

東南大學  
工程硕士学位论文

大尺寸 IGZO In-cell Touch 面板 GOA  
栅极驱动电路

专业名称: 电子与通信工程

研究生姓名: 王鸣昕

校内导师: 赵涤燹 教授

校外导师: 周刘飞 高工

# A-IGZO TFT INTEGRATED GATE DRIVER CIRCUIT DESIGN OF LARGE SIZE IN-CELL TOUCH DISPLAY

A Thesis Submitted to  
Southeast University  
For the Academic Degree of Master of  
Engineering

BY  
Wang Mingxin

Prof. Zhao Dixian  
And  
Senior Engineer Zhou Liufei

Information Engineering College  
Southeast University

June 2018

## 东南大学学位论文独创性声明

■

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得东南大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名: \_\_\_\_\_ 日期: \_\_\_\_\_

## 东南大学学位论文使用授权声明

东南大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆、《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司、万方数据电子出版社、北京万方数据股份有限公司有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外，允许论文被查阅和借阅，可以公布（包括以电子信息形式刊登）论文的全部内容或中、英文摘要等内容。论文的公布（包括以电子信息形式刊登）授权东南大学研究生院办理。

研究生签名: \_\_\_\_\_ 导师签名: \_\_\_\_\_ 日期: \_\_\_\_\_

## 摘要

显示器的应用终端目前已经细致分为工业控制、医疗显示、车载显示、移动显示、民用计算机显示、虚拟现实显示和大尺寸影像显示。大尺寸显示器的功能主要是民用终端，技术的开发方向是超高清的视觉体验和流畅的高频率游戏运行画面。由于通信技术的发展，可传递的视频信号的数据量也成倍的增长，高分辨率的显示器需求例如 4K、8K 的需求逐渐变成市场的热点。高清大尺寸面板的开发会遇到驱动力不足以及整面器件工艺均一性和光学均一性的问题。针对大尺寸高分辨率面板的研究不但能够提升公司的产品竞争力，同时能够对当前行业内面板技术普遍存在的关键性问题有更深层次的理解。触控面板的出现使人与机器的交互更加流畅和直接，而且操作简单，反应迅速。In-cell 触控技术利用液晶面板的原有工艺，将传感器集成在液晶盒内。采用该技术的触控面板兼具轻薄和高清的优点。但是该技术一方面占用了面板原有的驱动和显示有效区域，另一方面在时序上需要做相应的配合，容易造成驱动不足，而且其传感器产生的电容耦合效应会影响液晶的驱动电场，从而造成显示不良。大尺寸高分辨率面板由于一帧的充电时间是普通分辨率面板的 1/2 甚至 1/4，需要检测的区域也成倍增长，而且远端与近端的负载差异较大，因此，受限于其苛刻的充电和检测时间要求，大尺寸高分辨率 In-cell 触控面板鲜有报道。

本课题针对 a-IGZO 的材料和器件做了深入的研究，并和市场上目前流行的 a-Si 和 LTPS 工艺做了对比分析。介绍了一种高鲁棒性的 GOA 电路，对其运作原理做了详细的介绍，并设计了一款采用该电路驱动的 27 英寸 UHD 面板。该面板成功点亮并拥有各方面优异表现。本文介绍了 In-cell touch 面板的集成栅极驱动电路的设计，详述了两类基本的触控 GOA 电路的优缺点，并针对性的设计了具体的 GOA 方案和版图。介绍了采用其中一种方案的触控面板效果，并介绍了其性能，分析了其缺点。本课题设计了一款能够运用在大尺寸高分辨率面板上的 In-cell 触控 GOA 电路。该电路基于 a-IGZO 工艺并且有较好的触控和显示效果，克服了前述电路的问题。

