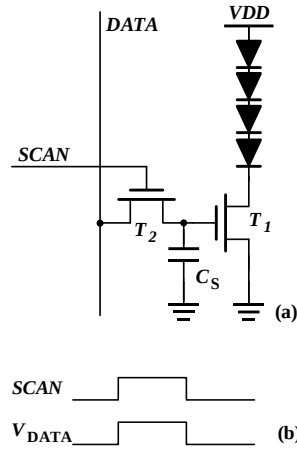


图 4 2T1C Mini-LED 像素电路(a)结构 (b)时序

Fig. 4 2T1C pixel circuit (a) structure (b) timing

该结构串联了四颗 Mini-LED，与串联一颗 Mini-LED 相比，主要有两点优势：

- (1) 减轻 IR-drop 问题：Mini-LED 用作背光面板时发光强度很大，一般达到 $10^4 nit$ 级，驱动电流达到mA级。在这种级别电流情况下，电源线上 IR-drop 压降会引起距离电源线远近不同区域的电压不同，从而导致背光面板局部亮度不均匀^[6]。为保持同样的发光亮度，串联四颗 Mini-LED 流过的电流为原来串联一颗 Mini-LED 结构时电流的四分之一。减小电流会使电源线上的 IR-drop 压降也同样减小。串联四颗 Mini-LED 使得电流变化量由串联一颗 Mini-LED 的 2.27mA 减小为 0.2mA。IR-drop 造成的不均匀性由原来的 14.8%降低为 5.6%。
- (2) 有利于晶体管尺寸缩小。由图 2 可知，Mini-LED 的发光亮度与电流成正比。而该电流由驱动晶体管 T1 决定，即 T1 管的栅源电压、宽长比决定。由于发光亮度线性叠加特性，通过并联或串联多颗 Mini-LED，可以保持亮度不变而减小每颗 Mini-LED 的工作电流。这就有利于减少数据电压的值，从而减缓 a-Si TFT 阈值电压的漂移。同时，更小的晶体管尺寸也使得晶体管寄生电容减少，从而 SCAN 线的时钟馈通影响较小。

根据像素电路的工作原理，如图 4.(b)所示。在本行选通时，SCAN 信号高电平使 T2 管打开，DATA 线上数据电压 V_{data} 写入 T1 管栅极处的电容 C_s 上。发光阶段，流过 Mini-LED 的电流由 T1 管漏电流 I_D 决定^[7]：

$$I_D = K(V_{data} - V_{th})^\alpha \quad (1)$$

其中， V_{th} 是 T1 管的阈值电压，K是与 T1 管迁移率 μ 、栅氧单位面积电容 C_{ox} 宽长比 W/L 成正相关的常数， α 是大于或等于 2 的常数，一般取 2。由式(1)可知，Mini-LED 的电流与数据电压、驱动管宽长比成正相关。

根据式(1)设计晶体管尺寸，不考虑 V_{th} 漂移，取 $V_{DATA}=4V$ 、6V、8V 和 10V，为保证亮度相同，串联一颗 Mini-LED 时， $I_D = 5mA$ ，而在串联四颗 Mini-LED 时， $I_D = 1.25mA$ ，对应的 T1 管尺寸如表 1 所示。

表 1 不同数据电压下驱动晶体管 T1 的尺寸参数

Tab.1 Size characteristics of driving transistor T1 under different data voltages

V_{DATA} V	One Mini-LED L=5 μm , W/ μm	Four Mini-LEDs L=5 μm , W/ μm
4V	843420	222830
6V	297700	82500
8V	155580	43100
10V	96300	26800

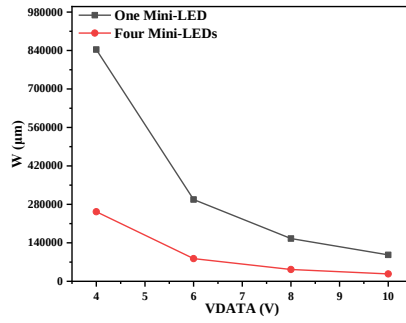


图 5 T1 管尺寸 W 与数据电压 V_{DATA} 的关系

Fig. 5 The W of the drive transistor T1 verse the data voltage V_{DATA} curve

如图 5 所示，在电流一定的情况下，T1 管宽长比 W/L 与 V_{DATA} 之间满足关系：

$$W/L \propto (V_{data} - V_{th})^{-\alpha} \quad (2)$$

显然 V_{DATA} 取得越大，T1 管 W 可以取得更小。但实际情况来看，考虑到像素电路的稳定性， V_{DATA} 不可能取得相当大。因为对于应用在 LCD 背光面板中的 AM Mini-LED，像素与像素之间的间距往往在 1mm 左右，对像素内的晶体管尺寸限制不大。

实际上 a-Si TFT 的 V_{th} 漂移是必须考虑的。由式(1)知， V_{th} 的变化对电流影响很大。尤其是当 a-Si TFT 的栅源电极偏压越高时， V_{th} 的漂移量越大。在长期正偏压下 a-Si TFT 的 V_{th} 正漂移量 ΔV_{th} 由式(3)决定^[8]：

$$\Delta V_{th} = A V_G^\beta t^\gamma \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \quad (3)$$

其中 E_a 是激活能，A、 β 、 γ 是工艺相关的常数，k 是玻尔兹曼常数，T 是温度，t 是 TFT 栅源电极施加偏压时间， V_G 是栅源电极偏压。室温下一般 $A \exp(-E_a/kT) = 0.0177$ ， $\beta = 1.4$ ， $\gamma = 0.277$ 。如果 V_{DATA} 范围保持不变，由于 V_{th} 正向漂移会使电流值下降，则 T1 管的尺寸需要适当取偏大值，留有一定裕度保证当 a-Si TFT V_{th} 正向漂移时，2T1C 像素电路仍能驱动最大电流，使 Mini-LED 达到 peak 亮度。

若取施加偏压时间 $t = 240(\text{hours})$ ，以图 3 所示串联四颗 Mini-LED 的 2T1C 像素电流为例。根据式(3)进行仿真计算，在不同的 V_{DATA} 造成不同的 V_{th} 漂移量以及对应的 T1 管尺寸修正值如表 2 所示：

表 2 不同 V_{DATA} 下 T1 管 V_{th} 漂移量和 W 修正值

Tab.2 Threshold voltage drift and W correction value of driving transistor T1 under different

	V_{DATA}			
V_{DATA}	4V	6V	8V	10V
$\Delta V_{th}/V$	0.43	0.75	1.13	1.54
W/ μm	253230	101300	56400	36300

不考虑 V_{th} 漂移，取 $V_{DATA}=6V$ ， $I_D = 1.25mA$ 的串联四颗 Mini-LED 2T1C 像素电路进行仿真，电流瞬态响应如图 6 所示：

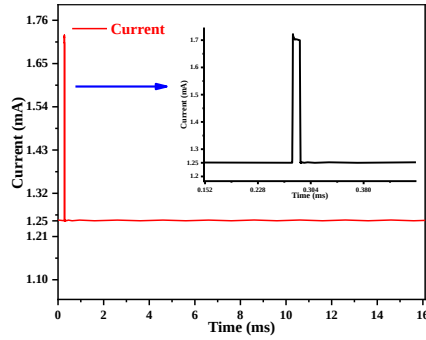


图 6 2T1C 像素电路瞬态响应波形

Fig. 6 The simulated transient waveforms for the 2T1C pixel circuit

晶体管取值和电容等参数如表格 3 所示：

表 3 2T1C 像素电路元器件参数取值

Tab.3 The 2T1C pixel circuit component parameter

Name	Value	Name	Value
$\left(\frac{W}{L}\right)_{T1}$	$\frac{82500\mu m}{5\mu m}$	$\left(\frac{W}{L}\right)_{T2}$	$\frac{8000\mu m}{5\mu m}$
C_s	0.8pF	VDD	20V
V_{DATA}	6V	$SCAN_{high}$	15V
$SCAN_{low}$	-5V		

以串联四颗 Mini-LED 的 2T1C 像素电流为例，根据表 3 的设计参数， $V_{DATA}=6V$ ， $I_D = 1.25mA$ ，考虑 V_{th} 正漂移 0.75V 引起的像素电流的误差，如图 7 所示：

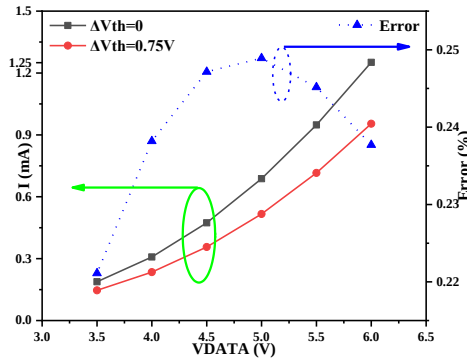


图 7 $\Delta V_{th} = 0V$ 、 $0.75V$ 时 2T1C 像素电路的 I-V 曲线和相应电流误差

Fig. 7 The Mini-LED current versus data voltage when $\Delta V_{th} = 0V$ 、 $0.75V$ and the corresponding current error value for the 2T1C pixel circuit

由于仿真为串联四颗 Mini-LED 的 2T1C 像素电路，该像素最后的发光强度正比于四颗 Mini-LED 电流之和。由图 7 可知，在 $\Delta V_{th} = 0.75V$ 的情况下，每颗 Mini-LED 的电流误差率达到了近 25%。因此 2T1C 像素电路不能直接用来驱动 AM Mini-LED。

2.3 一种高稳定性电流编程 4T1C 像素电路

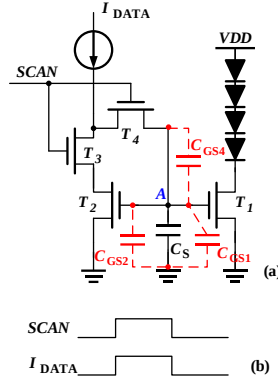


图 8 电编程型 4T1C Mini-LED 像素电路(a)结构 (b)时序

Fig. 8 The schematic of the Current-Programmed 4T1C pixel circuit (a) structure (b) timing

在发展比较成熟的 AMOLED 显示中, 为补偿驱动薄膜晶体管的阈值电压, 许多研究机构和厂商提出了电压编程型(Voltage-Programmed Pixel Circuits, VPPCs)、电编程型(Current-Programmed Pixel Circuits, CPPCs)的像素内部补偿和外部补偿方案。图 8 示意的就是一种 CPPCs 内部补偿 4T1C 像素电路^[9]。但这种 4T1C 像素电路是否能够用于 a-Si TFT 集成的 AM Mini-LED, 目前还没有看到相关研究报道。

该结构中驱动晶体管 T1 与镜像晶体管 T2 的栅极、源极分别连接在一起构成电流镜结构, 其他晶体管 T3、T4 起开关作用。

在编程阶段, T3、T4 管打开, 电流源对电容 C_S 充电的同时逐渐打开 T2 管。 I_{DATA} 电流流过 C_S 和 T2 管。随着 T2 管开启而饱和, C_S 上充电速度越来越慢, I_{DATA} 电流逐渐全部流过 T2 管, 即此时完成编程电流 I_{DATA} 的采样, C_S 上存储了含有 I_{data} 信息的电压。

在发光阶段, 由于 T1 与 T2 管共享 C_S 上数据电压, 两个管子处于同样的栅源电压偏置, 且在版图布局接近, 所以 T1、T2 管的阈值电压 V_{th} 可近似认为相等, 并近似处理 $\Delta V_{th1} = \Delta V_{th2}$ 。因此发光过程中, 流过 Mini-LED 的电流为:

$$I_D = \frac{(W/L)_1}{(W/L)_2} \cdot I_{DATA} \quad (4)$$

其中 $(W/L)_1$ 、 $(W/L)_2$ 分别为 T1、T2 的宽长比。由式(4)可得, I_D 只与 I_{DATA} 、 $(W/L)_1$ 以及 $(W/L)_2$ 有关, 而与晶体管的 V_{th} 和 μ 无关。因此, 该 CPPCs 4T1C 像素电路能够抵消 V_{th} 和 μ 的漂移或者不均匀带来的电流误差影响。

上述只是理想情况下的假设和分析, 实际上该电路仍然存在几个缺点需要考虑。

(1) 动态误差(Dynamic Errors)问题: 如图 8.(a) 所示, A 点电压在帧与帧刷新、重新编程即将结束的时候, 会有偏离实际编程电压的一个小信号电压误差。若进行小信号分析, 则 A 点的电压跳变引起的电流误差 I_{error} 为:

$$I_{error} = g_m \cdot \Delta V_{GS} \quad (4)$$

其中, g_m 为 T1 管的小信号跨导, 而 ΔV_{GS} 又主要由以下两部分引起的。

i. SCAN 信号线电压跳变通过 T4 管栅源寄生电容 C_{GS4} 耦合到 A 点的电压变化 ΔV_1 :

$$\Delta V_1 = \Delta V_{SCAN} \frac{C_{GS4}}{C_S + C_{GS1} + C_{GS2} + C_{GS4}} \quad (5)$$

其中 C_{GS1} 、 C_{GS2} 分别为 T1、T2 管的栅源寄生电容, ΔV_{SCAN} 为 SCAN 线上的电压跳变量。

ii. T4 晶体管关断时的沟道电荷注入 A 点引起的电压跳变 ΔV_2 :

$$\Delta V_2 = -\beta \frac{C_{GS4}(V_{SCAN} - V_{GS1} - V_{th1})}{C_S + C_{GS1} + C_{GS2} + C_{GS4}} \quad (6)$$

其中, β 为 T4 管漏端释放电荷到沟道中的系数, 对于具有比较快上升下降时间 SCAN 信号,

β 接近于 0.5^[10]。即，

$$I_{error} = \frac{g_m C_{GS4} [\Delta V_{SCAN} - \beta (V_{SCAN} - V_{GS1} - V_{th1})]}{C_S + C_{GS1} + C_{GS2} + C_{GS4}} \quad (7)$$

(2) 建立时间(Setting Time)问题: 此问题由该电路工作原理决定而不可避免。实际面板上的数据线上存在寄生电容 C_p ，且随着面板尺寸增大， C_p 愈大。在编程阶段，输入电流源 I_{in} 对 T2 管和 A 点栅电容充电，编程结束后， I_{out} 由驱动管 T1 和 A 点电压确定，所以有：

$$I_{in}(t) = \frac{(C_A + C_p) dV_A}{dt} + K(V_A - V_{th})^2 \quad (8)$$

$$I_{out} = K(V_A - V_{th})^2 \quad (9)$$

其中， V_A 为 A 点电压，

$$C_A = C_S + C_{GS1} + C_{GS2} + C_{GS4} \quad (10)$$

$$K = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} \quad (11)$$

根据式(8)、(9)、(10)和(11)确定最终的输出电流 I_{out} 和建立时间 τ ^[10]:

$$I_{out} = I_{in} \left(\frac{1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)}{1 + \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)} \right)^2 \quad (12)$$

$$\tau \approx \frac{C_p}{2 \sqrt{\frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} I_{in}}} \quad (13)$$

从式(7)可以看出，要减小 I_{error} ，则需要减小 T3、T4 管尺寸并增大 C_A 的值，即增大电容 C_S 。

从式(13)可知，当 I_{out} 显示低灰阶时，相应的 I_{in} 也减小，使得建立时间 τ 增大。

在考虑小电流的大面积高分辨率 AMOLED 显示的时候，上述的两个问题必须要考虑，但在用于大电流全阵列局部区域调光的 LCD 背光面板 AM Mini-LED 显示的时候，这两个问题的限制条件不再像 AMOLED 显示那样严苛。首先，它用来作背光面板，不需要非常高的精度灰阶和极低的电流误差 I_{error} 。其次，因为作 LCD 的背光面板显示局部黑暗画面时，由于还有液晶层的存在，Mini-LED 输出电流不一定需要完全降到零，此时只需要一个稍小于峰值电流 I_{peak} 的输出电流 I_{out} ，也可以实现一个对比度比较高的图像画面。即 I_{in} 并非需要减小到 μA 乃至 nA 级别，因此建立时间 τ 也可以保持在一个较小值，满足快速刷新的需求。

对于串联四颗 Mini-LED 的结构，驱动电流达到 1.25mA 即可使像素达到所需要的背光亮度。因此对图 8.(a) 所示的 4T1C 像素电路尺寸设计参数如表 4 所示：

表 4 4T1C 像素电路元器件参数取值

Tab.4 The 4T1C pixel circuit component parameter

Name	Value	Name	Value
$\left(\frac{W}{L}\right)_{T1}$	$\frac{88300\mu m}{5\mu m}$	$\left(\frac{W}{L}\right)_{T2,T3,T4}$	$\frac{8000\mu m}{5\mu m}$
C_S	1pF	VDD	20V
I_{DATA_max}	125 μA	I_{DATA_min}	40 μA
$SCAN_{low}$	-5V	$SCAN_{high}$	15V

假设 $C_p = 200pF$ ，取 $I_{in} = I_{DATA\_min}$ ，根据表和式(13)可得：

$$\tau = \frac{200pF}{2 \sqrt{\frac{1}{2} 6.65 \times 10^{-9} \times \frac{88300}{5} \times 40 \frac{\mu A}{V^2}}} \approx 2.1\mu s \quad (14)$$

在此电流量级下，该像素电路的建立时间为2.1 μs ，电路的驱动速度并不算慢。

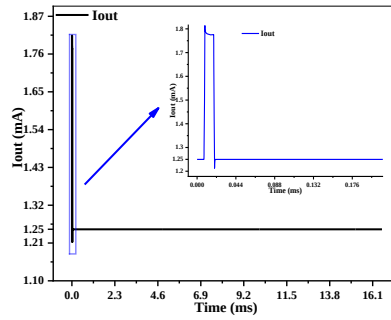


图 9 4T1C 像素电路瞬态响应波形

Fig. 9 The simulated transient waveforms for the 4T1C pixel circuit

该电路的瞬态响应曲线如图 9 所示。在一帧约 16.6ms 内像素电流保持的较好。图 10 是该 4T1C 像素电路编程电流 I_{in} 与输出电流 I_{out} 对应关系曲线及在 V_{th} 漂移 0.75V 时, Mini-LED 的电流误差率。由图可知在 1.25mA 电流的输出范围内, Mini-LED 电流误差率不超过 10.5%, 即单像素四颗 Mini-LED 造成亮度误差率不超过 10.5%。

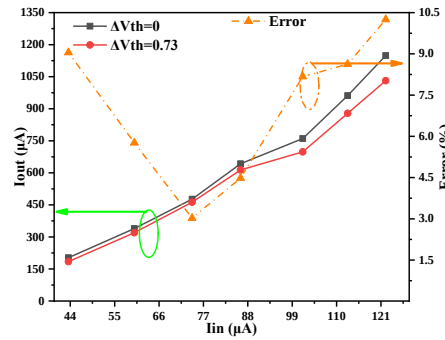


图 10 4T1C 像素电路在 $\Delta V_{th} = 0V$ 、0.75V 的 I-V 关系和相应的误差

Fig. 10 The Mini-LED current versus data Current when $\Delta V_{th} = 0V$ 、0.75V and the corresponding current error value for the 4T1C pixel circuit

3 结果与讨论

本文主要探讨了在 LCD 背光面板等应用场景下, 利用 a-Si TFT 如何尽所能实现 AM Mini-LED。在 2T1C 的基本像素电路结构中, 由于自身低迁移率的特性, 驱动毫安级别的电流使 Mini-LED 达到亮度峰值, 这需要 a-Si TFT 的尺寸做的足够大、驱动电压给的足够高。同时在工作状态下, a-Si TFT 的阈值电压 V_{th} 会随着时间发生漂移, 这会严重影响背光面板的发光均匀性。为此, CPPCs 型 4T1C 电路结构为补偿阈值电压漂移提供了有力支持, 在大电流驱动情况下, 前期讨论的弱编程电流增加了电流信号的建立时间的问题限制也不再变得明显。根据仿真和计算, 在寄生电容 200pF 的情况下, 4T1C 像素电路的建立时间在微秒量级, 能够满足刷新率较低的背光应用需求。

4. 总结

总之在 LCD 背光面板等应用场景中, 亮度分辨率、刷新速度不如直显要求高, 但是驱动电流大。经过本文研究, 电流镜型电路具有一定的补偿阈值电压的能力, 对应于 5mA 级别的驱动电流, 当 V_{th} 漂移量为 0.75V, 电流误差率小于 10.5%。在保证一定均匀性情况下, a-Si TFT AM Mini-LED 能满足 LCD 背光面板的需求, 具有广阔的应用空间。

参考文献:

[1] H.M. Kim, J.G. Um, S. Lee, et al. High Brightness Active Matrix Micro-LEDs with LTPS TFT Backplane[C]. SID Symposium Digest of Technical Papers. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2018,

66(4): 880-883.