关键字：显示面板； a-IGZO； GOA； In-cell Touch；

## Abstract

The application terminal of the Display has been divided into several categories: Medical Display, Vehicle Display, Mobile Display, Civil Computer Display, Virtual Reality Display and Large-size Image Display. Large size displays are mainly for civilian terminals, and the development direction of the technology is Ultra High Definition visual experience and smooth game running pictures. Due to the development of communication technology, the data volume of video signal that would be transmitted has also increased exponentially. At the same time, the demand for high-resolution displays, such as 4K and 8K, has gradually become a hot spot in the market. The design of high definition large size panel will encounter the problems of insufficient driving force, device uniformity and optical uniformity. The research on large-size high-definition panel can not only enhance the product competitiveness of the company, but also have a deeper understanding of the key problems commonly existing in design of the display industry. The touch panel technology makes the interaction between human and machine more smooth, freedom and direct. Compared with mouse and keyboard, the touch operation is more simple and quick. In-cell touch technology is an integrated touch sensing technology in the cell of display screen. In-cell technology integrates the sensor into the liquid crystal box by using the original process of the display panel without affecting the display picture quality. Compare to the other panel, the one which using this technology has thinner appearance and the clearer picture. But the integrated sensor has also caused new problems to panel design. On the one hand the touch sensor take up the area which originally belong to the driving circuit and active area of the display system. On the other hand, the timing of driving system must be changed to make touch and display function working compatibly. The increased function has also increase the RC loading of panel which would cause the serious signal delay, even incorrect driving. The touch sensing also cause the capacitance coupling effect which could influence display image charging. The pixel charging time of large-size high-definition panel is 1/2 or even 1/4 of the normal resolution panel while the loading difference between the remote and the proximal is large, and the touch areas to be detecting have multiplied. Based on the harsh charging and detection time, the large-size high-resolution in-cell touch panel is rarely reported.

The goal of the project is to design an in-cell touch GOA circuit that can be used on large-size high-resolution panels. The circuit is based on a-IGZO process and has good touch and display quality, and the high reliability of that is needed. In the early stage of

design, the materials and devices characteristics of a-IGZO has been researched. The comparative analysis between IGZO, a-Si and LTPS which is very popular in display manufacture has been made. This paper also makes sufficient research on the panel and touch technology to ensure that the design scheme is the future development direction of the display technology. Through the relevant literature, I have known the problem of the circuit to be developing, and have a better understanding of operation mechanism. In the second half of this paper, a GOA circuit with high robustness is introduced. A 27-inch UHD panel using this circuit is designed. We design the layout of this panel and a demo panel has been made. This panel has been lit and through the reality test. Then the design of in-cell touch GOA has been introduced, especially for two basic GOA circuits. After elaborates the advantages and disadvantages of two scheme, a new in-cell GOA circuit have been designed. The performance of this GOA is verified with Mentor simulation software. The in-cell touch panel with this GOA would have the good touch and display quality.

**Keywords:** Display Panel; a-IGZO; GOA; In-cell Touch;

## 缩略语表

AIT	Advanced In-cell Touch	内嵌式触控技术
a-Si: H	Hydrogenated Amorphous Silicon	氢化非晶硅
BCE	Back Channel Etch	背沟道蚀刻
BGBC	Bottom-gate Bottom-contact	底栅 底接触式
BTS	Bias Temperature Stress	偏置温度应力
CRT	Cathode Ray Tube	阴极射线管
ELA	Excimer Laser Annealing	准分子激光退火
ES	Etching Stop	蚀刻阻挡
FFS	Fringe-Field Switching	边缘电场开关
GDM	Gate Driver Monolithic	集成栅极驱动电路
GI	Gate Insulator	栅极绝缘层
GIP	Gate In Panel	集成栅极驱动电路
GOA	Gate Driver On Array	集成栅极驱动电路
HBDM	Horizontal Blank Driving Method	水平切换驱动方法
LFN	Low Frequency Noise	低频噪声
IGZO	Indium Gallium Zinc Oxide	铟镓锌氧化物
LTPS	Low Temperature Poly-Silicon	低温多晶硅
MBD	Molecular Beam Deposition	分子束沉积
NBTS	Negative Gate-bias Temperature Stress	负偏压温度应力
OLED	Organic Light-Emitting Diode	有机发光二极管
PBTS	Positive Gate-bias Temperature Stress	正栅偏压温度应力
PDP	Plasma Display Panel	等离子显示面板
UHD	Ultra High Definition	超高清
VBDM	Vertical blank driving method	垂直切换驱动方法
SS	Sub-threshold Swing	亚阈值摆幅
SVGA	Super Video Graphics Array	超级视频图形阵列
TCON	Timing Controller	时序控制电路
TDDM	The Time-division Driving Method	分时驱动法
TG	Top Gate	顶栅

## 目录

<b>第一章 绪论 . . . . .</b>	<b>1</b>
1. 1 选题的背景, 目的及研究意义 . . . . .	1
1. 2 面板集成栅极驱动电路发展趋势及国内外研究现状 . . . . .	2
1. 3 主要研究内容及设计指标 . . . . .	7
1. 4 本章小结 . . . . .	7
<b>第二章 a-IGZO 材料特性与集成栅极驱动电路的基本功能 . . . . .</b>	<b>8</b>
2. 1 LCD 大尺寸显示器驱动背板 . . . . .	8
2. 2 A-IGZO 材料 . . . . .	9
2. 2. 1 A-IGZO 材料简介 . . . . .	9
2. 2. 2 A-IGZO TFT 器件结构 . . . . .	10
2. 2. 3 A-IGZO TFT 的器件性质 . . . . .	10
2. 3 集成栅极驱动电路 . . . . .	16
2. 3. 1 电路模块 . . . . .	16
2. 3. 2 V <sub>th</sub> 补偿电路方案 . . . . .	17
2. 4 本章小结 . . . . .	19
<b>第三章 In-cell Touch 面板的集成栅极驱动电路 . . . . .</b>	<b>21</b>
3. 1 触控面板 . . . . .	21
3. 1. 1 触控面板发展历史和技术分类 . . . . .	21
3. 1. 2 In-cell 触控面板原理 . . . . .	23
3. 2 触控面板的集成栅极驱动电路 . . . . .	26
3. 3 本章小结 . . . . .	27
<b>第四章 面板集成栅极驱动电路的原理图设计与验证 . . . . .</b>	<b>29</b>
4. 1 一种基于 a-IGZO TFT 的 Robust 移位寄存器 . . . . .	29
4. 1. 1 a-IGZO TFT 的 Robust 移位寄存器电路图和工作原理 . . . . .	29
4. 1. 2 基于 a-IGZO TFT 的 Robust 移位寄存器的面板设计 . . . . .	33
4. 1. 3 基于 a-IGZO TFT 的 Robust 移位寄存器的面板样品测试 . . . . .	35
4. 2 In-cell Touch 移位寄存器 . . . . .	37
4. 2. 1 一种 HBDM 架构的 In-cell Touch 集成栅极驱动电路 . . . . .	37
4. 2. 2 一种 HBDM 架构的 In-cell Touch 集成栅极驱动电路验证与结果分析 . . . . .	39
4. 3 一种高可靠性通用 In-cell Touch 集成栅极驱动电路 . . . . .	43
4. 3. 1 高可靠性通用 In-cell Touch 集成栅极驱动电路原理图设计 . . . . .	43
4. 3. 2 采用高可靠性通用 In-cell Touch 集成栅极驱动电路的面板设计 . . . . .	45

## 目录

---

4.4 本章小结 .....	47
<b>第五章 总结与展望 .....</b>	<b>48</b>
致谢 .....	50
参考文献 .....	51

# 第一章 绪论

## 1.1 选题的背景，目的及研究意义

随着信息时代科技的进步，人们对信息的需求量不断的提高，显示技术作为人类接受信息最有效、最常用的载体，也随着人们对信息接收方式的需求的提升而改变。当今社会分工日益加深，各行业之间的专业差异也随着技术的进步而逐渐拉大。显示器的应用终端目前已经细致分为工业控制、医疗显示、车载显示、移动显示、民用计算机显示、虚拟现实显示和大尺寸影像显示。大尺寸显示器的功能主要是民用终端，技术的开发方向是超高清的视觉体验和流畅的高频率游戏运行画面，上述用户需求奠定了大尺寸面板开发需要解决极致显示效果和面板的高驱动能力带来的一系列困难。