- [2] A. Daami, F. Olivier, L. Dupré, et al. Electro-optical size-dependence investigation in GaN micro-LED devices[C]. SID Symposium Digest of Technical Papers. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2018, 59(4):790-793.
- [3] H. Chen, J.H. Lee, B.Y. Lin, et al. Liquid crystal display and organic light-emitting diode display: Present status and future perspectives[J]. Light: Science & Applications, 2018, 7(2):11-23.
- [4] G. Tan, Y. Huang, M.C. Li, et al. High dynamic range liquid crystal displays with a mini-LED backlight[J]. Optics Express, 2018, 26(13):16572-16584.
- [5] Q.M. Hoffman, N.N. Stepien, W. Xiong. The importance of native panel contrast and local dimming density on perceived image quality of high dynamic range displays[J].Journal of Society for Information Display, 2016, 416,216-228.
- [6] B. Liu, Q. S. Liu, J. Li, et al. An Active Matrix Mini-LEDs Backlight based on a-Si[C]. SID International Symposium Digest of Technical Papers, 2019, 51(1):62-64.
- [7] P. Servati, D. Striakhilev, A. Nathan. Above-Threshold Parameter Extraction and Modeling for Amorphous Silicon Thin-Film Transistors[J]. IEEE Transaction on Electron Devices, 2003, 50(11):2227-2235.
- [8] J.C. Goh, J. Jang, K.S. Cho. A New a-Si:H Thin-Film Transistor Pixel Circuit for Active-Matrix Organic Light-Emitting Diodes[J]. IEEE Electron Device Letters, 2003, 24 (9):583-585.
- [9] A.Nathan, G.R. Chaji, S.J. Ashtiani. Driving Schemes for a-Si and LTPS AMOLED Displays[J]. IEEE Journal of Display Technology, 2005, 1 (2):267-277.
- [10] G. Wegmann, E.A. Vittoz, F. Rahali. Charge injection in analog MOS switches[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1987, 22 (6): 1091–1097.

TFT-LCD 驱动电路高速信号衰减的研究和改善方案

黄宇鹏, 刘葆, 赖意强, 翁祖伟, 翁彬, 黄巧红, 林丽锋,
廖燕平, 李承珉, 负向南, 张洪林

(福州京东方光电科技有限公司, 福建福州, 350300, huangyupegn@boe.com.cn)

摘要: 本文基于传输线理论, 研究了液晶显示面板高速数字信号传输的影响因素, 对印制电路板、FFC、FPC 走线及材质、线宽线距等因素进行了分析实验。通过加入 EQ IC 增强了信号的传输效果, 降低了由于高刷新率和高分辨率引起的信号衰减。提出了高分辨率和刷新率面板传输系统信号幅值衰减的分析和解决方法。通过仿真、测试和估算等方式对传输系统信号幅值衰减进行评估, 验证了方案的有效性和可行性。进一步地, 针对 110' 8K 120Hz TFT-LCD 产品, 对高速数字信号系统进行分析及优化, 提出高速信号传输系统的优化方案, 可以有效降低高速信号的衰减。

关键词: 驱动电路, 高速信号系统, 信号衰减, 印刷电路板, 眼图

Research and Prioritization Scheme on High-speed Signal

Attenuation of Driving Circuit of TFT-LCD

HUANG Yupeng, LIU Bao, LAI Yiqiang, WENG Zuwei, WENG Bin, HUANG Qiaohong, LIN

Lifeng, LIAO Yanping, LI Chengmin, YUN Xiangnan, ZHANG Honglin

(Fuzhou BOE Optoelectronics Technology Co.,Ltd, FuZhou Fujian, 350300,

huangyupegn@boe.com.cn)

Abstract: Based on transmission line theory, this article studies the impact of high-speed serial transmission system of liquid crystal display. Analysis experiment is made by comparing material and wire ceiling on PCB, FFC and FPC. Signal attenuation is reduced and transmission effect is increased by adding EQ IC function. Analysis and solutions to signal attenuation are proposed for high resolution and refresh rate of LCD. Effectiveness and feasibility of the research are verified by simulation, testing and estimation. Furthermore, the results of 110' 8K 120HZ TFT-LCD product show that the prioritization scheme of high-speed serial transmission system can effectively reduce signal attenuation.

Keywords: Driving circuit, High-speed serial transmission system, Signal attenuation, Printed circuit board, Eye diagram

1 引言

随着 TFT-LCD 面板的发展, 大尺寸, 高分辨率和高刷新是未来液晶电视的重要趋势。对于大尺寸, 高分辨率高刷新率的液晶面板, 驱动电路也随之迎来了巨大的挑战。

液晶电视的高速信号传输系统由 TCON (Timing Controller, 信号发生器), 印刷电路板, 连接器及 FFC/FPC, Source Driver (信号接收端及驱动电路), 典型框图如图 1 所示。



图 1 TFT-LCD 数字信号传输系统框图

TCON 通过接收外部视频信号，按照特定的通信协议，将其转换为 Source Driver 可识别接受的高速数字信号。该高速信号通过印刷电路板上的差分对走线，连接器及 FFC 等路径到达接收端 Source Driver，然后由 Source Driver 进行解码，并将数字信号转换为模拟信号驱动 TFT-LCD 面板。

液晶电视的大尺寸，高分辨率和高刷新率趋势，对该数字信号传输系统的影响是不利的。其一，液晶电视的大尺寸化发展，目前市面上的主流产品已经从传统的 43 寸和 55 寸向 86 寸和 98 寸逐步转移，这一趋势意味着 TFT-LCD 数字信号传输系统中差分对走线的路径会有很大的加长。其二，液晶电视的高分辨率和高刷新率的发展趋势，从目前市面上主流的 4K 60Hz 向 8K 120Hz 发展，使得单位时间内 TCON 传输的数据量成倍地增加，TFT-LCD 驱动电路的数字信号传输系统的信号频率也会成倍地上升。

在高速数字信号传输系统中，传输路径的加长和信号频率的提升，都会加重信号在传输过程中的衰减^[1-5]，并且使得信号更易被干扰，导致 Source Driver 无法正确解读信号，最终造成 TFT-LCD 面板显示出现异常，例如闪点，闪线等问题。

2 TFT-LCD 驱动电路数字传输系统分析

TFT-LCD 驱动电路中数字信号传输系统可以承受的信号幅值的理论衰减值取决于 TCON 输出的信号幅值的 Source Driver 接收器的门限值。常规的 Source Driver 接收器的门限值为 75mV，若 TCON 发送的信号达到 Source Driver 时的幅度小于该门限值，则 Source Driver 很可能无法正常解析 TCON 发送的信号，造成显示异常。因此，根据 TCON 的输出信号幅值和 Source Driver 的门限值，可以确定系统中的信号最大允许衰减。

$$r_{dB} = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_0} \right) = 20 \lg \left(\frac{V_1}{V_0} \right). \quad (1)$$

式中： r_{dB} 为信号最大允许衰减， P_1 ， V_1 分别是 TCON 输出的信号功率和电压； P_0 ， V_0 分别是 Source Driver 接收的门限功率和门限电压。

在实际工程中，设计的信号衰减应当小于系统中的信号最大允许衰减，并且，实际工程中的衰减越小，则该 TFT-LCD 驱动电路的信号传输系统的鲁棒性越强。

3 基于 110' 8K 120Hz 信号衰减分析及改善

3.1 信号衰减分析

基于 110' 8K 120Hz TFT-LCD 产品，对高速数字信号系统进行分析及优化：

110' 8K 120Hz TFT-LCD 面板的长度约为 2400mm，TCON 位于中间位置，则 TCON 发送的信号到达接收端 Source Driver 的最长路径为 TCON（发送端）→印刷电路板差分对走线→连接器/FFC→印刷电路板差分对走线→Source Driver（接收端），该高速信号走线长度超过 1200mm，如下图所示：

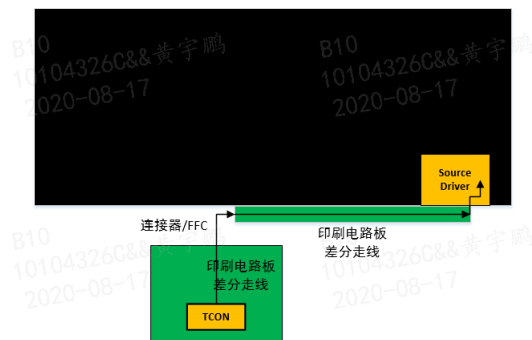


图2 110' 8K 120Hz 信号传输路径示意图

110' 8K 120Hz TFT-LCD 面板驱动电路共有 48 个 Source Driver，在面板长边按等间距分布，每个 Source Driver 有一对差分对，因此每对差分对的信号线速率为：

$$\text{Bandwidth} = H_{\text{total}} \times V_{\text{total}} \times \text{Frame rate} \times 28 \div \text{差分对数量} = 8800 \times 4500 \times 120 \times 28 \div 48 \approx 2.8\text{Gbps}$$

其中，H total 为横向的像素点数量（包含 Blanking 区），V total 为纵向的像素点数量（包含 Blanking 区），Frame rate 为刷新率。由于每一个像素点的数据是以 packet 为单位，一个 packet 有 28bit（3*8+4dumming 区），所以这里要乘以 28；

由于 110' 8K 120Hz 尺寸大，信号速率高，在面板最远端位置出现了严重的信号衰减问题，远端 6 颗 Source Driver 无法正确解析 TCON 端发送的信号，造成面板在远端 6 颗 COF 位置出现了闪点问题。经过仿真测试，达到最远端 Source Driver 的信号衰减为-20dB。由于信号衰减值较大，因此我们采用了三项措施来解决信号衰减问题。

3.2 信号衰减的改善方案

为了增强到达远端 Source Driver 信号的幅值，我们采用了一颗 Pre-Emphasis and Receive Equalization，下述中简称 EQ IC。该 EQ IC 在 2.8Gbps 的信号传输系统中，可以补偿信号路径导致的-17dB 信号衰减。

EQ IC 接收端需要正确解析出 TCON 发送的信号，并将信号发送给 Source Driver，为了 EQ IC 可以在系统中起到最佳的信号增强效果，因此我们将 EQ IC 的放置位置设计在信号路径的中心位置。

增加 EQ IC 后的信号传输系统示意图如下所示：

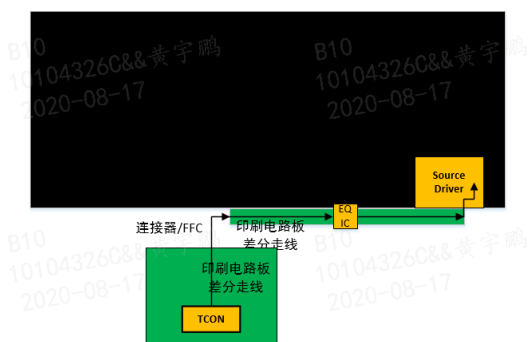


图3 110' 8K 120Hz 改进后信号传输路径示意图

通过增加 EQ IC，可以在很大程度上补偿 110' 8K 120Hz 面板高速信号路径上的信号衰减。但是由于 110' 8K 120Hz 面板最远端的信号衰减为-20dB，大于该 EQ IC 可以补偿的最大衰减-17dB，因此该对策无法完全解决该系统中的信号衰减问题。

印刷电路板差分对走线有一定的阻值，会分去部分信号的能量，会导致到达 Source Driver 的信号幅值减小，即造成信号衰减。信号沿印刷电路板差分对走线传输时，由于趋肤效应和介质损耗等，信号在信道传递过程中出现衰减，电压幅值以指数率下降^[6]。印刷电路板差分对单位长度损耗包括由导线损耗 α_{cond} 和介质材料损耗 α_{diel} 引起的衰减两部分【建福】，如下：

$$\begin{aligned}\alpha_{dB} &= \alpha_{cond} + \alpha_{diel} \\ &= \frac{36}{WZ_0} \sqrt{f} + 2.3 \tan \delta \sqrt{\epsilon_r}\end{aligned}\quad (2)$$

其中， α_{dB} 是印刷电路板差分对单位长度的总衰减；W为印刷电路板上差分对走线的线宽，f为信号的频率分量； Z_0 为传输线的特性阻抗； $\tan \delta$ 为耗散因子； ϵ_r 为介电常数实部。由上式可知，印刷电路板差分对单位长度的衰减和印刷电路板的线宽和印刷电路板材质的耗散因子，介电常数关系有关。

因此，为了降低 110' 8K 120Hz 面板高速信号在印刷电路板差分对走线上的衰减，实际工程中增大了印刷电路板上高速信号线上的线宽线距，线宽线距由最初设计的 4.5/5mil 增大到 6/7mil。同时，为了避免差分对之间的干扰，实际工程中增大了不同对差分对之间的间距。

印刷电路板不同的材质类型，其介电常数和耗散因子有很大的差异，常规的 FR4 材质制成的印刷电路板，其介电常数和耗散因子较大，分别为 3.8~4.6 和 0.012~0.018。而 Low DK/DF FR4 和特氟龙类材质制成的印刷电路板，其拥有更小的介电常数和耗散因子，详见下表 1:

表 1 不同材质下介电常数和耗散因子

材料类型	DK (1GHz)	DF (1GHz)
Normal FR4	3.8~4.6	0.012~0.018
Low DK/DF FR4	3.1~3.2	0.009~0.015
特氟龙类	2.0~2.2	0.0005~0.0009

实际工程中选用了 Low DK/DF 材质作为印刷电路板的基材，由上表可知，介电常数可由 Normal FR4 材质的 3.8~4.6 降到 Low DK/DF 材质的 3.1~3.2，耗散因子可由 Normal FR4 材质的 0.012~0.018 降低到 Low DK/DF 材质的 0.009~0.015。通过模拟仿真，该对策可以使得高速信号在印刷电路板上的衰减减少 2dB。

FFC/FPC 作为 110' 8K 120Hz 面板上印刷电路板之间互联的电缆，也会对高速信号造成信号衰减，工程中实际测得 FPC/FFC 造成的信号衰减为-3.7dB。通过对该信号系统进行仿真，该 FPC/FFC 的信号衰减需要降低至-1.7dB，接收端 Source Driver 才能够正常地解析 TCON 发送的信号。因此，实际工程中，FPC/FFC 上的差分对线宽线距也进行了加大，并且也采用了低耗散因子材质。

通过实际测试，优化后的 110' 8K 120Hz 高速信号传输系统，远端 Source Driver 可以正常解析 TCON 发送的信号，优化前后的高速信号眼图对比如下图：

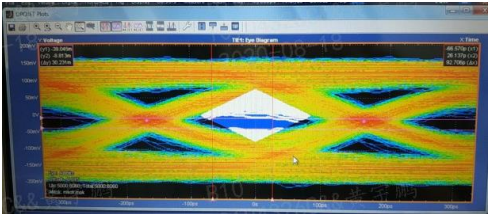


图 3a 110' 8K 120Hz 系统优化前眼图

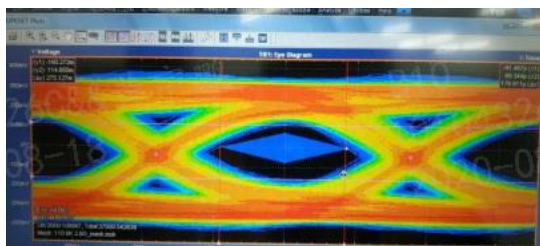


图 3b 110' 8K 120Hz 系统优化后眼图

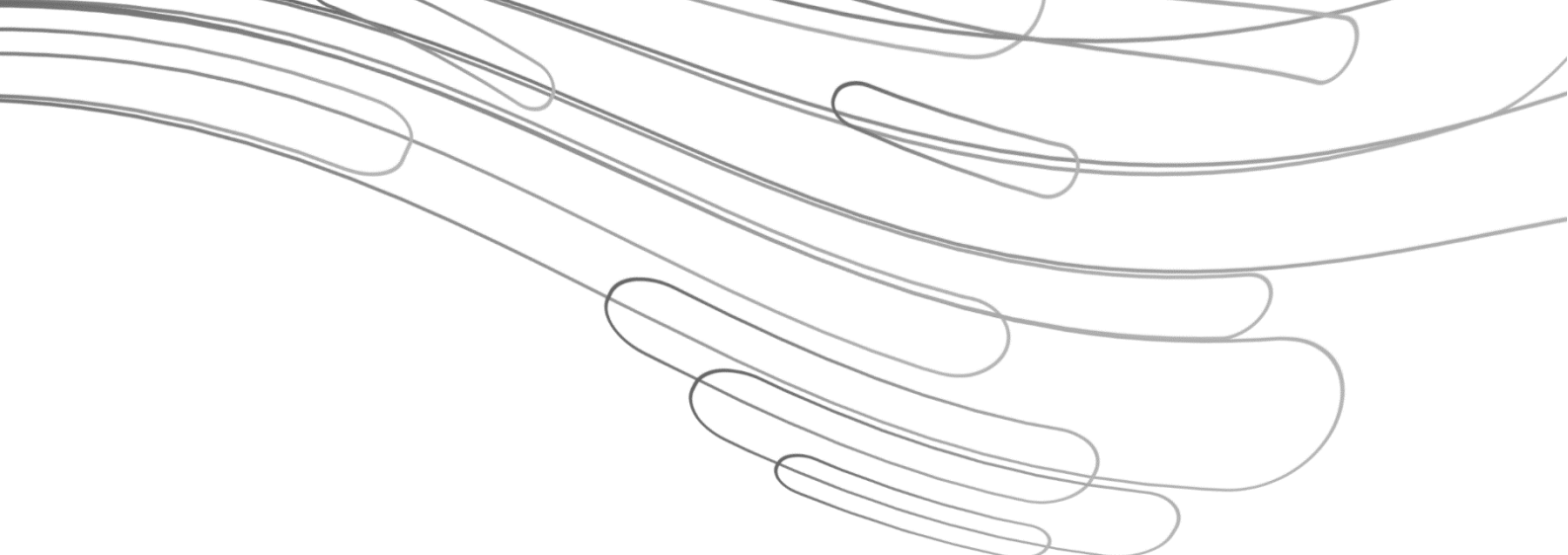
上图中，蓝色菱形区域为接收端 Source Driver 可接收信号的规格范围。从上图可以明显看出，优化前的系统，到达远端 Source Driver 的高速信号幅值不在 Source Driver 的规格内，因此，面板会出现显示异常的情况。优化后的系统，增加 EQ IC，优化印刷电路板和 FFC/FPC 差分对走线的线宽线距和材质可以有效降低高速信号在路径上的衰减，使得到达远端 Source Driver 的高速信号幅值满足 Source Driver 的规格，面板显示正常。