从基本的面板技术来分类，显示器的发展是从黑白的阴极射线管（Cathode Ray Tube, CRT）开始的，后来又发展到了彩色 CRT, 随后等离子显示器（Plasma Display Panel , PDP）出现在了人们的视野中，但很快由于人们对像素分辨率的追求不断提升，液晶显示器逐渐占领了市场。有机发光二极管（Organic Light-Emitting Diode ,OLED）显示器是显示器的新的技术方向之一，除此之外正在开发中的次世代显示技术还有例如量子点显示技术和 Micro LED 显示技术。虽然这些新型显示技术拥有优秀的显示效果和革命性的显示模式，但是仍然受制于大批量生产的技术性问题，目前市场上主流显示器仍是液晶显示器。随着人们生活水平的提高，家庭用显示器的尺寸逐年增大，目前高端市场已经超过 65 英寸。同时，由于通信技术的发展，可传递的视频信号的数据量也成倍的增长，高分辨率的显示器需求例如 4K、8K 的需求逐渐变成市场的热点<sup>[1]</sup>。高清大尺寸面板的开发会遇到驱动力不足以及整面器件工艺均一性和光学均一性的问题。针对大尺寸高清面板的研究不但能够提升公司的产品竞争力，同时能够对当前行业内面板技术普遍存在的关键性问题有更深层次的理解。

液晶显示器在 90 年代以前以被动式背板驱动液晶偏转，90 年代中期以后以非晶硅 TFT 作为驱动原件的主动式液晶背板成为液晶显示器的主流。虽然非晶硅材料的工艺较简单，适合大量生产，但它的载流子迁移率很低，因此在对应大尺寸高分辨、高刷新率产品时明显驱动能力不足。1996 年 Sanyo 公司开启了以低温多晶硅（Low Temperature Poly-silicon, LTPS)材料的载流子迁移率远远大于非晶硅材料，从而在保证面板驱动能力的同时，提高了面板的开口率、解析度和显示品质。同时系统的集成度进一步提高，即原来需要依靠 IC 来驱动的部分电路能够集成到面板上。但是低温多晶硅技术不但工艺复杂，成本高昂，而且其是将非晶硅通过高温或者镭射的方法再结晶而成，高温工艺的效果和时间均达不到量产的需求，而镭射工艺的光斑区域较小，随着面

板尺寸的进一步提高，其生产效率和区域之间的膜质均匀性也成为了技术瓶颈，行业内目前仍然没有开发出能够应用于大尺寸显示器的 LTPS 技术<sup>[2]</sup>。2003 年日本东京工业大学教授细野秀雄（Hideo Hosono）在《科学》（Science）杂志上发表了有关单结晶铟镓锌氧化物(Indium Gallium Zinc Oxide, IGZO)的论文，在进一步的研究中他发现透明非结晶氧化物半导体 IGZO 具有可在均一性极佳的非结晶状态下实现不逊于结晶状态的电子迁移率特性，随后他将该发现成果刊登在《自然》（Nature）杂志上。

目前国内外各大面板都在争相开发 a-IGZO 材料，并且已经有应用在消费产品上的实际案例。IGZO 材料在保证了较高的载流子迁移率的情况下，能够通过较简单的工艺应用在实际量产中，推动了大尺寸高分辨面板的开发进程。目前 IGZO 材料的开发还处在起步阶段，其性能的提升还有很多空间，其性质还有待进一步的研究。

1965 年位于英国马尔文的皇家雷达研究院的 E.A. Johnson 发明了第一个手指式触摸屏。触摸屏是目前最简单、最自然的人机交互方法，应用于各个行业，它消除了专门用于输入信息的按键、鼠标等外置装置，开辟了人们与显示终端交流与控制的新模式。目前比较成熟的触控技术是在液晶面板的表面再增加一片专门用于触控感应的透明玻璃基板，其上采用透明电极材料制作传感器，这种早期的架构不仅增加了显示器的厚度，还要配套专门的贴附工艺和驱动 IC。In-cell 触控技术是一种显示屏整合式触控技术，最早由苹果公司提出并已经应用在其手机产品上。该技术利用液晶面板的原有工艺，将传感器集成在液晶盒内，在不影响显示效果的基础上增加触控功能。采用该技术的触控面板兼具轻薄和高清的优点。但是该技术将传感器集成到驱动背板上，一方面占用了面板原有的驱动和显示有效区域，另一方面在时序上需要做相应的配合，容易造成驱动不足，而且其传感器产生的电容耦合效应会影响液晶的驱动电场，从而造成显示不良。