4 结论

对于速率为 2.8Gbps 的 110' 8K 120Hz 面板的高速信号传输系统，由于信号速率高，传输距离远的特点，常规的信号传输系统在实际工程中有 -20dB 的信号衰减，无法满足接收端的需求。本文应用的高速信号传输系统的优化方案，通过增加 EQ IC 来增强信号，可以补偿路径上带来的 -17dB 的衰减。并通过优化印刷电路板及 FFC/FPC 的线宽线距和材质，可以有效降低高速信号在路径上的衰减，约为 4dB。因此，本文提出的应用于 110' 8K 120Hz 面板的高速信号传输系统的优化方案可以有效地降低高速信号的衰减。

参考文献:

- [1] 濮建福, 赖晓敏, 田文波, 等. 高速串行传输系统信号幅值衰减研究[J]. 上海航天, 2016, 33(002):82-86.
- [2] 赵曙光, 卢鑫, 曹亮. 一种高速保密卫星信息传输系统[J]. 上海航天, 2004, 21(6):33-35.
- [3] 曹跃胜, 胡军, 刘烨铭. 高速 SERDES 的多板传输技术与 SI 仿真[J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(8):139-143.
- [4] 张格子, 金丽花. 高速差分过孔的仿真分析[J]. 信息技术, 2007, 000(005):99-101.
- [5] 高晓宇, 杨龙剑. 高速串行通道的信号完整性问题分析[J]. 通信技术, 2013, 000(006):44-47.
- [6] Eric Bogatin. Signal Integrity - Simplified, Second Edition[J]



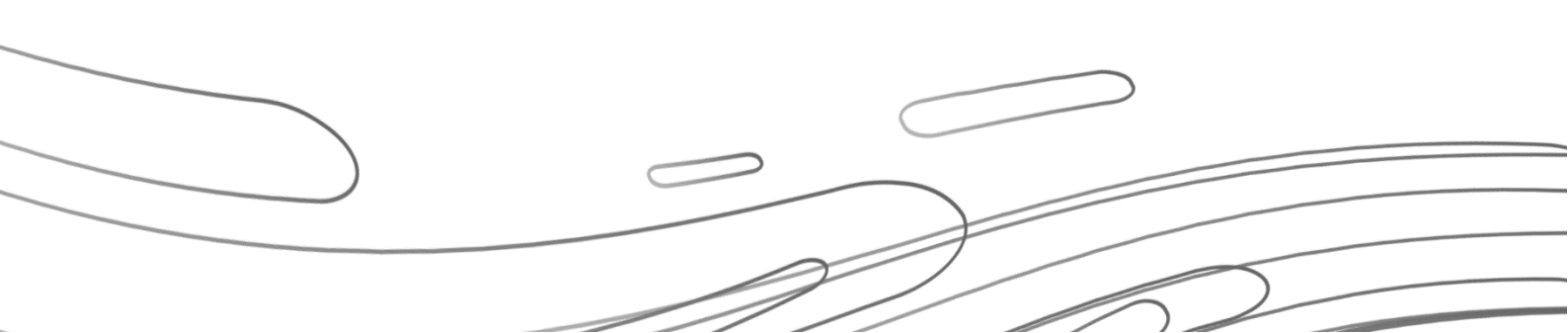
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第十二章

显示制造与设备/装备



PXII-1

针对全贴合制程良率改善的研究

古春笑、杨硕

(维信诺科技股份有限公司, 昆山, 215300, gucx02@visionox.com)

摘要: 柔性 OLED 屏 3D 全贴合过程中, 容易出现气泡、裂纹等不良。硅胶 PAD 设计是解决该问题的关键点。通过加入膜层的仿真模拟, 总结了不同曲率产品硅胶 PAD 的设计原则。结果表明, 硅胶 PAD 的形貌、硬度、表面摩擦系数等因素对贴合效果有很大的影响, 特别的, 硅胶 PAD 的 R 角与盖板弯曲部分的渐变间隙设计能有效提升良率。另外, 通过仿真设计, 结合屏体应力应变值选出较优 PAD 形貌, 然后实际验证再优化, 通过理论结合实际的方法产出符合量产要求的设计。

关键字: 贴合, 硅胶, 设计, 屏体, 仿真

Study on yield improvement of full lamination

GU Chunxiao, YANG Shuo

(Visionox Technology Inc. Kunshan. 215300, CHN, gucx02@visionox.com)

Abstract: Bubbles and cracks are easy to appear during the 3D lamination of the flexible OLED screen. The silicone PAD design is main solution to this problem. In this paper, the design principles of silicone PAD with different 3D glass are summarized through the film simulation. The results show that the shape, hardness, friction coefficient and other factors of the PAD have a great influence on the lamination. In particular, the design rules of the R of the PAD can effectively improve the lamination effect. In addition, through simulation and design choose the optimal shape combine with the stress and strain value of the panel. By combining theory with practice, output the design which can adapt the mass production.

Keywords: Lamination, Silicone PAD, Design, Panel, Simulation.

1.引言

柔性 OLED 屏在 3D 贴合后, 容易出现气泡、裂纹、黑斑等不良现象。由于柔性 OLED 屏幕模组分为若干层, 包括 OCA 胶层、POL 层、TP 层、PANEL 层、BF 层、CUSHION 层等, 其中 PANEL 层更是在制造阶段沉积了数层甚至十数层膜层。各层通过 OCA/PSA 胶层粘在一起, 形成类似复合材料层压板的结构。层压板在承受弯曲时, 通常会在中性面上方产生受拉区域, 下方产生受压区域。贴合时模组弯折, 也会产生受压/受拉区域, 而 TFE 封装层往往是最脆弱的部分, TFE 发生破坏产生裂纹, 将导致水汽进入, 有机材料被氧化后产生黑斑等不良。

贴合硅胶 PAD 的设计是模组贴合的关键治具, 盖板形状从小角度 3D、直角到倒扣型 120° - 135° , 贴合 PAD 的设计成为贴合段的难度关键点。本文结合有限元分析软件设计贴合用硅胶 PAD, 使用复合材料仿真技术, 优化仿真柔性 OLED 屏幕在 3D 贴合时各膜层的受力情况, 能高效地设计合适的贴合用硅胶 PAD, 能有效改善 3D 贴合良率。

2.PAD 设计方法

2.1 PAD 设计条件

硅胶 PAD 属于超弹性材料, 在设计仿真时需要明确硅胶 PAD 的材料参数, 超弹性材料需要测试其单轴拉伸、单轴压缩、等双轴拉伸、平面剪切、体积压缩试验数据。通过仿真真

件进行参数拟合，经过比较，最终选用 OGDEN3 阶模型，拟合结果见图 1。

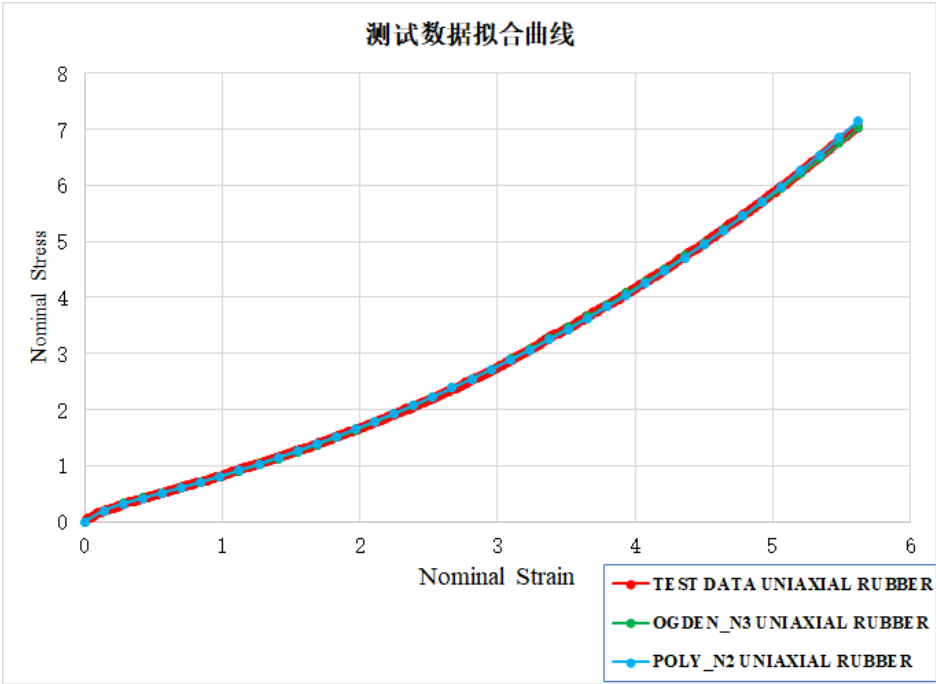


图 1 超弹性拟合结果

全贴合段包含膜层有 OCA、POL、TP、OLED、TFE、BF 等，在设计时需要考虑各膜层在贴合过程中受到的应力应变情况，所以需要明确这些材料的模量及泊松比，但是 OCA 属于粘弹性材料，需要通过试验测试获得。

2.2 PAD 设计方法

在设计硅胶 PAD 时，需要考虑硅胶 PAD 硬度、表面摩擦系数及基本尺寸，最重要的是与盖板对应的 R 角部分的设计，当然与 PAD 相配合的 JIG 治具也对 PAD 变形有着很大的影响。

最常用的推荐贴合硅胶硬度在洛氏 30 度-40 度。但硬度仅是一个宏观表征，各家硅胶配方不同，材料的参数不同，因此相同硬度的不同厂家 PAD 会有不同表现，需要根据实际验证来确定。PAD 表面有无涂层会影响引导膜或者屏体与 PAD 之间的摩擦力，推荐使用摩擦系数在 0.3-0.7 之间，可减小屏体受到的切向拉力及法向剪切力。

PAD 基本外形尺寸设计：PAD 的宽度要根据贴合时硅胶的压缩量推算，橡胶的泊松比约为 0.5，可以粗略推算出宽度 W。PAD 的厚度 H 越大，越有利于接触应力的分散化和均匀化，因此降低了对设备平坦度和平行度的要求。但厚度越大，PAD 内应力和内部形变量就越大，使用寿命就越低。R1 一般推荐为 $1000 \pm 20\text{mm}$ 。R1 主要是为了正面贴合时，能更好的顺序接触，避免正面气泡发生。PAD 中的 R2 角对应于盖板弯曲部分，R2 角理论上要小于盖板的弯曲角度，以防贴合中屏体提前接触。R2 角的起始线位置要比盖板圆弧起始线位置更靠近盖板中心线。如果盖板是渐变 R，PAD 也可对应多段圆角相切来设计。以下表格为总结的硅胶 PAD 设计原则，符号图示见图 2。

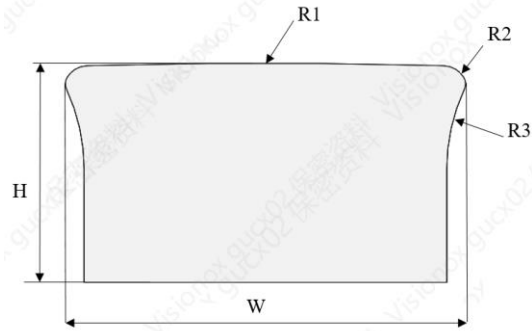


图 2 PAD 基本尺寸标示图

表 1 PAD 设计原则汇总表

影响因子	产品条件	PAD 设计参数				
		R1、R2、R3 大小	PAD 厚度/宽度	硬度范围	表面涂层（摩擦系数）	JIG 结构
一、盖板形貌	3D 弯曲角度 $<90^{\circ}$	R1 为大圆角，R2 进行 DOE 或者变径设计	$W < \text{盖板内宽} - 2 \times \text{总膜厚}$, $H=10 \sim 30\text{mm}$	15-40	摩擦系数：0.2-0.7	短边加挡块，四角垫高
	3D 弯曲角度 $=90^{\circ}$	着重考虑 R2 和 R3 的设计	$W < \text{盖板内宽} - 2 \times \text{总膜厚}$, $H=10 \sim 30\text{mm}$	35-40	摩擦系数：0.2-0.3	PAD 定位固定
	3D 弯曲角度 $>90^{\circ}$	X 值要根据产品进行设计	$W = \text{盖板未弯曲部分宽度}$, U 型 PAD 厚度 $1 \sim 2\text{mm}$	30-35	摩擦系数：0.2-0.3	JIG 为对称移动结构
二、膜层形态	①屏体异型	PAD 对应区域开孔避让卸力				对应部位开孔卸力
	②FPC 端位置	PAD 挖槽避让或非对称设计				IC 端不加挡块
	③膜层的结构设置	根据易破坏层的受力调整 R1、R2、R3 的大小	W 需考虑膜层厚度，PAD 需与其留间隙	/	摩擦系数：0.2-0.7	JIG 与 PAD 连接处是否有间隙进行调整
三、引导膜	①不需要引导膜	不涉及 R3，为直边	W 不需考虑引导膜厚度， $H=20 \sim 30\text{mm}$	/	无涂层，摩擦系数：0.6-1 有涂层效果更佳	
	②需要引导膜	考虑 R3 设计，避让引导膜夹爪	W 需考虑引导膜厚度， $H=10 \sim 15\text{mm}$	/	有涂层，摩擦系数：0.2-0.3	JIG 不能与引导膜夹爪干涉
四、PAD 变形	①大变形	R1 较仿形小，R2 与盖板弯曲角度关系小	W 比盖板宽度小 $1/5$, $H \approx 30\text{mm}$	15-20	可有可无，有涂层效果更佳	/
	②仿形	R1 较大，R2 接近于盖板弯曲角	W 与盖板宽度小 0.6-1mm, $H \approx 10\text{mm}$	30-40	有涂层，摩擦系数：0.2-0.7	JIG 将 PAD 四边固定限位

2.3 仿真结果

仿真之前先简化模型，去除不影响结果的尖角、倒角、圆角等，模型采用 1/2、1/4、二维简化。将变形较小或不关心的部位设置为刚体，或简化成解析刚性面等。3D 贴合过程需

要使用引导膜，一般承受弯曲的部件，推荐使用网格类型为 C3D8I。使用对称模型时，需要设置对称面，并通过施加各种约束，以增强仿真的稳定性。

针对某款产品，进行全膜层的贴合过程仿真，其仿真后 CVD2 层的最大应力应变如图所示。

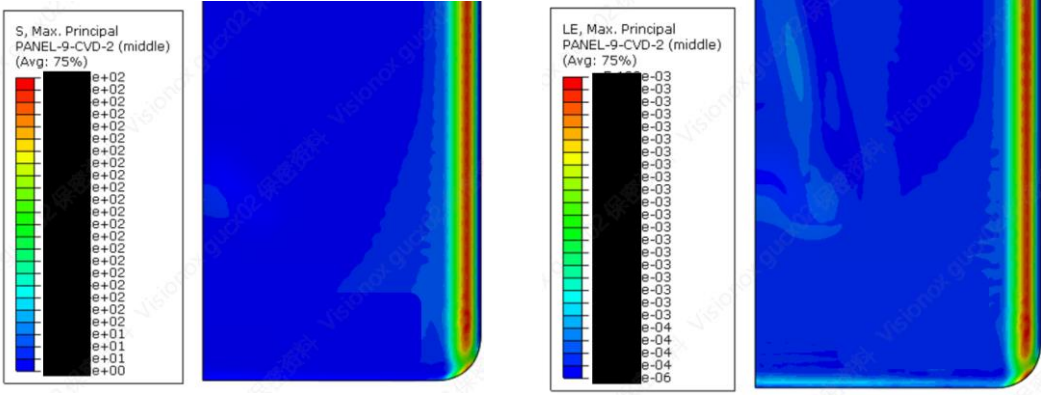


图 3(a) 最大主应力云图

图 3(b) 最大主应变云图

需要注意的是，贴合结束时的应力分布云图，可能并非是所关注的点产生应力/应变最大的时刻。除应力云图外，还可追踪关注点的应力/应变的变化过程，即时域图，见图 4。

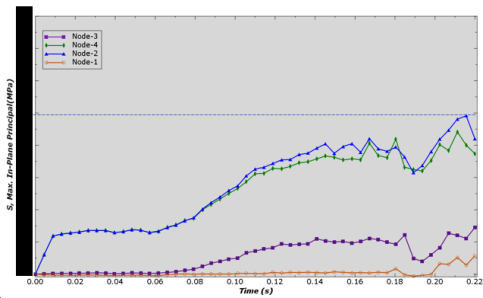


图 4(a) 最大主应力时域图

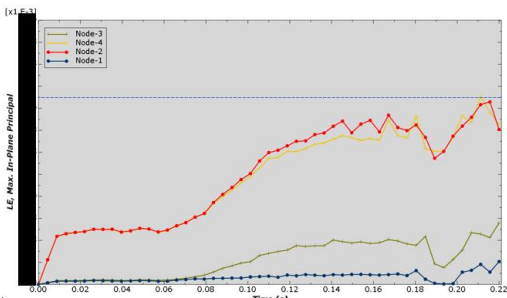


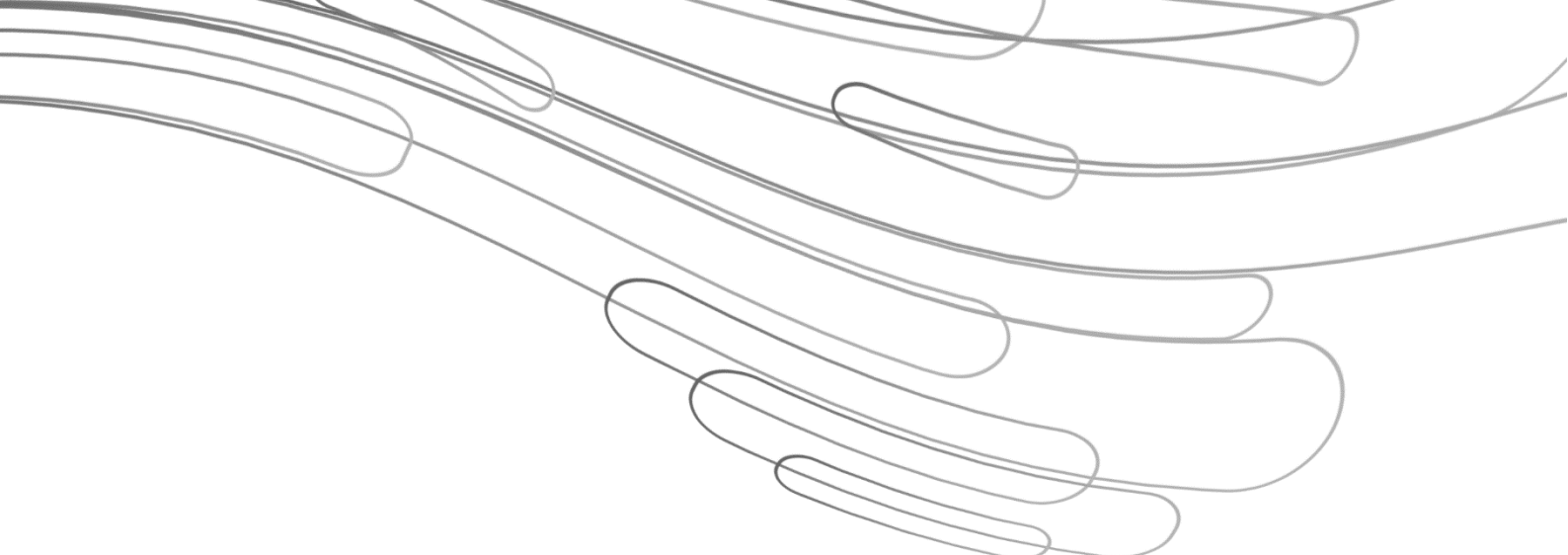
图 4(b) 最大主应变时域图

3. 结论

结合仿真的硅胶 PAD 设计通过实际贴合验证结论，可以得到以下结论：

- (1) CVD2 层是容易产生裂纹的部位，所以贴合仿真中研究该层的应力应变对 PAD 设计有着重要的指导意义。
- (2) 不同膜层结构和厚度对中性层都有着影响，结合仿真可以评估膜层结构的合理性
- (3) PAD 长度 L 小于屏体长度时，短边开口气泡的概率随着 L 的减小而增大。当 L 大于屏体长度+3 时，FPC 端被压坏导致黑斑异显的概率随着 L 的增大而增大。
- (4) PAD 的厚薄与设备的机台能力有着重要关系，在设计前需考察设备的 PAD 的容纳位移范围。
- (5) PAD 的 R 角与盖板的间隙设置应遵循逐渐变大的原则，这样可以保证贴合的动作由内向外的顺序。

综上 PAD 的设计经验，实际贴合的良率有较大的提升。可见，结合仿真模拟对 PAD 的设计有着方向性的指导，仿真设计的优点是可以在短时间内做多组不同形貌的设计方案，结合某膜层的应力应变值及膜层与盖板的间隙可以准确的筛选 PAD 的最优方案。



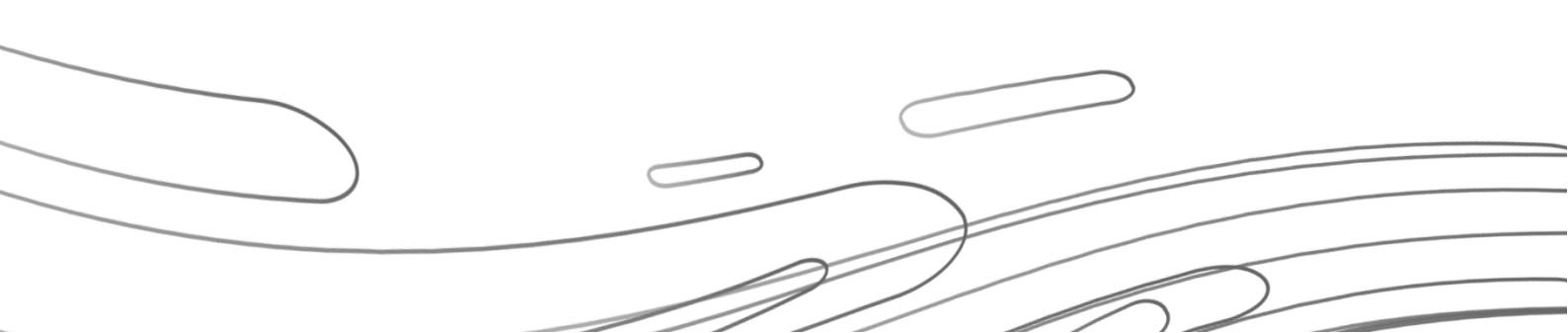
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第十三章

显示测量与标准



PXIII-1

基于屏下识别和摄像应用的显示屏透射特性测量方法

唐宪, 李倩, 黄艳, 潘建根

(杭州远方光电信息股份有限公司, 浙江省杭州市, 310053, tech@everfine.cn)

摘要: 全面屏是智能终端显示发展的趋势, 虽然当前趋近全面屏的方案非常多样化, 如刘海屏、水滴屏、升降摄像头和滑盖屏等, 但屏下识别和屏下摄像是手机全面屏进展中绕不开的关键技术。基于屏下识别和摄像的应用, 对于相关玻璃盖板以及显示模组进行透射和反射特性的测量和评估必不可少。众所周知, 光线作用在介质中会发生反射、透射和吸收, 这些过程与介质的特性有关, 也与光线入射和测量的几何条件有关, 还与光线的光谱成分有关, 如何基于具体应用, 采用合适的测量方法十分重要。本文重点讨论了屏下识别和屏下摄像应用中所需要考察的透射反射参数, 介绍了相应的测量方法, 并通过实测数据分析实际应用的效果。

关键字: 屏下识别, 屏下摄像, 透射率, 雾度, 空间分布

Measurement Method of Transmission Characteristics of OLED

Display Based on Off Screen Identification and Camera

TANG Xian, LI Qian, HUANG Yan, PAN Jiagen

(EVERFINE Corporation, Hangzhou, 310053, CHN, tech@everfine.cn)

Abstract: Although the current approach to full screen is very diverse, such as notch screen, water drop screen, lifting camera and sliding screen, etc., off screen identification and camera are key technologies for the full screen. Based on the application of off screen technologies, it is essential to measure and evaluate the transmission characteristics of the relevant glass cover and display module. It is well known that reflection, transmission and absorption of light will occur in the medium, which is related to the characteristics of the medium, the geometric conditions of the light incidence and measurement, and the spectral power distribution of the light. Therefore, it is very important to adopt appropriate optical measurement methods based on specific applications. This article focuses on the transmission parameters that need to be investigated in off screen identification and camera applications, introduces the corresponding measurement methods, and analyzes the actual application effects through the measured data.

Keywords: Off screen identification, Off screen camera, Transmittance, Haze, Spatial distribution

1. 屏下识别和屏下摄像

为了追求更高的屏占比, 智能终端显示产品中应用了多项屏下技术, 旨在将原先前置的听筒、感应器、摄像头等一系列器件隐藏起来, 而目前最迫切需要解决的两个技术难题问题, 一个是前置生物识别功能的屏下隐藏, 一个是前置摄像头的屏下隐藏。

屏下生物识别主要包括屏下指纹解锁和屏下面部识别技术, 其中屏下指纹技术的发展较早, 相应的技术路线也比较多, 其中一种较为主流的解决方案是采用屏下红外成像技术, 具体来说, 就是通过红外发射器、红外指纹接收器及红外光学材料系统, 大幅提高红外透过率

以及指纹成像的灵敏度，最终达到高水准的识别效果，如图 1(a)所示，该技术不仅可用于 OLED 显示，也能够用于 LCD 显示中。在保证显示效果的基础上，为实现较好的红外透过率与指纹识别效果，需要对 LCD 屏的各光学膜层和玻璃等进行优化，甚至更改膜层结构，以提高红外线穿透率；为了提高指纹识别性能，原本位于屏下特定位置的传感器还有红外信号发射器也需要做专门的修改。对应的红外透射特性测量比不可少。而目前屏下面部识别技术还处于研发阶段，面部识别的基本原理如图 1(b)所示，现阶段的人脸识别技术仍然是保留了屏幕的“刘海”，但是红外补光灯和红外镜头则往往隐藏在最外层盖板玻璃之下，在摄像头模组本身较小、感光能力较弱的情况下，盖板玻璃的红外光透光率就需要特别关注；除此之外，相关器件的红外透过率也值得研究，比如在红外摄像模组中，红外窄带滤光片的透过波长会随着入射角度的变化而发生变化。

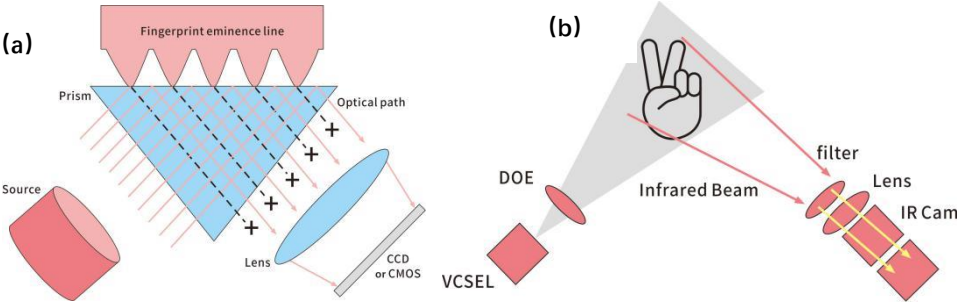


图 1 (a) 屏下指纹识别原理 (b) 面部识别原理

Fig.1. (a) Principle of off screen fingerprint identification (b) Principle of off screen 3D identification

屏下摄像的技术相对更加困难，目前核心技术方案是 OLED 材料的屏幕可以透光的性能，加上采用透明的 ITO 导电层实现“透明显示”的效果，如图 2 所示。但要在发光的显示屏下实现高质量的图像拍摄，对于显示屏的透过率提出了相当高的要求。不仅要求显示屏整体要具有比较高的总透过率，而且对于各个方向的入射光应尽量做到各向同性的透过率，并且在可见光范围内保持中性光谱透过率，更重要的是为保证测量清晰度，还应考察显示屏的散射情况，可以用下文介绍的清晰度和雾度来表征。

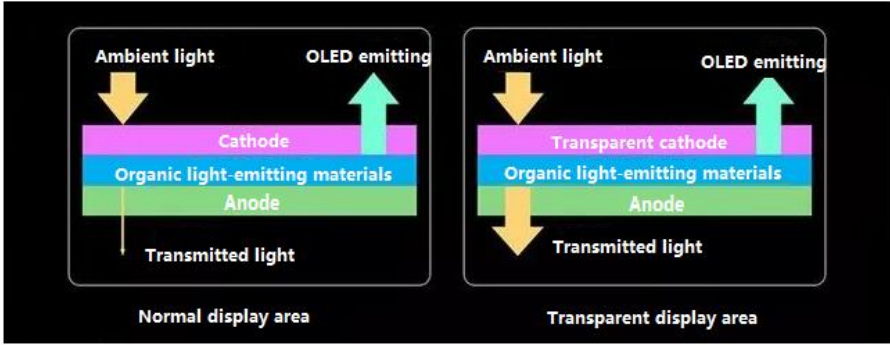


图 2 屏下摄像的实现原理

Fig.2. Principle of under-screen camera

2. 光与物质的作用

光到达物体表面时，会产生一种或者几种与材料光学特性有关的现象，包括反射、透射、吸收，如图 3 所示，这些现象决定了这个物体的整体外观。将反射辐射通量、透射辐射通量以及吸收辐射通量与入射辐射通量的比值分别定义为反射比 ρ 、透射比 τ 和吸收比 α 。根据反射方向的不同则可以分为镜面反射和漫反射，各种反射分量占比则由物质表面属性决定，一

般来讲光滑的镜面样品镜面反射分量占比较大而粗糙的表面漫反射分量占比较大。除反射的光线之外，还有一部分的光线会被材料吸收，没有被反射以及吸收的光线则会透过物质射出，这部分为透射光。同样的，根据透射方向的不同则可以分为规则透射以及漫透射，其占比也是由物质本身的属性决定的。一般来说，根据能量守恒定律，物质的反射比、透过比以及吸收比之和为 1。

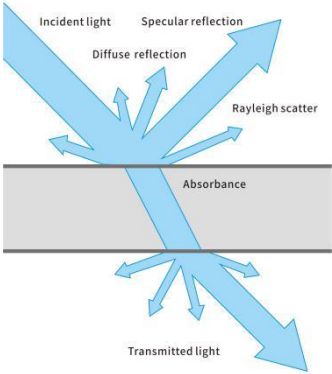


图 3 光线与物质的相互作用

Fig.3. The interaction of light and matter

光与物质的作用除了上述的几何影响外，还有光谱或者颜色方面的影响。可以使用光谱反射比 $\rho(\lambda)$ 、光谱吸收比 $\alpha(\lambda)$ 和光谱透射比 $\tau(\lambda)$ 来表征光对物质的光谱作用。物体所表现出来的颜色不仅与物质的光谱反射比或光谱透射比相关，也与照射光源有关系。如图 4 所示为典型红色滤光片的光谱透射比曲线，因能使长波段的光辐射透过，因此大多数情况下表现出红色。而对于屏下摄像来说，摄像系统的光谱响应度不仅与摄像头本身对光的光谱响应度，也取决于摄像头前显示屏的光谱透射比。

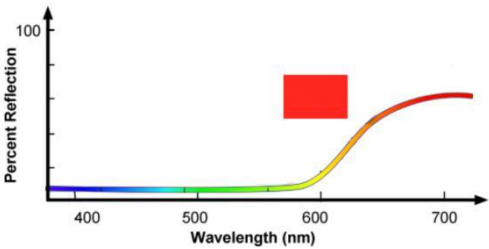


图 4 典型红色滤光片的光谱透射比曲线

Fig.4. Spectral transmittance curve of a typical red filter

3. 空间双向透射分布测量

如上所述，对物体透射特性的测量和评估也取决与测量几何，即入射光线和接收光线的方向，因此在透射特性表征时务必说明测量几何。如图 1 所示在屏下指纹和屏下摄像的应用中，无论是入射光线还是探测器的接收光线，都不全是显示屏的法线方向。评价显示屏的各种膜材料以及整个显示屏的透射特性，最全面的参数是空间双向透射分布函数 BTDF (Bi-directional Transmission Distribution Function)。这里的双向指的是入射光方向和透射光方向，入射光 ω_i 和透射光 ω_t 都使用天顶角 θ 和方位角 ϕ 表示，如图 5 所示，通过平行入射光在空间的扫描以及亮度计在空间各个方向的扫描接收，可得到空间透射分布特性函数 $\tau(\theta_i, \phi_i, \theta_t, \phi_t)$ 。

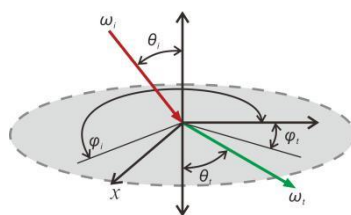


图 5 BTDF 测量基本原理

Fig.5. Basic principle of BTDF measurement

理论上，通过该空间透射分布特性函数可以推导计算出任意测量几何，如垂直入射/垂直接收（0/0），垂直入射/半球内总透过（0/d）等多种透射比参数。以屏下摄像为例，为保证高清晰的成像质量，覆盖在摄像头外侧的显示材料的透射性能，应对各个方向入射的光线都具有较高的规则透过比。不仅如此，为保证清晰成像，外侧显示材料不应产生太多散射光，以保持摄像头系统具有较高的调制传递函数（MTF）。用于表征物体透射散射特性的参数可以用雾度或者清晰度，雾度的计算如式（2）所示，一般情况下，只考虑正入射时的雾度情况，然而考虑到屏下摄像头外侧的显示单元会存在各向异性的情况，在各种入射角度下评估雾度和清晰度是有必要的，这些参数也可以从上述的双向透射分布函数中计算得到。

典型的空间双向透射分布测试系统如图 6 所示，具有 4 轴旋转机构，并采用激光光源以提高测试的空间分辨率，光源波长覆盖可见至近红外，同时通过增加监测光路来消除光源本身不稳定对结果造成的误差，且光路的光斑大小可调来兼顾完全照明模式和非完全照明模式。

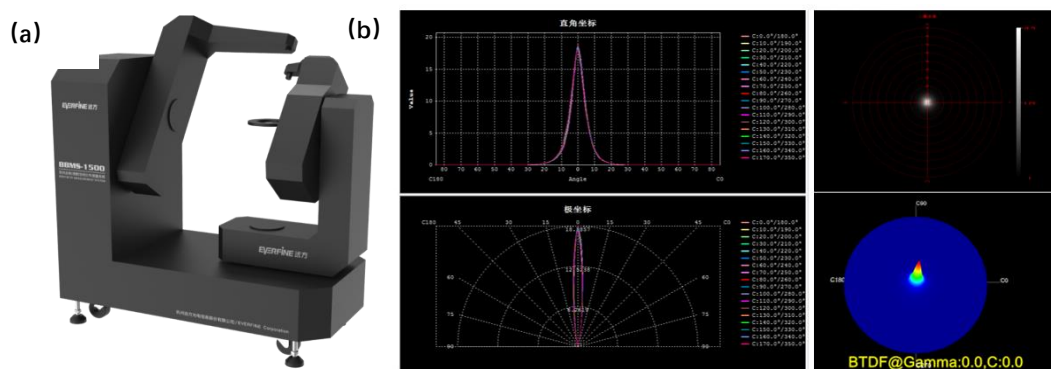


图 6 （a）远方 BBMS-2000 （b）某一 OLED 材料空间透射分布测试结果

Fig.6. (a) Everfine BBMS-2000 system (b) Result of spatial transmission distribution of a certain OLED material

4. 光谱透射比测量

光谱透射比主要考量膜材的光谱吸收，膜材的光谱吸收影响其对成像或感应系统的光谱响应度。例如红外摄像头配置 IR 带通滤色片，其峰值波长透过率以及带宽对于摄像头的拍摄灵敏度以及杂散光具有显著影响。而屏幕的盖板玻璃则是光谱中性，透过率越高越好。

在不考虑材料各向异性的情况下，一般用如图 7 所示的 0/d 或 0/0 测量几何来考察材料的光谱透射比，不同透明度的材料推荐不同的几何条件测量，半透明材料的透射比推荐 0/d 测量几何；透明材料的透射比推荐 0/0 测量几何，与材料的实际应用几何比较接近。光谱测量范围与膜材有关，对于屏下识别来说，一般可见-近红外波段可覆盖其应用。

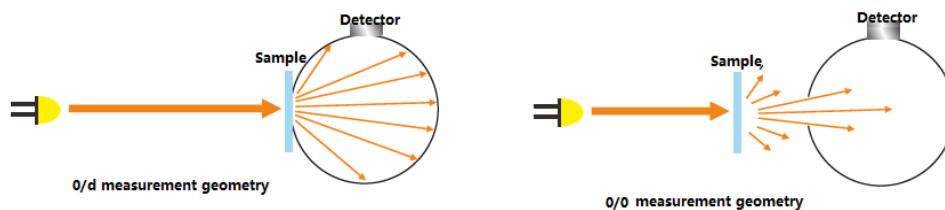


图 7 透射比测试几何

Fig.7. Transmittance test geometry

通过光谱透过比可计算出总的透射比，公式如下：

$$\tau = \frac{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} S(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot V(\lambda)}{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} S(\lambda) \cdot V(\lambda)} \quad (1)$$