## 1.2 面板集成栅极驱动电路发展趋势及国内外研究现状

TFT-LCD 面板的驱动系统包括对 Data 线的驱动和对 Gate 线的驱动。从系统控制电路上区分包括时序控制电路（Timing controller, TCON），扫描线驱动电路（Scan driver），数据线驱动电路（data driver），电压源转换电路，Gamma 矫正电路，如图 1 所示。上述驱动电路分布在 TCON PCB 板、Source Driver IC 和 Gate Driver IC 之中，通过与扫描线和数据线一一对应的显示区以外的布线连接到端子（Bonding Pad），再通过 Bonding 工艺与上述驱动电路连接。为了使布线在符合曝光机和工艺的能力情况下连接到端子，在端子与显示区域之间需要预留一定的空

间，这个空间是影响显示器边框的主要因素。在面板集成栅极驱动电路技术出现之前，主要采用增加驱动 IC 数量的方法来减小边框，但是面板的成本会相应增加。

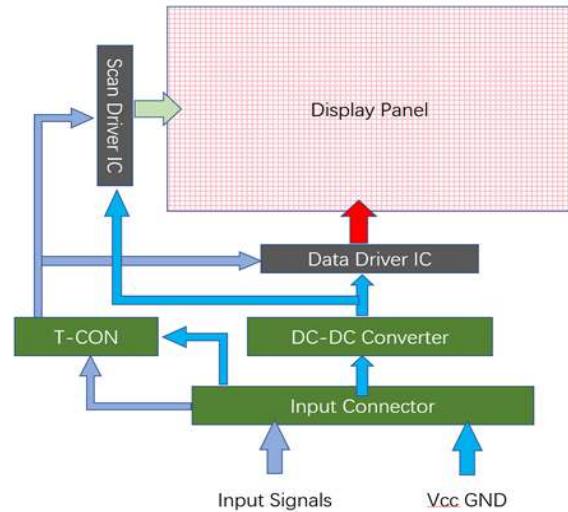


图 1 TFT 显示面板驱动架构

其中行扫描信号驱动电路架构如图 2 所示，包括移位寄存器、逻辑单元、电位转移器、缓冲放大器和防静电单元。其中逻辑单元负责对栅极驱动信号进行逻辑运算，实现预充电、提前关闭信号等功能，从而调整像素充放电的状态。电位转移器将数字电路的逻辑信号转换成像素 TFT 所需要的模拟电压  $V_{gh}$  和  $V_{gl}$ 。缓冲放大器用于放大信号增加驱动能力。移位寄存器通过输入的时钟信号  $V_{Clock}$  和扫描同步信号  $V_{Sync}$  周而复始的逐条开启（关闭）行扫描线，保证数据信号在规定时间内正确均匀的写入像素单元<sup>[3]</sup>。