其中， τ 为材料的透射比， $S(\lambda)$ 为光源的光谱功率分布， $\tau(\lambda)$ 为材料的光谱透射比，

$V(\lambda)$ 为人眼的视觉响应函数。由此可见，一旦测量得到材料的光谱透射比，可以计算任意光源下的材料的透射比。

材料的光谱透射比需要采用分光光谱法进行测量，其中最重要的测试仪器就是光谱仪。影响光谱测量误差的因素主要是光谱仪的波长准确度、带宽、稳定度、线性、灵敏度、杂散光等等。另外，测试几何也会影响最终测试结果，全屏用材料一般尺寸大，可以用较大的孔径测量，但摄像头上方的孔径材料尺寸极小，此时，测量需要极小的光斑，对于 0/0 或者 0/d 几何的设计、对准以及光谱仪的灵敏度，都具有更高的要求。

基于以上的分析，本文推荐远方 TR-2000 材料透射测量系统（如图 8 所示），采用光谱测试的方法，通过测试可见-近红外光谱透射比来计算各种光源条件下的透光率，可定制极小孔径，非常适合于手机识别、屏下摄像区域的测试，测试符合 CIE, ASTM D1003, GB/T 2410 等国际标准的要求，也更符合显示屏材料广泛的实际应用需求。

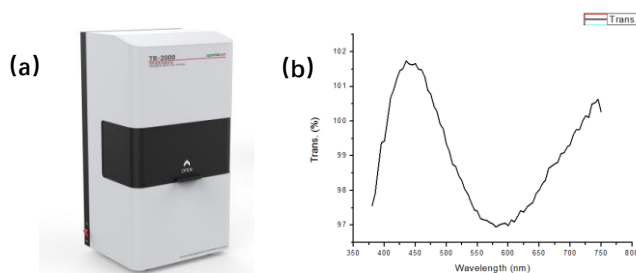


图 8 (a) 远方 TR-2000 (b) 某一膜材光谱透射比测试结果

Fig.8. (a) Everfine TR-2000 instrument (b) Spectral transmittance test result of a certain film material

5. 雾度测量

对于透明或半透明材料，其内部或表面由于光漫射会造成的云雾状或混浊外观，即雾度。直观地说，雾度降低了透视图像的对比度，对于成像应用，这点直接关系成像质量。国内外对于材料的雾度测试的标准很多，包括 GB、ISO、DIN、ASTM 等，显示材料的雾度测试则一般参考 GB/T 25273-2010 《液晶显示器用薄膜 雾度测定方法 积分球法》（参考 ISO 标准），

该标准主要适用于显示器用 TAC 膜、PVA 膜、PET 膜等透明或者半透明材料的雾度的测试。同样的，系统测试透光率和雾度需要与人眼响应一致。OLED 显示器材料的雾度测试目前没有特定的标准，其测试几何以及计算方法可以参考上述标准。

雾度是材料的几何特性，对于测量来说，系统的几何精度、探测器与人眼的光谱响应匹配度、仪器杂散光等对测试数据影响较大，尤其是小雾度样品。标准测试几何如图 9 所示。光源经准直后成平行光垂直照射至被测试样，经被测试样的透射后出射光线会分成方向不变的平行光线以及方向改变的散射光线，通过接收积分球几何的变化分别测试总透光率以及散射光透光率。

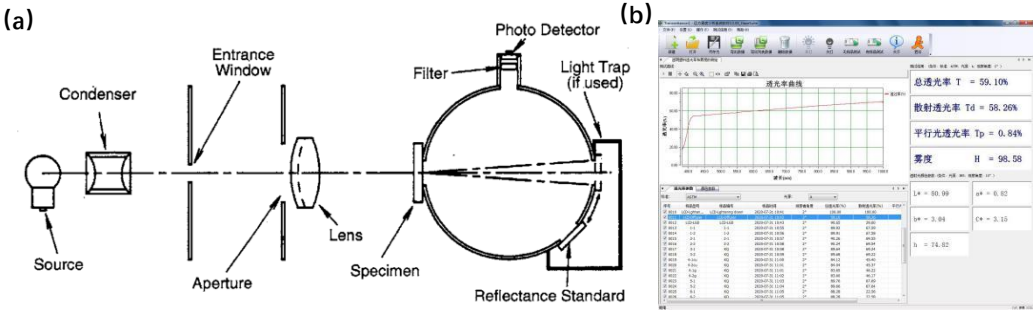


图 9 (a) 雾度测试几何 (b) 典型扩散板的雾度测试数据

Fig.9. (a) Haze test geometry (b) Haze test result of typical diffuser

雾度计算公式如下：

$$\text{Haze} = \frac{T_d}{T_t} \times 100\% \quad (2)$$

其中，Td 为散射透光率，Tt 为总透光率。

为了保证测试结果不受探测器与人眼的光谱响应匹配度误差的影响，测试应该采用光谱法，即通过测试总光谱透光率以及散射光谱透光率来准确计算在任意光源下的雾度，这个雾度计算结果误差小于采用滤色片式探测器测试的结果。另外，由于要分别测试平行光透光量以及散射光（通常散射光定义为偏离入射光方向 2.5° 的光）透光量，且光源需要垂直入射到样品表面，这对光路中角度对准要求极高，一旦光源照射角度偏差 0.1°，可能会造成最终雾度测试结果 5% 以上的误差，因此整个光路设计以及调节需要保证精密性和较高的稳定性。

本文推荐远方 HAM-300 高精度（光谱）雾度计，采用光谱测试的方法，计算 Td 和 Tt，与人眼响应无失匹配误差，尤其适用于多标准要求的测试，例如 ASTM 要求 A 或者 C 光源下的透光率和雾度，ISO 标准则需求 D65 光源下的雾度和透光率。几何设计严格符合 ASTM D1003、ISO 14728、GB/T 25273 等国内外最新标准要求。测试具有高精度、高稳定度、高重复性等特点，性能符合 JJF 1303-2011 雾度计校准规范的计量性能要求，还可以定制小孔径，非常适合于智能识别、屏下摄像区域的测试。

6. 小结

本文从屏下识别和摄像的应用出发，认为相关玻璃盖板以及显示膜材进行透射特性的测试必不可少，包括其透射空间分布、光谱透射比以及雾度等性能，不同的应用需要采用对应的测试方法，这些测试方法与被测对象的特性有关，也与光线入射和测量的几何条件有关，还与光线的光谱成分有关，如何基于具体应用，采用合适的测量方法十分重要。本文重点讨论了屏下识别和屏下摄像应用中所需要考察的透射反射参数，介绍了相应的测量方法，并通过实测数据分析实际应用的效果。

参考文献:

- [1] ASTM E 2387-05 Standard Practice for Goniometric Optical Scatter Measurements.
- [2] GB/T 25273-2010 《液晶显示器用薄膜 雾度测定方法 积分球法》.
- [3] ISO 14782 Plastics - determination of haze for transparent materials.

PXIII-2

屏下摄像 OLED 测试方法研究

刘艳玲 许立雄 党鹏乐 唐欣 马悦兴

(维信诺科技股份有限公司, 北京, 100086, liuyanling@visionox.com)

摘要: 目前, 高屏占比的全面屏成为各大终端厂商角逐技术的重要方面。为实现全屏显示, 屏下摄像和 OLED 透明模组结合的技术开发成为主要方式。如何评价用于屏下摄像技术的 OLED 优劣, 国际国内暂无相关的标准及方法。基于此测试方法研究表明, 显示过程中主要是透明 OLED 副屏与显示主屏之间的一致性, 测试项目需要有亮度均匀性、色度均匀性等; 拍照摄像过程中, 透明 OLED 结构对光的波动性和直线性的影响, 测试项目需要有畸变, 透过率, 空间分辨率等。同时, 为实现全面屏, 还有屏下指纹识别和侧弯曲等, 如何科学测试全面屏技术带来性能评估是一个不断探索的过程。
关键字: OLED 显示, 屏下摄像, 空间分辨率

The study on measuring methods of OLED display with under-screen camera

LIU Yanling, XU lixiong, DANG Pengle, TANG Xin, MA Yuexing
(Visionx, Beijing, 100086, CHN, liuyanling@visionox.com)

Abstract: The full screen has become an important aspect of the competition for the major mobile terminal manufacturers. In order to realize full screen display, the main method is combining the under display camera with OLED transparent module. There is no relevant standard and method for evaluating the merits of OLED with under-screen camera. Our research shows that the transparent OLED screens should be consistent with main display screen. The test projects for display include the brightness uniformity, chromatic uniformity, etc. When the camera is turned on, the transparent OLED structure has an impact on the wave and straightness of the light, and the distortion and transmittance spatial resolution should be tested as well. Additionally, the full screen also includes the fingerprint under the screen and side bending, etc. The performance evaluation for full screen display is a process of constant exploration.

Keywords: OLED display, under-screen camera, spatial resolution

引言:

近几年来, 全面屏成为显示技术领先的重要标志, 如近期中兴官宣的全球首款摄像头手机 A20。目前常见的主要类型有, 刘海屏, 槽屏、挖孔屏、侧弯屏等类型, 但以上类型的显示具体真全面还有略有差异。为实现真全面屏, 屏下摄像技术主要的技术路线有屏下摄像和透明模组结合方式。该种方式主要有两种工作方式: 当摄像时, 透明 OLED 处于关闭状态, 外界光线透过 OLED 模组, 进入摄像头, 如图 1 所示; 当显示时, 透明 OLED 与主屏一致, 显示图像。在拍照摄像过程中, 透明 OLED 结构对光的波动性和直线性的影响; 显示过程中主要是透明 OLED 副屏与显示主屏之间的光学和光电一致性。但如何评价和测试该项技术的优劣, 目前国际国内尚未有相关的方法和标准, 因此, 开发科学合理的方法评价屏下摄像技术的优劣尤为重要。

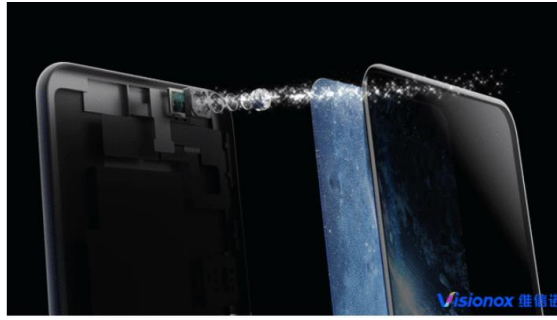


图 1 带有屏下摄像 OLED 模组的原理图
Fig. 1 OLED display with under-screen camera

拍摄图形的性能评价：

摄像时，光线透过透明 OLED 区域进入摄像头。但由于 OLED 模组结构使得图像出现如图 2 现象，图像出现了模糊，a 为未加入透明 OLED 模组前拍摄图像，b 为加上 OLED 模组后的拍摄效果。因此如何评估拍摄图像无畸形，清晰重要，通过研究对比，主要有以下方式：图像清晰度 SFR (spatial frequency resolution)，激光光斑衍射进行测试评估。SFR 测试方法推荐采用 ISO12233: 2000 中的相关方法[1]。本文中重点采用激光光斑衍射方法，研究 OLED 结构对光波动性的影响。试验条件：激光光束 630nm，光斑直径 3mm，透明屏体，测试距离为 180cm。原理如图 3。通过公式 1 对比能量差异，D 越大说明光斑的衍射性越大，该结构对于摄像效果也就越差。实验数据如表 1 所示。

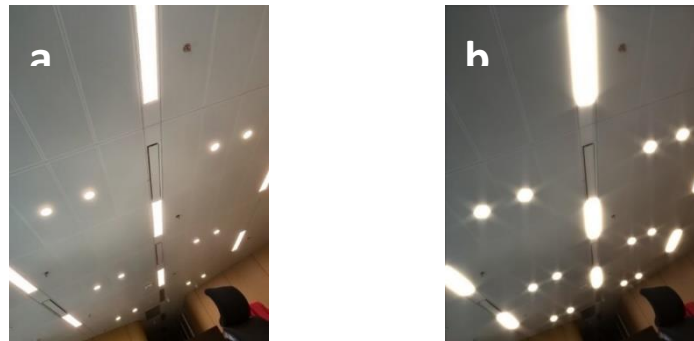


图 2 a) 未有透明显示模组的拍摄图；b) 带有透明显示模组的拍摄图
Fig.2 a) picture without transparent module; b) picture with transparent module

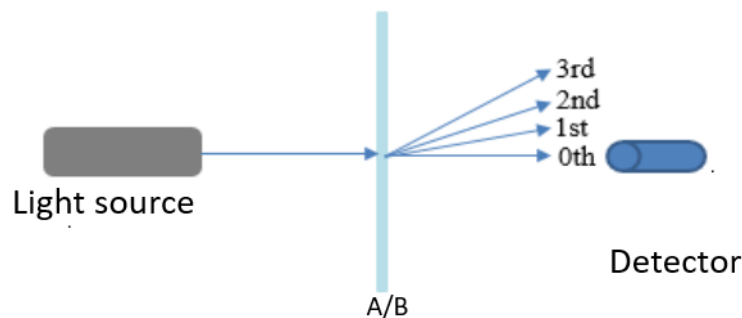


图 3 激光测试原理图
Fig. 3 Schematic diagram of laser test principle

$$D = \frac{L1 + L2}{L0}$$

表 1 激光测试中 1 级和 2 级能力占比

Table 1 The energy distribution of the first and second stages in laser testing

	1 st /0 th Energy (%)	2 nd /0 th Energy (%)	D (%)
1	0.905858	0.519456	1.4453
2	0.846473	0.516805	1.3632
3	0.73444	0.487552	1.2219
4	0.745726	0.316026	1.0617
5	0.538636	0.263223	0.8018
6	0.557792	0.343074	0.9008

对比不同的结构的透明 OLED 模组，可以看出样品 1，能量占比 D 为 1.4453，第一级和第二级能量所占比例明显高于其他 5 个样品，因此样品该项性能明显不及其他样品。样品 5 中能量占比 D 为 0.8018，优于其他样品。通过该方法，可直接通过测试数据对比出优劣。

同时，屏下摄像技术中为拍摄清晰的图像，除了衍射的情况，也需要 OLED 模组具有高的透过率。该部分测试参考 OLED 透明测试标准 IEC 62341-6-4: 2017[2]。

显示性能评价：

显示时 OLED 透明屏副屏和主屏共同显示，以实现真全面屏。因此对于这两种屏的一致性仍是性能评价的关键。虽然国际上已经有关于显示屏的相关性能评价标准及方法。同一显示界面，两屏体之间的一致性的评价方法暂无方法。对于该部分检测主要用两种方法，一种是在 OLED 透明上和与主屏连接区域取点测试亮度，亮度均匀性，色度均匀性，gamma 等光电参数，常用的取点数有 5 点，9 点和 13 点，如图 4a；另一种方式利用面测试，在屏幕中选取大于透明屏幕的区域，进行图像 pattern 拍摄，评价光学和电学参数之间的一致性，如图 4b。目前这两种方法都有使用，具体的测试方法参照相关产品规格书。

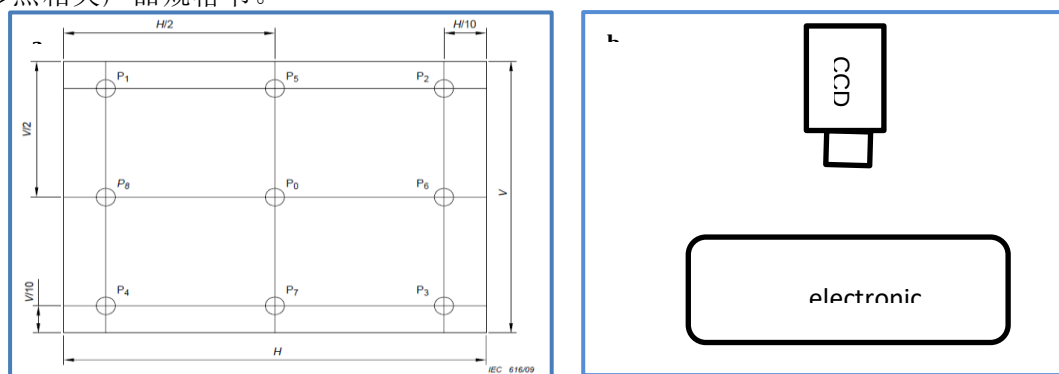


图 4 a) 9 点均匀性测试点分布；b 面测试原理图
Fig. 4 a) 9 measurement points, b Area test schematic

除了对以上摄像和显示性能的评价，为实现全面屏，屏幕指纹识别也是常用的技术。除了手机解锁功能，还可以 App 软件解锁，因此需要对指纹识别准确性和误点率等性能进行验证。侧弯曲也是目前全面屏常用的技术之一。该部分主要测试显示图像的质量，显示视角等。随着全面屏技术的发展，相关的性能评价和测试也是一个不断探索的过程。

小结：

本文主要研究了全面屏技术的中屏下摄像 OLED 性能评价方法。拍照摄像过程中主要研究透明 OLED 结构对光衍射的影响，采用激光衍射的方式并提出量化指标 D 评价 OLED 结构的性能，该方法准确快速。对于显示过程中透明 OLED 屏和主屏之间的光电性能一致性，提出均匀性的点测试和面测试两种方式。同时基于全面技术的发展，

相关的评价测试技术研究处于不探索的过程，如指纹识别中误点率，侧弯曲中的显示图像质量等。

参考文献：

[1] ISO12233:2000 Photography Electronic still picture cameras Resolution measurements.

[2] IEC 62341-6-4:2017 INTERNATIONAL STANDARD Organic light emitting diode (OLED) displays – Part 6-4: Measuring methods of transparent properties.

显示质量评价研究

马悦兴 刘艳玲 唐欣 党鹏乐

(维信诺科技股份有限公司, 河北固安, 065500, mayx@visionox.com)

摘要: 图像显示质量是评价显示器性能的重要指标, 尤其是 5G 万物互联时代, 5G 技术在终端的应用如 AR、VR、超高清电视等, 对显示屏的显示质量提出了越来越高的要求, 已经不仅局限于亮度、色域、分辨率等常规性能的评价, 还对环境光下的亮度、对比度等提出了新的要求。同时随着显示技术的发展, 迫切需要对新的显示技术的特征进行评价, 如全面屏和柔性屏等的显示质量。本文结合显示产业的发展趋势, 分析了显示质量评价在目前存在的一些问题及需求。

关键字: 显示质量, 评价方法, 国际标准

The study on the evaluation of image quality

MA Yuexing, LIU Yanling, TANG Xin, DANG Pengle

(Visionox Technology Inc., Gu'an, Langfang, 065500 P.R. China, mayx@visionox.com)

Abstract: Display quality is a main performance characteristic for display, in the coming 5G era, the application of 5G in terminal end such as AR, VR and ultra- high definition TV requires higher and higher demands for display quality, not only the general characteristics including luminance, chromaticity and definition, but also the ones under environmental light. Meanwhile, with the development of new technology, it is eager to evaluate the performance with new characteristics, such as full-screen display and flexible display. This paper analyses the current problem and requests for the evaluation of image quality.

Key words: image quality, evaluation method, international standard.

1 前言

目前, 我国显示产业的发展如火如荼, 2020 年一季度, 中国大陆液晶显示出货量占比 55%, 2020 年 2 月, 我国大陆地区已建成 OLED 产线 13 条, 总投资规模近 5000 亿, 另据 LED inside 不完全统计, 从 2019 年年初至 2020 年 5 月, 中国大陆以 Mini/Micro LED 为投资方向的项目总额已达 220.8 亿元。同时随着技术的发展, 消费者对显示质量的要求也越来越高, 尤其是进入 5G 万物互联时代, 显示将无处不在, 显示质量将严重影响显示终端的消费者体验。因此, 显示质量的评价将得到越来越多的重视。

在 IEC 国际标准中, 已经有了一些显示质量的评价标准, IEC 62715-5-3 《柔性显示器件 目视评价方法》[1]规定了在标准环境下以及环境可靠性和机械可靠性之后的目视评价方法, 对测试图案及观察条件做了详细规定。IEC 2341-6-3 《有机发光二极管显示器件 图像质量测试方法》[2]对视角、色度特性、串扰、静态分辨率、flicker 以及 G-G 响应时间等评价项目的测试方法做了规定。然而, 随着技术的发展、应用场景的增多, 各种新的问题也层出不穷, 这些已有的评价标准无法全部覆盖甚至是不适合新出现的显示质量问题的评价。要想有一个更清晰的认识, 有必要对目前显示行业内出现的显示质量的问题以及消费者的需求进行梳理, 从而在此基础上做进一步的评价研究。

2 显示新应用

在 5G 时代，万物将互联互通，显示也将无处不在，显示将向大屏化、高画质、高刷新频率的方向发展。对于手机等中小尺寸屏幕而言，全面屏在未来几年仍将是一个趋势，伴随着这个趋势，已经相继发展出了刘海屏、水滴屏、屏下指纹、开孔屏，2020 年上半年，维信诺推出了全球首个可量产屏下摄像解决方案，进一步实现了真正意义上的全面屏。除了全面屏之外，柔性可弯曲、可折叠甚至可卷曲也将是另一个维度的发展趋势，在 CITE2020 年展会上，各显示厂商都展示了柔性可折叠产品，其中维信诺也展出了柔性环绕屏、360° 折叠屏以及 12.3 寸动态卷曲车载应用，为我们打开了柔性显示的发展新空间。在其它方面，显示应用还包括 AR/VR、抬头显示等。

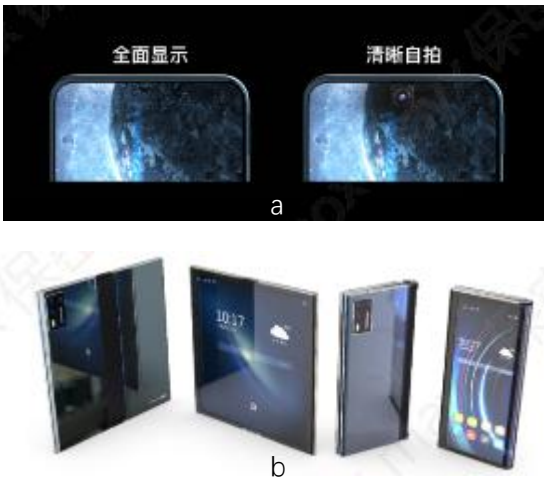


图 1 新显示技术 a) 维信诺屏下摄像头显示屏; b) 维信诺柔性显示屏

Figure 1 New display technology, a) Visionox’s full screen display; b) Visionox’s bendable display

3 显示质量新需求

3.1 残影问题评价

残影问题是 OLED 显示中比较严重的一个问题，具体可以分为长期残影和短期残影，长期残影是指原先的图像在新的图像上的长期残留，主要由器件的老化造成，特征为不可恢复，短期残影是指在点亮一个画面一段时间切换到另一个画面后，前一个画面仍会有残留，主要由 TFT 驱动器件的迟滞问题导致，这在切换到纯色画面尤其明显，不过与长期残影不同的是，这种残留在一段时间内会自行消失。但遗憾的是，到目前为止，业内还没有一个统一的、科学的评价方法，给 OLED 产品残影性能的评价带来了困扰，为解决这一问题，维信诺带着自己的解决方案，在 2019 年 5 月份的 IEC 大会上提出短期残影标准提案。

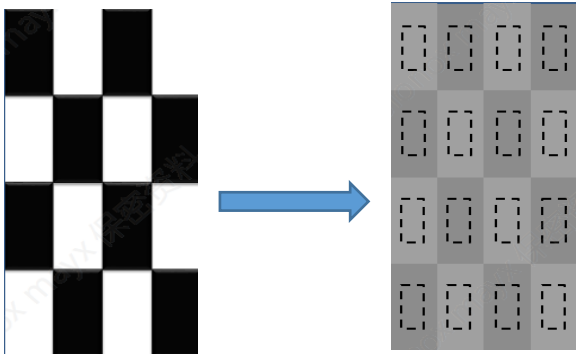


图 2 短期残影现象

Figure 2 The phenomenon of image retention

3.2 多显示区域显示质量评价

如上所述,全面屏催生了屏下技术,如屏下指纹和屏下摄像头,但是这些屏下显示区域由于工艺及设计的差异,会使得与其它正常区域显示不一致的问题,而由于在有限的区域内,所以这种不一致性通过常规的9点均匀性测试很容易被漏掉。因此需要特别关注,有必要对屏下区及其周围区域的光学性能进行单独的比较。针对屏下技术显示评价标准,维信诺同样提出了相关的标准提案。

3.3 可读性评价

不同于纸的显示原理,目前显示器采用自发光,因此在外界环境下,显示质量很大程度上取决于外界的光环境,例如,由于显示亮度低,在强光环境下无法看清所显示的画面内容。目前国际标准已经有了一些环境光下光学性能的评价标准。例如 IEC 62341-6-2:2012 规定了反射率、环境光对比度、环境光色度等测试方法[3]。

影响可读性的显示问题还包括眩光及可视角度,与纸相比,显示屏能够看清文本内容的角度更小。

为解决屏幕眩光的问题,一般都会对盖板玻璃做表面处理,但是处理之后的盖板玻璃却会产生另外一个问题——sparkle[4],点或条纹图案的空间频率与相近空间频率之间的相互干扰,这种干扰会在像素级尺寸范围出现明暗点或者彩色点,随着屏幕与观察者相对位置的移动,或者屏幕上附着水渍或油污等,闪耀点会发生颜色和强度的变化。可通过散射斑对比度进行评价。

3.4 非展平状态下显示质量评价

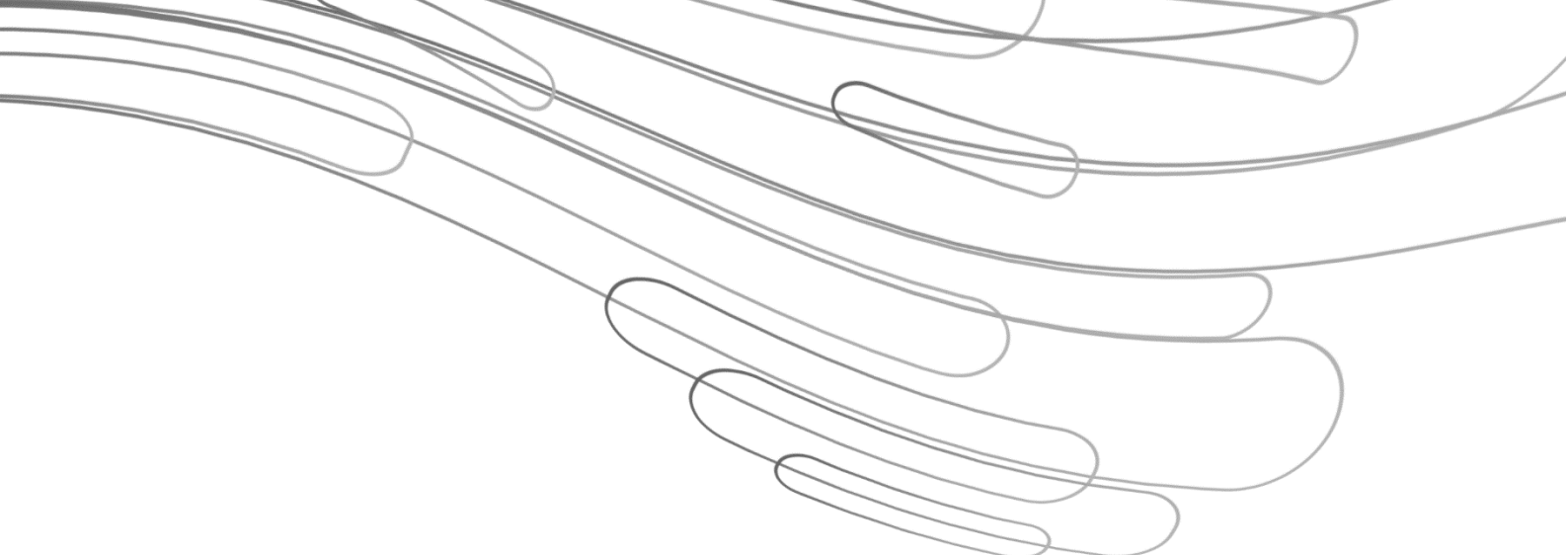
作为一种重要的显示产品,柔性显示可折叠、卷曲,满足了消费者对屏幕多形态变化的需求,然而屏幕在弯曲或者折叠状态下的光学性能评价却成为了一个难题。非展平状态下的测试设备聚焦、均匀性取点规则、视角测试、响应时间测试等都是一个个具体的问题需要我们去进一步的研究。

4 结论

本文结合显示产业的发展趋势,分析了显示质量评价在目前存在的一些问题及需求。残影问题和屏下技术需求已成为当务之急,需要优先解决,而着眼于未来的显示应用,我们需要考虑环境光下光学性能评价及柔性产品在非展平状态下显示质量评价问题。

参考文献

- [1] IEC 62715-5-3: 2017 柔性显示器件 目视评价方法
- [2] IEC 62341-6-3: 2017 有机发光二极管显示器件 图像质量测试方法
- [3] IEC 62341-6-2: 2012 有机发光二极管(OLED)显示器.第 6-2 部分:视觉质量和环境性能的测量方法
- [4] A Ferrero, S Bayón: "The measurement of sparkle", Metrologia 52(2015)317–323



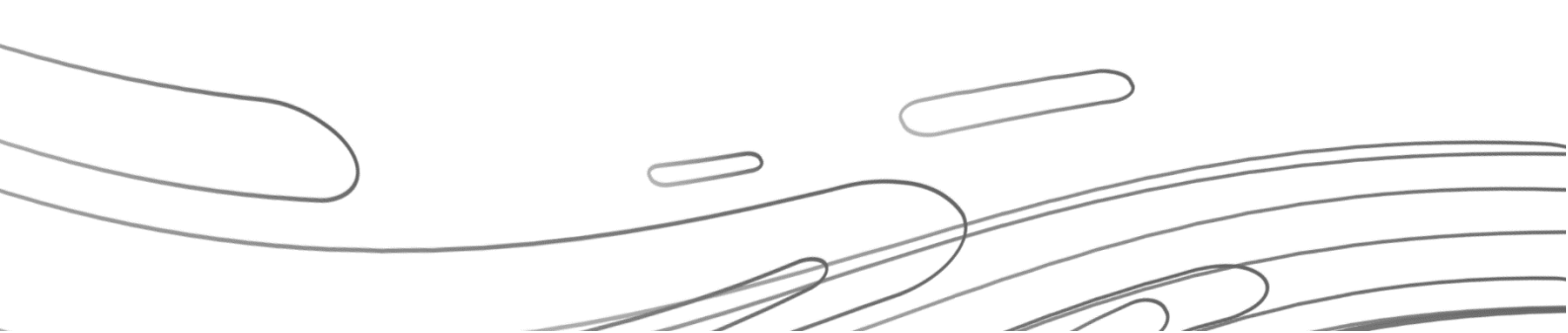
汇 聚 · 碰 撞 · 变 革

2020中国显示学术会议

2020 CHINA DISPLAY ACADEMIC CONFERENCE

会议征文第十四章

显示系统与应用



AMOLED 面板在车载显示中的应用问题与解决方案

张立祥, 刘梦琳, 许瑾, 解红军, 葛泳*

(维信诺科技股份有限公司, 廊坊, 065000, zhanglx@visionox.com)

摘要: 在车载显示领域, AMOLED 面板需要满足高寿命、高可靠性、高亮度以及良好的显示性能等指标。本文基于 12.3 吋显示面板, 单层 OLED 器件进行显示效果、可靠性和寿命的研究。通过优化空穴传输层、电子注入层和发光层材料, 使面板显示寿命由 1200h (T80) 提升至 10000h (T80)。在贴合工艺中, 利用等离子体进行界面处理, 并进行屏体高温预处理和高温脱泡工序, 成功解决了 85℃ 高温可靠性测试中遇到的 OCA 气泡问题。因面板上不同位置的 OLED 器件衰减存在差异, 为了改善面板随使用时间增加而出现的亮度偏差, 通过外部芯片进行电学补偿, 从而在提升显示寿命的同时保证了显示的均一性。

关键字: 车载显示, 高寿命, 高可靠性, 外部补偿

Implementing problem-solving method of AMOLED panel in automotive-displays application

ZHANG Lixiang, LIU Menglin, XU Jin, XIE Hongjun, GE Yong

(Visionox Technology Inc., Langfang, 065000, CHN, zhanglx@visionox.com)

Abstract: In the field of automotive-displays, AMOLED panel needs to meet the requirements of long life, high reliability, high brightness and good display performance. In this letter, basing on 12.3 -inch panel with single-layer OLED devices, the display effect, reliability and lifetime are researched. By optimizing the materials of hole injection layer, electron injection layer and emitting layer, the lifetime of the panel is increased from 1200h to 10000h when the brightness decreases to 80% of the initial brightness. In the lamination process, the problem of OCA bubble in the 85 °C reliability test was successfully solved by plasma treatment on the interface, the process of pretreatment and deaeration at high temperature was conducted before the test. Due to the degenerations of OLED devices in different positions are diverse, the brightness deviation of the panel with the increase of service time is a kill issue. In response to this situation, an external chip is used to compensate for the brightness deviation, so as to improve the uniformity of the panel display.

Key words: Automotive-displays, High Lifetime, High Reliability, External Compensation

1. 引言

新能源汽车崛起、5G 逐步商用落地、自动驾驶快速发展, 电动化、互联化、共享化、智能化成为汽车行业的核心。作为“第三空间”的汽车如何更好地提升安全驾驶、驾乘体验变得至关重要。有机发光二极管 (OLED) 作为一种电流型发光器件已越来越多地被应用于高性能显示中。AMOLED 具有高对比度、超轻薄、可弯曲等诸多优点^[1]。但是亮度均匀性和残像仍然是它目前面临的两个主要难题。针对车用电子元器件的严苛规格, AMOLED 面板在车载领域的规格制定目前也处于起步阶段^[2,3]。AMOLED 面板在中控、仪表盘、后座娱乐方面的全面应用是一个需要市场各个供需关系、上下游企业共同开发合作的大工程。

2. 结果与讨论

2.1 12.3 英寸 AMOLED 原型样机

本文研究基于我们成功开发的采用 LTPS 作为驱动背板的 12.3 英寸 FHD AMOLED 车载显示面板, 如图 1 所示。该面板分辨率为 $1920 \times \text{RGB} \times 720$, 内弯曲半径 800mm。OLED 器件结构由空穴注入层(HIL)、空穴传输层(HTL)、RGB 发光层(EML)、电子传输层(ETL)、电子注入层(EIL)和阴极构成。红、绿、蓝的发光材料为磷光材料。



图 1 12.3 吋 FHD AMOLED 车载显示面板

Fig.1 12.3 "FHD AMOLED automotive display

2.2 高寿命

AMOLED 采用的是自发光器件, 由具有不同功能的有机材料的堆叠构成^[4]。本文器件由共通层和 R、G、B 发光层组成, 共通层由阴极、阳极、空穴注入层、空穴传输层、电子注入层和电子传输层构成。通过优化掺杂比、沉积速率等工艺将模组屏体寿命从 300h(T95) 提升至 4800h(T95)。如图, 所示, 曲线拟合表明改善前屏体寿命为 1200h(T80), 改善后屏体寿命为 10000h(T80), 其中 T_0 为初始亮度, T 为实测亮度, T80 表示亮度衰减到初始亮度的 80%, 文中测试结果采用的初始亮度为 650nit。

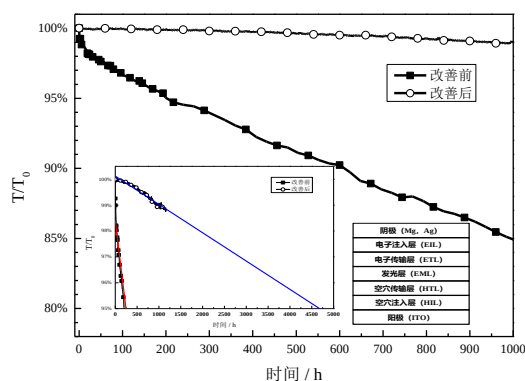


图 2 模组屏体寿命衰减曲线

Fig.2 Life time curve of module panel

2.3 高温可靠性

经过 85°C , 240h 的高温可靠性测试, 测试过程中 OCA 与膜材界面会产生“雪花状”气泡。不同于 LCD 的水胶, 目前应用于车载 AMOLED 的 OCA 材料为片状膜材, 粘附力比水胶小很多。这也是 AMOLED 应用中在车规材料开发中面临的问题。如图 3 所示, 分别为“雪花状”气泡外观图和显微镜成像。

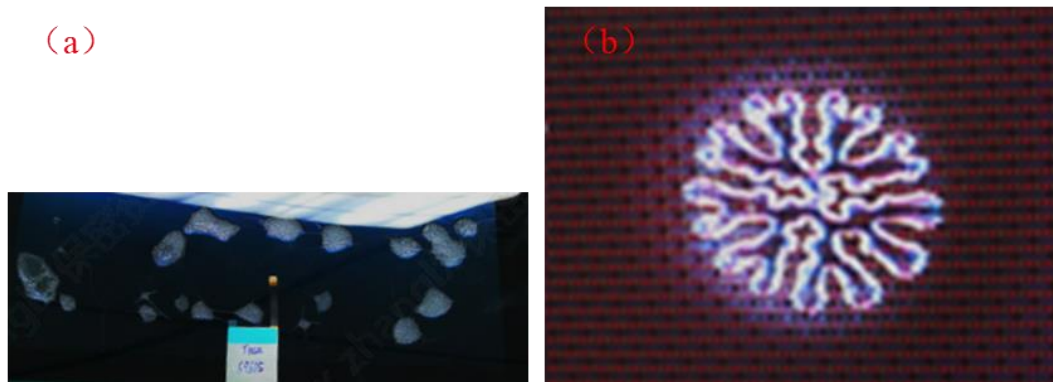


图 3 高温可靠性测试 OCA 气泡

Fig.3 OCA bubble under High temperature test

根据气泡发生位置分为界面气泡于本体气泡两类，界面气泡位于 OCA 于盖板（CG），OCA 与偏光片（Pol）的界面位置，本体气泡位于 OCA 内部。研究对比了不同厚度 OCA 经过 85°C，240h 高温可靠性测试后，气泡发生情况。如图 4 所示，当 OCA 厚度大于 150um,界面气泡的发生概率增加。