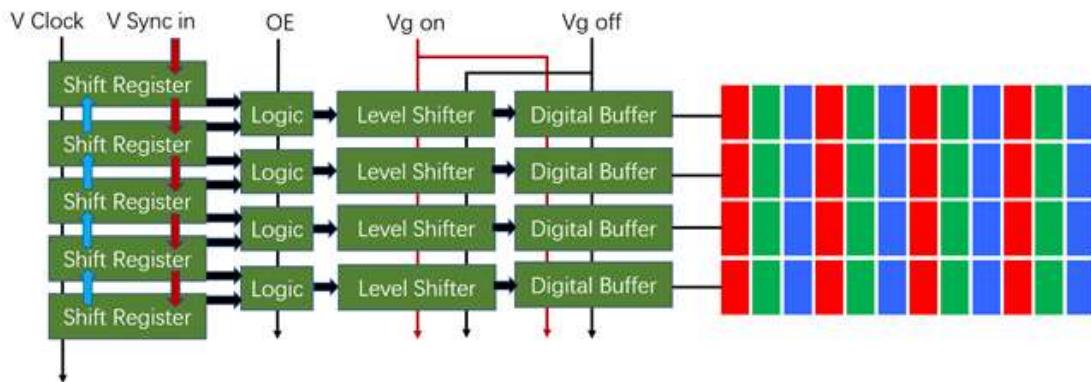


图 2 扫描信号驱动电路架构

随着面板集成栅极驱动电路的开发，与面板工艺兼容的模拟移位寄存器代替了 Gate Driving IC 的功能，运用面板集成栅极驱动电路能够进一步缩短边框，同时减少了 Gate Driving IC 和 Bonding 工艺的成本。早期的面板集成栅极驱动电路的开发是基于 a-Si: H TFT 工艺，受限于 a-Si 较低的驱动能力，a-Si 驱动电路的规模较小，否则会占用更多的空间。从 1998 年开始，很多公司已经成功将 a-Si 集成栅极驱动电路运用到量产的小尺寸 TFT-LCD 产品中。除了上述的 a-Si 驱动能力不足的问题，a-Si: H TFT 的应力和操作温度的限制同样严重的影响了对应的栅极集成驱动电路的应用，特别是在大尺寸显示面板上，集成栅极驱动电路技术至今仍然没有普及。针对不同的技术来源，集成栅极驱动电路有多个不同的名称，主要的有 GOA (Gate Driver on Array)、GIP(Gate In Panel)、ASG(Amorphous Silicon Gate)、GDM(Gate Driver Monolithic)。

如图 3 所示是最初的一个单级集成栅极驱动电路模型，它由 4 个 a-Si: H TFT 和 1 个电容组成。TFT1 用来上拉本级的扫描线电位，使对应的像素驱动 TFT 打开，确保像素充电电流足够大。TFT2 和 TFT3 的栅极分别连接到 Vss 和下一级的扫描线，在下一级栅极驱动电路输出高电平的同时，将本级的电容和扫描线复位。TFT4 用来给本级的电容充电，确保输出的栅极驱动波形满足像素的充电需求。

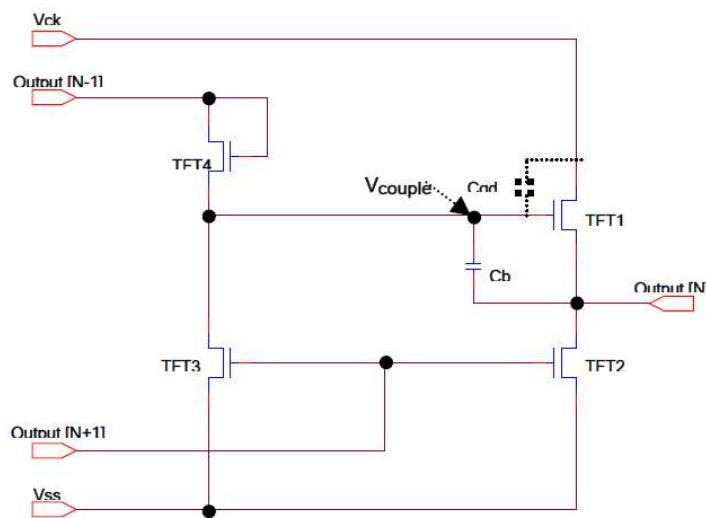


图 3 最早的集成栅极驱动电路模型

简单的 4T1C 电路容易受到其他信号的串扰影响，而提升电路的稳定性与充电能力是一对矛盾的因素，大尺寸高分辨率面板需要更高的功率消耗，因此简单的驱动电路无法应用在大尺寸面板上。针对这个问题，1993 年 Thomson 公司提出了一种集成栅极驱动电路如图 4 所示<sup>[4][5]</sup>。该电路采用 6 个 TFT，输入 3 个时钟信号，一个 VDD 和 VSS 电位以及一个级传信号。但是由于维持电位的 TFT 的  $V_{th\ shift}$  比控制输出栅极驱动信号大小的 TFT 更大，导致该电路无法维持长时间工作。