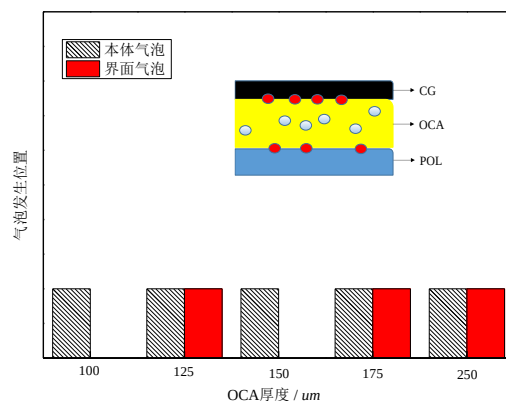


图 4 气泡种类与 OCA 厚度的关系

Fig.4 Relationship between bubble type and OCA thickness

通过 N₂ Plasma 处理 OCA/CG 界面，OCA 气泡发生的时间大大延迟。如图 5 所示，经水滴角测试表明 N₂ Plasma 前后，CG 表面接触角从 82.7°降低到 30.3°，OCA 气泡发生时间从 24h 推迟到 144h，大大提升了产品可靠性。

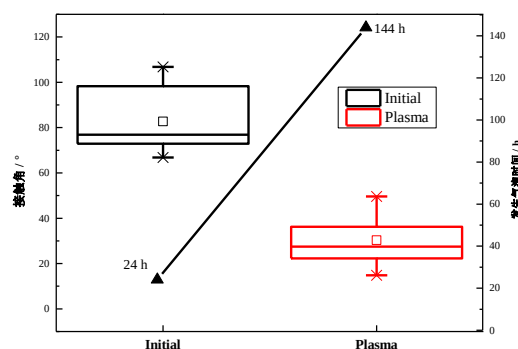


图 5 接触角改善与可靠性的关系

Fig.5 Relationship between contact angle and reliability improvement

本文研究了不同工艺因素对 OCA 气泡的影响。如图 6 所示，脱泡压力与脱泡温度是影响 OCA 气泡发生率的主因子，贴合压力与脱泡时间对 OCA 气泡发生影响不大。

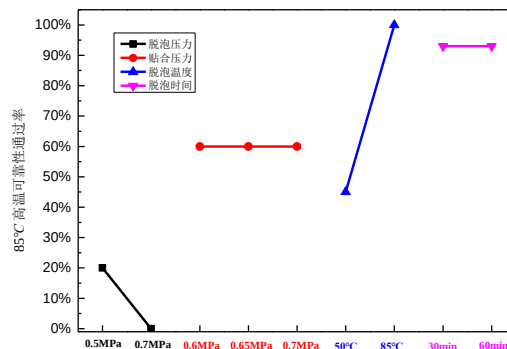


图 6 影响 OCA 气泡的主因子图

Fig.6 Principal factor diagrams affecting OCA bubbles

2.4 外部电学补偿

OLED 本身会随着点亮时间的增加亮度逐渐衰减。通过读取 OLED 电流，将电流参数读取到驱动 IC，借助外部的集成电路芯片实施算法，对 OLED 老化实施补偿。本文采用如图 7 (a) 的架构进行电学补偿，采用 FPGA 进行算法调试，如图 7(b)。算法验证完成后，封装成芯片 (TCON-IC)，与其他元器件集成打件在 PCB 上，进行产品集成化。图 7 (c) 为集成算法的 TCON IC。

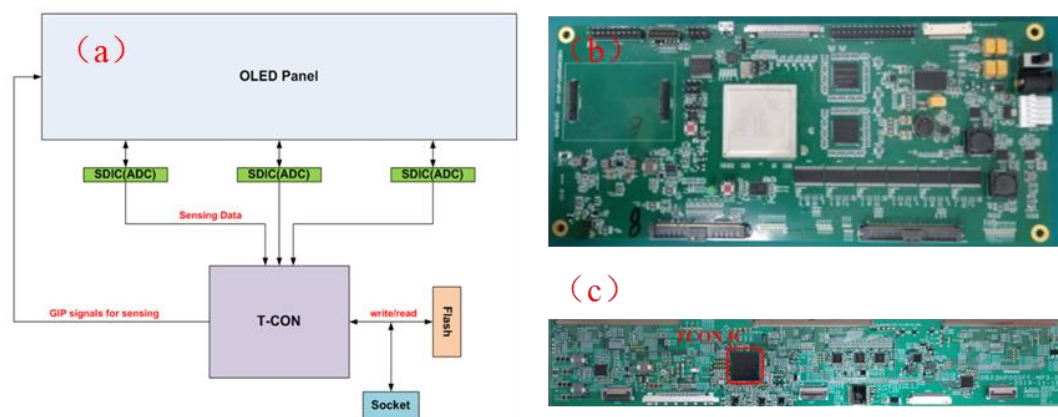


图 7 12.3 吋 AMOLED 面板补偿方案

Fig.7 12.3 "AMOLED panel compensation scheme

图 8 (a) 为将屏体在特定画面下进行长时间老化后的画面，在图 8 (a) 的右侧可以清晰的看到棋盘格状的亮度不均的方块。这是因为特定画面的每一个方块亮度大小不一致，长时间测试后，不同的方块寿命衰减程度不同，采用同一灰阶进行白画面测试后，就会出现亮度的差异。

图 8 (b) 为在图 8 (a) 的屏体上启动算法补偿功能，可以观察到，右侧的亮度不均消失了。



图 8 补偿效果画面确认

Fig.8 Compensation effect screen confirmation

3. 总结

本文采用蒸镀工艺改善, 将 AMOLED 屏体寿命提升至 10000h(T80)。为了解决高温可靠性问题, 引入模组材料界面 Plasma 处理工艺, 并验证出高温高压脱泡是影响可靠性的主因子。应用算法补偿集成化方案成功解决的 OLED 有机发光器件随着点亮时间的增加而出现的亮度均一性问题。

参考文献:

- [1]邓亮. 柔性 AMOLED 背板开发的关键问题研究. [D].7714
- [2] Xue Y, Han B X, Chaw G, et al. Uniformity research of an advanced 31-inch 4K AMOLED display[C].2019 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC) .IEEE, 2019
- [3]刘振宇. 浅析大尺寸 AMOLED 显示的技术难题及对策.[J].科学与信息化,2019,000(018): 69
- [4]魏亚东.AMOLED 技术发展现状及良率问题分析.[J].中国科技信息, 2013, (08): 128-129

柔性屏体折叠转轴轨迹设计

张方、陈继峰、张雷超、林书如、单奇、梁玉

(维信诺科技股份有限公司, 河北固安, 065504, zhangfang@visionox.com)

摘要: 柔性屏体折叠时, 转轴的运动轨迹对屏体的受力状态影响很大。本文针对转轴轨迹的不同实现形式及其对屏体受力的影响进行研究, 推导出转轴轨迹设计基本公式。通过仿真与试验验证, 优化后的弯折轨迹能极大改善屏体弯折性能, 提升屏体弯折次数。

关键字: 主动式阵列有机发光二极管, 折叠屏, 转轴, 轨迹

The trajectory design of bending motion controlled by the hinges on foldable display modules

ZHANG Fang, CHEN Ji Feng, ZHANG Lei Chao, LIN Shu Ru, SHAN Qi, LIANG Yu Visionox
(Technology Inc., Gu'an, Langfang, 065504, zhangfang@visionox.com)

Abstract: It has been found for a while that the trajectory of bending motion controlled by the hinges of foldable display modules could greatly influence the stress distribution inside the flexible films or AMOLED devices during the bending and flatting progress. However, the best way or optimized trajectories for bending the display still have not been studied and designed very well. To reduce the unwanted stress caused by the poor bending track, this paper analytically studies the better optimization of bending trajectory and numerically simulates the stress progresses. After optimizing and adjusting the bending trajectory according to the simulation results, we have indeed improved the bending performance since the numbers of bending times which the folding display can survive are experimentally increased.

Keywords: AMOLED, Foldable Display modules, Hinges, Trajectory

0 引言

柔性显示屏以其显示形式、应用场景的多样性而备受关注, 各大终端厂商也陆续推出柔性折叠相关产品。随着柔性显示在手机终端的大量应用, 市场及终端客户对柔性屏体的弯折寿命也提出了更高的要求。影响弯折寿命的因素包括模组中各叠构材料特性、弯折半径、叠层结构等^{[1][2]}, 但弯折轨迹对柔性屏体的弯折寿命的影响暂无相关文献报道。

本文主要按照模组始终受力最小且两侧均等的原则, 推导出理论轨迹, 并将理论轨迹转化为转轴设计方案, 得到双轴补偿轨迹, 同时将现有弯折设备——单轴补偿轨迹、双轴补偿轨迹、理论轨迹输入到仿真模型, 进行弯折仿真。对比仿真结果与试验结果, 探讨了不同转轴轨迹对弯折结果的影响。

1 试验方法

现有弯折设备多采用单轴补偿治具, 治具一侧固定, 另一侧沿补偿后的轨迹运动。如图1所示。弯折速率30次/分钟。

2 仿真建模

2.1 材料本构

本文所涉及膜材(盖板、BPF等)选用线弹性材料本构, 材料参数通过拉伸试验机测试

得到；胶材（OCA、PSA）采用超弹性和黏弹性理论模型^[3]，超弹性参数引入了非线性弹性，黏弹性引入了率相关性，分别通过拉伸试验机、DMA、旋转流变仪等测试设备得到相关材料数据，导入到仿真软件中拟合得到 OCA 胶材的超弹、黏弹性材料本构。

2.2 仿真模型

简化模组中各叠层结构，未考虑 TP、AMOLED 中的图形设计，并对部分叠层进行模量等效。模型边界参考试验方法，即固定一侧，另外一侧按照特定轨迹进行弯折。弯折仿真采用隐式非线性算法，考虑 OCA 黏弹及超弹特性。

2.3 转轴轨迹

分别对比单轴补偿、双轴补偿、理论轨迹的差异。三种轨迹下，屏体整体弯折路径无明显差异，如图 1 所示。若加入角度因素，即考虑转动相同角度下屏体位置，翻板的坐标存在很大差异，如图 2 所示。转动相同角度，单轴补偿相比理论轨迹，屏体 X、Y 方向的平动偏小，其中 X、Y 方向在弯折角度大于 45° 后，与理论轨迹的偏差逐渐增大，即出现补偿不足的问题。其中 X 方向差异在 140° 达到最大值，Y 方向差异在 110° 达到最大值，即在 110°~140° 之间异常受力问题最为突出。采用双轴补偿，在不同转动角度下，X、Y 方向的平动位移，均与理论轨迹吻合较好。

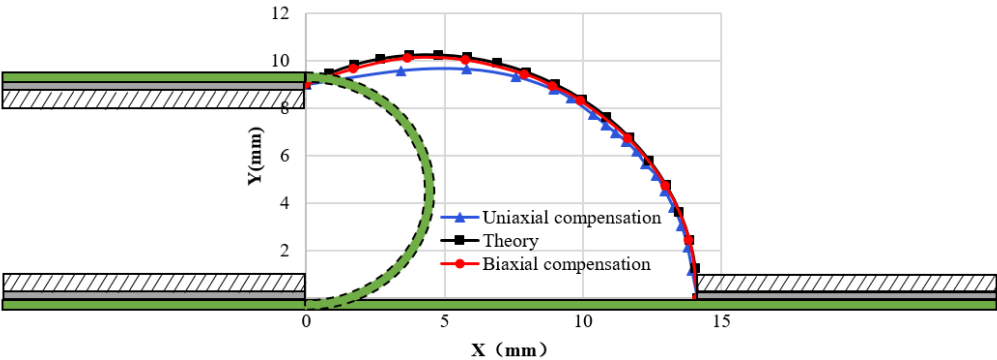


图 1 转轴不同轨迹下屏体弯折轮廓示意

Fig1. The bending outline of the modules under different trajectory of the hinge is indicated

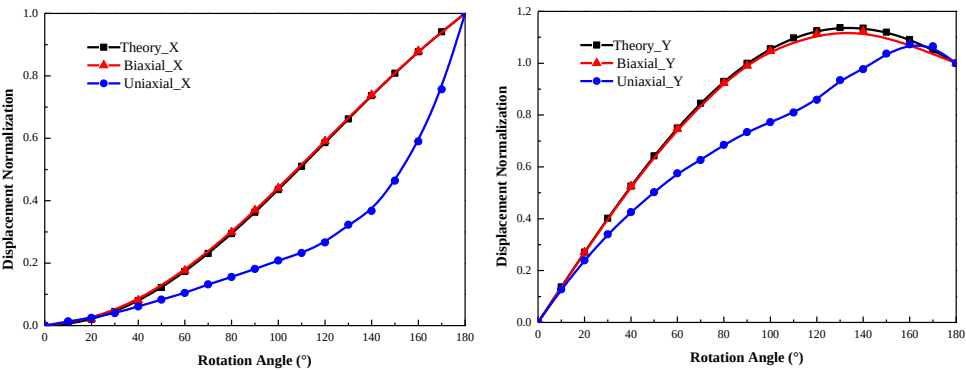


图 2 不同弯折角度下屏体位移

Fig.2 The displacement of the modules at different bending angles

3 结果与讨论

3.1 不同转轴轨迹方案仿真结果对比

在柔性模组弯折时，常见失效问题包括盖板裂纹、黑斑、气泡等，为对比不同弯折轨迹下，模组中各叠层的受力状态，分别提取弯折时 TFE 及 CWF 最大应变、OCA 最大应力结果。

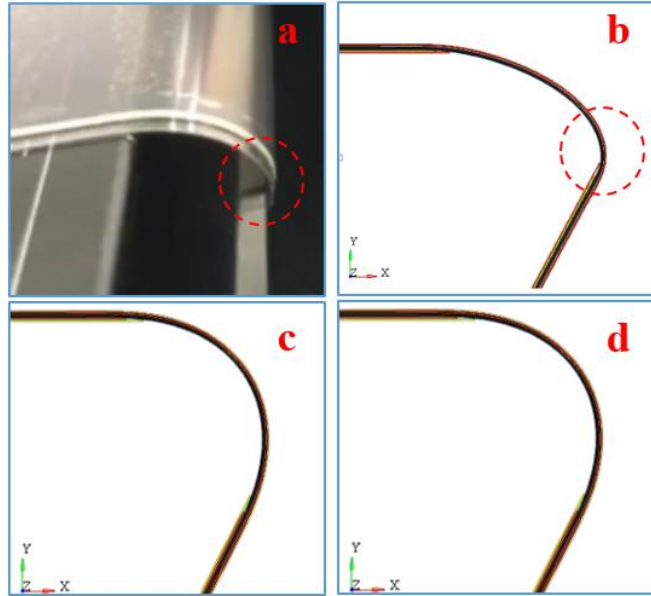


图 3 弯折试验与仿真结果轮廓图

Fig.3 Profile of bending test and simulation results

- a. 单轴补偿试验轮廓; b. 单轴补偿仿真轮廓; c. 双轴补偿仿真轮廓; d. 理论轨迹仿真轮廓
- a. Uniaxial compensated test; b. Uniaxial compensated simulation; c. Biaxial compensated; d. Theory of trajectory

从弯折试验及仿真结果可知，单轴补偿方案在仿真与试验中，均出现屏体某位置弯折曲率大于设定值的情况，如图 3a，图 3b 所示。而理论轨迹及双轴补偿方案在弯折过程，均能保证弯折区曲率过度均匀，如图 3c，图 3d 所示。

由图 4、图 5 可知，单轴补偿弯折 45° 时 TFE、CWF 开始出现异常受力，约 140° 时，TFE、CWF、OCA 异常受力均达到最大值，且远超弯折最终状态的受力。在屏体采用单轴补偿的轨迹进行弯折测试时，会导致屏体、CWF、OCA 单次弯折受到的损伤增加，从而大大降低模组的弯折寿命。

双轴补偿与理论轨迹下，TFE、CWF、OCA 受力状态均接近线性增加，且最终状态受力最大。各膜层无异常受力，按照该轨迹进行弯折测试，有利于提升弯折寿命。

提取 TFE 受力情况，可以发现双轴补偿及理论轨迹下，弯折中心位置与 TFE 整个膜层最大受力一致，弯折中心处始终为受力最大的位置。单轴补偿轨迹下，弯折中心位置初始受力与理论轨迹状态下一致，在弯折角度达到 45° 后，弯折中心位置受力低于膜层整体受力，但在弯折角度 140° 后，TFE 受力急剧增加，最终达到最大值。即单轴补偿下，弯折过程中屏体受力最大位置并不在弯折中心位置。如图 7 所示。

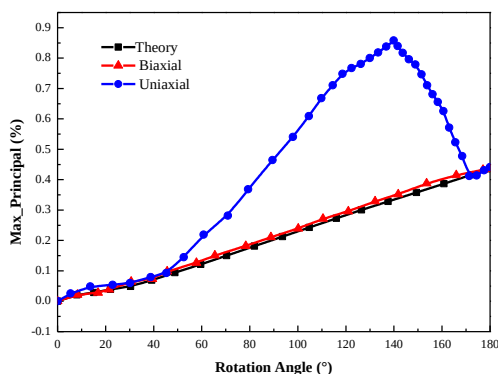


图 4 弯折过程中 TFE 最大应变

Fig.4 Maximum strain of TFE during bending

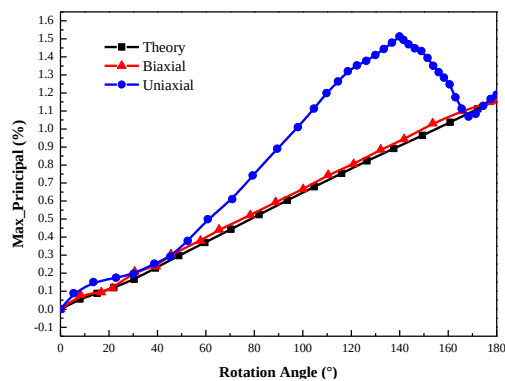


图 5 弯折过程中 CWF 最大应变

Fig.5 Maximum strain of TFE during bending

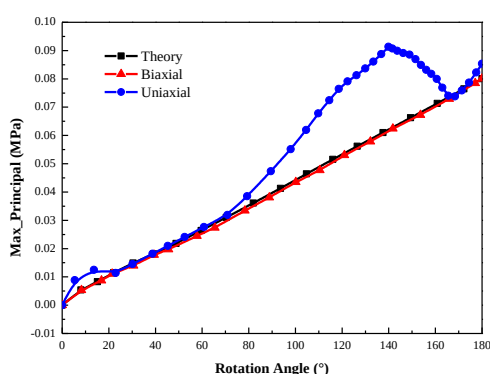


图 6 弯折过程中 OCA 最大应力

Fig.6 Maximum stress of OCA during bending

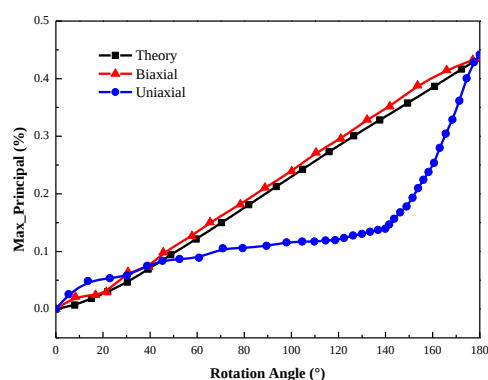


图 7 TFE 弯折中心位置最大应变

Fig.7 Maximum strain at bending center of TFE

3.2 试验结果对比

按照双轴补偿方案对弯折设备进行改造,分别采用相同的模组结构在单轴补偿设备、双轴补偿设备上,进行常温动态弯折测试,考察弯折次数。模组结构 A、B 试验结果如表 1 所示。

表 1 柔性模组常温动态弯折试验结果

Tab. 1 Dynamic bending test results of foldable display modules at room temperature

Module Structure	Uniaxial Compensation for	Biaxial Compensation for
	Bending Times	Bending Times
A	60000	>150000
B	30000	>150000

注:只要出现盖板裂纹、TFE 失效、OCA 气泡等问题中的一项,均判定为不合格

由测试结果可知,采用不同轨迹的弯折测试设备,弯折寿命差异很大。采用双轴补偿方案,能够显著提升柔性模组弯折次数。

4 结论

从柔性模组弯折失效问题出发,通过仿真与试验手段验证了不同弯折轨迹对弯折寿命的影响。弯折轨迹对柔性模组的弯折次数影响非常大,弯折轨迹设计时,要尽量与理论轨迹保持一致,以提升弯折寿命。在整机转轴设计中,如何将理论轨迹转化为机构设计,该部分工作还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘正周, 廖敦明, 贾永臻, 等. 可折叠 OLED 屏幕的弯折应力仿真 [J]. 液晶与显示. 2018, 07: 555-560.
- [2] Meng-Kao Yeh, Li-Yu Chang, Hsien-Chie Cheng, et al. Bending Stress Analysis of Laminated Foldable Touch Panel [J]. Procedia Engineering. 2014, 79 (3): 189-193.
- [3] Fay Salmon, Albert Everaerts, Chris Campbell, et al. 64-1: Modeling the Mechanical Performance of a Foldable Display Panel Bonded by 3M Optically Clear Adhesives [J]. SID Symposium Digest of Technical Papers. 2017, 1: 938-941.

外部补偿型大尺寸 AM-OLED 显示的反馈检测方案研究

邱赫梓, 廖聪维, 安军军, 张盛东*

(北京大学深圳研究生院, 深圳, 518055, zhangsd@pku.edu.cn)

摘要: 外部补偿型显示驱动是当前针对大尺寸 AMOLED 面板的主流方案, 其优点有补偿效率高, 范围大, 像素驱动时间短以及控制时序简单等优点。外部补偿的主流检测方案主要分为电流检测和电压检测, 本文较系统地研究和比较了外部补偿系统的电压反馈与电流反馈检测方案的响应速度问题。较详细地推导和计算了电流和电压反馈瞬态响应, 并基于 IGZO TFT 的实际器件特性, 针对 31.5 英寸的 AMOLED 显示面板的负载条件, 仿真验证了电流型和电压型检测反馈过程的建立时间。理论计算和仿真都表明, 在采用相似模拟前端读出结构以及面板参数相同的前提下, 电流反馈建立时间只需要电压反馈的 1/5 以下。

关键字: 外部补偿, 电压反馈, 电流反馈, 建立时间

Research on externally compensated system of large-size AM-OLED display

QIU Hezi, LIAO Congwei, AN Junjun, ZHANG Shengdong

(Peking University ShenZhen Graduate School, Shenzhen, 518055, zhangsd@pku.edu.cn)

Abstract: External-compensation display driving is currently the mainstream solution for large-size AMOLED panels. Its advantages include high compensation efficiency, large range, short pixel driving time, and simple timing control. The detection schemes of external compensation are divided into current-feedback detection and voltage-feedback detection. In this paper, we systematically study and compare the risetime of the voltage-feedback and current-feedback detection schemes of the external compensation system. The simulations have verified in a 31.5-inch AMOLED IGZO TFT display panel. Both theoretical calculations and simulations show that under the similar condition, the current feedback setup time only needs less than 1/5 of the voltage feedback.

Key words: external compensation, voltage feedback, current feedback, settling time

1、引言

有源显示有机发光二极管显示 (AMOLED) 将成为未来主流的显示技术。在 AMOLED 显示系统中, 主要的构成部分包括了 TFT 有源阵列的面板 (像素、栅极驱动电路) 以及外围驱动电路。面板上的 OLED 像素阵列的发光单元会随着显示时间的增加, 发生退化现象[1]。解决这一办法通常有两类途径: 像素内部补偿和外部补偿。随着 AMOLED 的面板尺寸、分辨率、帧率的提高, 内部补偿方案受行显示时间、补偿的漂移量限制, 无法很好的补偿。因此, 大尺寸的面板主要采用外部补偿方案[1-3]。

当前, 国际上已有多种外部补偿的检测模式, 主要可以分为电流反馈检测方案和电压反馈检测方案。建立时间是外部反馈的重要指标之一, 涉及到电路的时序控制, 显示最高分辨率、刷新频率等多项指标。迄今为止, 针对不同反馈检测方案在建立时间方面的差别还缺少较系统的研究。本文将针对 IGZO TFT 背板的大尺寸 AMOLED 显示器的实际负载情况, 通过理

论推演并结合 SPICE 模拟，对比分析电流和电压反馈检测方案在建立时间方面的差异。

2、补偿原理与理论计算

本文涉及的外部补偿方案的显示模块由显示面板和显示驱动芯片组成，面板由像素电路、栅极驱动电路和电流电压反馈回路组成。外部补偿驱动芯片的由驱动模块（包含 DAC 和驱动运放）和电流/电压检测模块构成，其中检测可以分为电流检测和电压检测。如图 1(a) 所示，在栅极驱动电路的驱动下，像素电路将反馈的电压或电流经过反馈通道，进入电流/电压比较器，通过比较器得到比较结果输入时序控制器，时序控制器会在下一周期将带有矫正电压的数字信号输入 DAC 和驱动运放，最终输入像素电路中。在像素电路的驱动也可分为两种模式：显示模式和检测模式。如图 1(b) 所示，为典型的 3T1C 外部检测的像素电路[4]。其中 T1 为驱动管，T2 为选通管，T3 为反馈管。Cs 为存储电容。在显示模式下，仅有 SCAN 信号选通，显示数据电压通过驱动管存进像素电路的电容中。当在补偿模式下时，SCAN 信号和 SENSE 信号先后选通，在数据电压输入电容后，反馈管会将反馈的电压或电流值送进比较器中进行比较。

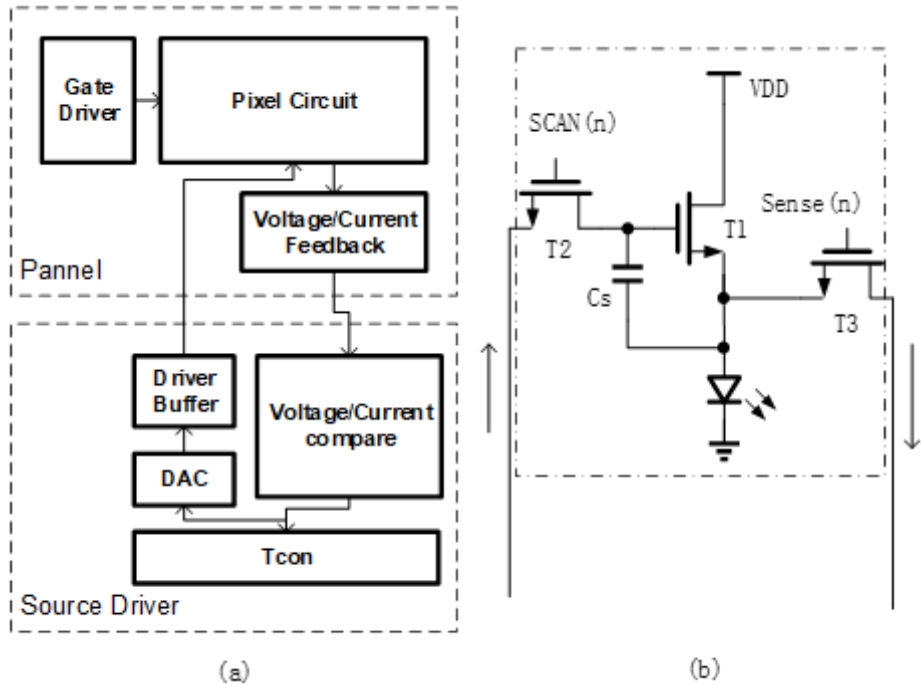


图 1 (a)AMOLED 显示外部反馈框图，(b)外部检测的 AMOLED 像素电路图

Figure 1 (a) AMOLED display system block diagram, (b) externally detected AMOLED pixel circuit

2.1、电流检测负反馈

如图 2 所示，为设计的基于电流反馈方案的单通道示意图。该方案的电流检测通过将反馈电流和电流型 DAC 输出的标准电流通过一对匹配良好的电阻串，转化为差分电压进行比较。图 2 中虚线部分为像素内流过的待检测电流，实线部分为电流 DAC 输出的电流。电流比较部分采用一级预放大结构连接翻转比较的方式进行检测。预放大结构采用两组输入跨导放大器，两组跨导放大器可分别进行工作。当跨导 gm1 工作时，此时 SW_TFT 闭合时，SW_OLED 断开，电流将探测从 VDD 经过放大管、反馈管并流向电阻，即为图 2 中绿色箭头流向；当跨导 gm2 工作时，此时 SW_OLED 闭合，SW_TFT 断开，电流经过电阻串、反馈管以及 OLED 流向地，即为红色箭头流向。两种输入模式均连接电阻放大器和一个前端具备失调存储功能的比

对于电压型反馈结构, 其建立时的波形为::

这里同样忽略了因 V_S 变化引起的反馈管导通电阻变化。

对于电压型反馈模式的建立时间为:

$$t_{setup\_voltage,95\%} = \ln(20) * \left(R_{on,sense} + R_{fb} + \frac{1}{g_{m,T1}} \right) * C_{fb}$$

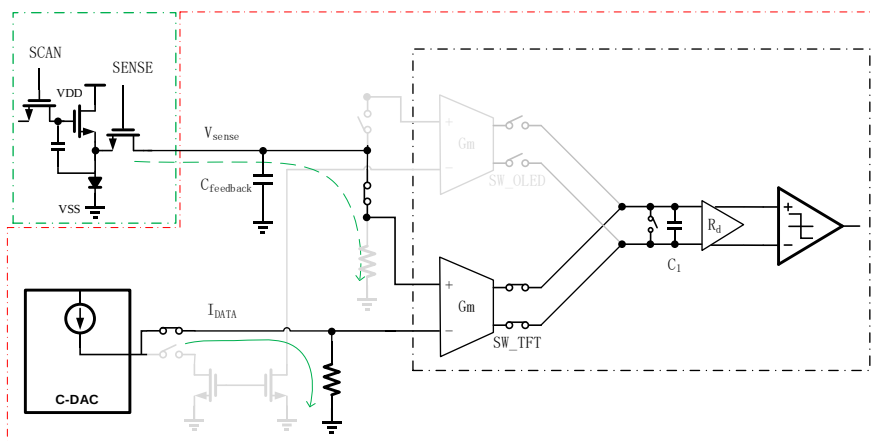


图 3 电压型外部反馈结构示意图

Figure 3 Schematic of voltage-feedback external diagram

3、 仿真结果

针对上述两种电流型反馈检测方案和电压型反馈检测方案，结合分别用 Hspice 建立仿真模型。针对仿真参数，我们设定以下环境，并在设置的反馈电压或电流达到 95%便认为完成阈值电压的提取，从初始值变为最终值的 95%的过程，定义为信号的建立时间，也可以视作信号合理的采样时间。相关的器件参数如下图所示：

表 1 31 英寸 AMOLED 显示面板的仿真参数表

Table 1 Simulation parameter table of 31-inch AMOLED display panel

V _{th}	900mV
V _{data}	1~5V
C _{fb}	100pF
R _{line}	3k Ω
R _{on, sense}	2M Ω
VDD	5V
$K = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L}$	$0.138 \frac{\mu A}{V^2}$
I _{TFT, MAX} (Single Pixel)	600nA
Panel size	31 英寸 (inch)
resolution	3840 (RGB) *2160

针对如图 1(b) 的像素电路, 输入不同的 V_{data} 信号, 电压为从 1V 到 5V, 以 0.2V 为单位递进, 一共 21 组仿真曲线。该电压会存储在 C_s 电容中, Sense 信号选通时, 像素电路中的电压或电流会随之建立。当为电压反馈时, 电压信号随时间的变化如图 4(a) 所示; 当为电流反馈时, 电压信号随时间的变化如图 (b) 所示; 两者信号达到 95% 的建立时间随着输入电

压的变化。

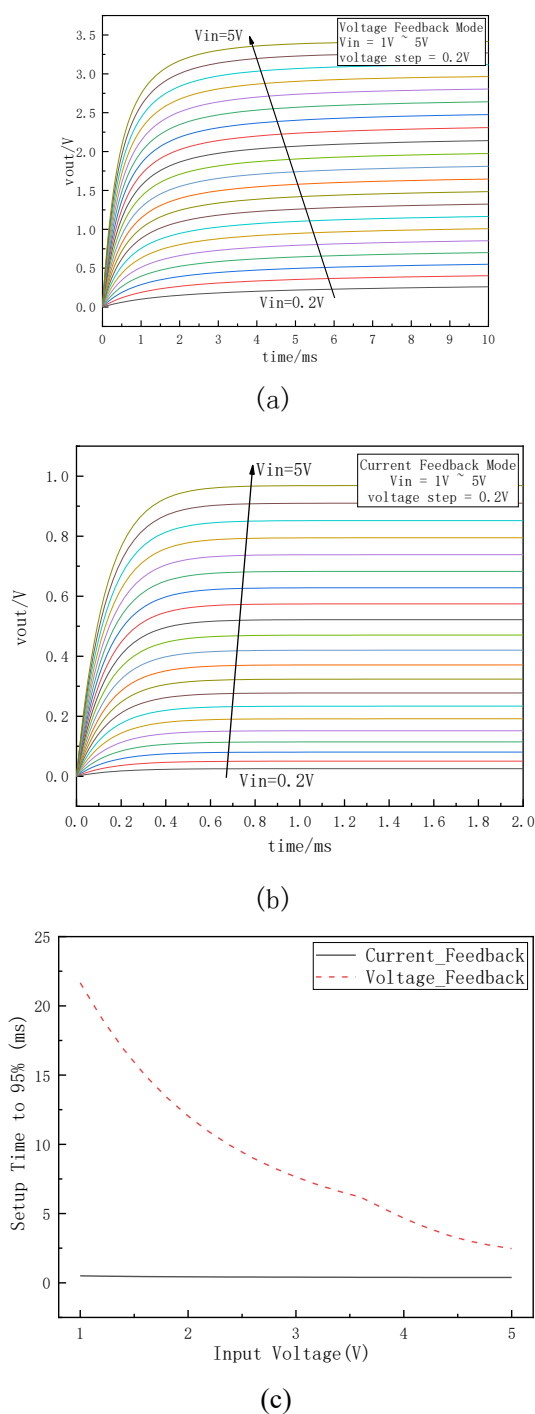


图 4 仿真波形(a) 电压反馈模式下, 1V-5V 电压的建立波形(b) 电流反馈模式下, 1V-5V 电压的建立波形(c) 电压反馈(红色虚线)与电流反馈(黑色实线)在 1V-5V 输入电压下的建立时间

Figure 4 Simulation waveform (a) voltage feedback mode, setup waveform under 1V-5V input voltage

(b) current feedback mode, setup waveform under 1V-5V input voltage (c) Voltage feedback (red dotted line) and current feedback (black solid line) Settling time under 1V-5V input voltage

仿真结果可以得出, 在相同的输入电压下, 电压反馈所需要的建立时间比电流反馈的时

间更长。在电压反馈模式下，建立时间随着输入电压的增加而减少。如图 5(a) 所示，可以理解为在输入电压 V_{data} 提高时，驱动管 T1 流过电流增大，T1 管等效电阻减少。晶体管 T1、T3、电阻 R_{line} 和电容 C_{fb} 组成一条信号通路，当 T1 等效电阻减小时，该通路的 RC 时间常数降低，因此建立时间缩小。而针对电流反馈模式，如图 5(b) 所示，相比于电压反馈模式增加了 R_s 的探测电阻。该电阻的引入使得通道的时间常数趋于固定，不随着 V_{data} 输入电压，即 T1 管的等效电阻变化。因此电流反馈可以拥有更稳定的反馈时间。但是电流反馈模式下，每个读出电路芯片需要针对面板的反馈电流做优化，即确定反馈电流的最大值 $I_{TFT, MAX}$ 后，再确定输入电阻 R_s 的值。芯片的适用范围缩小。同时电阻 R_s 会引入额外的噪声，在设计时需要考虑。

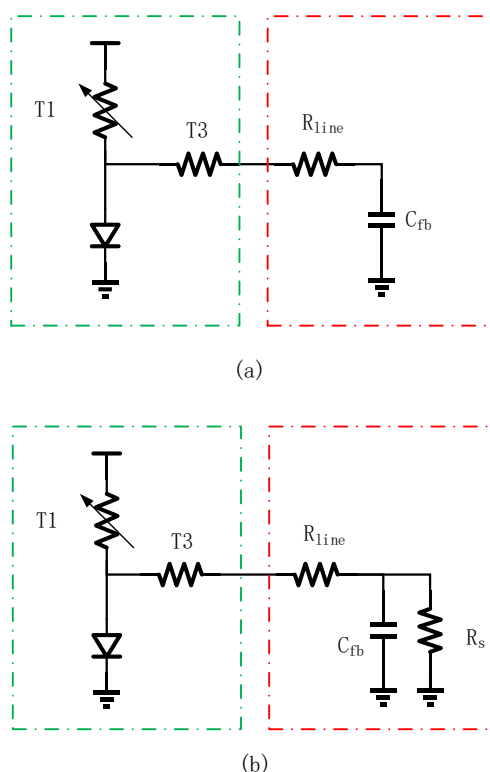


图 5 (a) 电压反馈等效电路图 (b) 电流反馈等效电路图

Figure 5 (a) Voltage feedback equivalent circuit diagram (b) Current feedback equivalent circuit diagram

4、结论

本文比较了针对大尺寸 AMOLED 面板常见的两种外部补偿方案，电压反馈补偿方案和电流反馈补偿方案进行了理论计算和仿真验证。本文以 31.5 寸 4k 面板的参数为例进行仿真，可以得出在其他条件相同时，使用电流检测方案的建立时间为电压检测的 1/5 到 1/30。但通过电流检测的方法，模拟前端的探测芯片需要针对面板的反馈电流做匹配。针对不同尺寸的发光面板，其反馈电流不同，需要设置不同的前端 R_s 电阻。

参考文献:

- [1] Hyeon-Cheon Seol, Jong-Hyun Ra, Seong-Kwan Hong. "An AMOLED Panel Test System Using Universal Data Driver ICs for Various Pixel Structures" [J], NO. 1, JANUARY 2017, TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 64

- [2] Jun-Suk Bang, Hyun-Sik Kim, Oh-Jo Kwon, "A Hybrid AMOLED Driver IC for Real-Time TFT Nonuniformity Compensation" [J], JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, APRIL 2016 VOL. 51, NO. 4,
- [3] Thomas Charisoulis, Miltiadis Hatalis, "Current Feedback Compensation Circuit for 2T1C LED Displays: Analysis and Evaluation" [J], E TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS–I: REGULAR PAPERS, JANUARY 2019, VOL. 66, NO. 1
- [4] Jin, Yu-Feng, and Hong-Jun Xie. "P-1.8: External Compensation for TFT V_{th} & Mobility Using Linear Charge Sense Method in AMOLED Display." SID Symposium Digest of Technical Papers. 2018. Vol. 49.