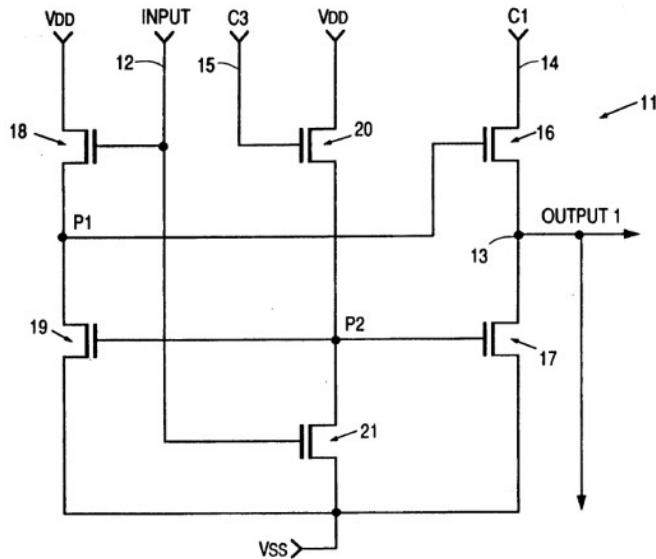


图 4 Thomas 公司提出的栅极驱动电路

从 1993 年之后，陆续有关于集成栅极驱动电路的文献发表，由于 a-Si 材料较低的载流子迁移率，非自对准结构 TFT 不稳定的寄生电容以及无法制作 PMOS 等问题，导致在 a-Si 工艺的驱动背板上集成驱动电路变得非常困难。针对上述问题 Sarnoff 公司通过研究开发了一款用集成栅极驱动电路驱动的 8.4 英寸 SVGA(Super Video Graphics Array, 800xRGBx600 分辨率)显示器，并在 1998 年发表论文介绍了该电路的设计。该电路版图长度为 3.85mm，间隔宽度为 202um<sup>[6]</sup>，通过设计反馈补偿电路的方法延长电路寿命。

LG 公司在 2003 年的 SID 上发表了基于低温多晶硅 (low temperature poly-Si, LTPS) 技术的栅极全集成驱动电路，运用该电路成功驱动 3.5 英寸 QVGA (320xRGBx240) LCD。该集成栅极驱动电路包括电位移 (the level shift)，移位寄存器 (shift register)，数模转换器 (digital-analog converter)<sup>[7]</sup>。并且能够通过 level shift 控制栅极的双向扫描。

三星公司在 2004 年的 SID 上报道了 QVGA(240 x RGB x 320)a-Si TFT-LCD 的集成栅极驱动电路。三星从此开始大量生产采用集成栅极驱动电路的 14.1 英寸的 XGA 面板。集成栅极驱动电路技术发展的越来越成熟，但是该技术只能运用在中小尺寸面板上。2008 年三星公司在 SID 上发表了用于大尺寸 LCD 的栅极驱动电路。通过这个架构的驱动电路实现了 32 寸 HD(1280 x RGB x 720)，40 寸 HD，46 寸 FHD(1920 x RGB x 1080) 的显示器，并且通过预充电等方法成功的驱动了 120Hz 的面板<sup>[8][9]</sup>。

2009年的SID上，AUO发表了用于15英寸LCD面板的集成栅极驱动电路<sup>[10]</sup>。a-Si技术由于其非常低的载流子迁移率，导致使用a-Si TFT设计的栅极驱动电路体积很大。该电路采用减小clock占空比的方法来简化a-Si栅极驱动电路。

群创公司在2010年的SID上报道了一种单边驱动架构的a-Si栅极驱动电路<sup>[11]</sup>，该电路分技术行和偶数行，用左右集成栅极驱动电路分别驱动，采用这样的架构电路的时钟频率降为原来的一半，而且版图空间是原来的两倍，以此来提高电路的驱动能力。

Takeshi Osada等人在2010年的SID上发表了基于IGZO的集成栅极驱动电路。文中首先介绍了底栅底接触式(bottom-gate bottom-contact, BGBC)结构的IGZO TFT的制造工艺，随后介绍了采用这种TFT设计的一个10T的移位寄存器，他们采用上述背板技术制造的一款4英寸的LCD面板<sup>[12]</sup>。采用IGZO作为集成栅极驱动电路的材料，不仅能够降低LTPS材料高昂的制造成本，并且能够得到远高于a-Si的驱动能力。

在2015的SID上，来自台湾的Chih-Lung Lin等人提出了一种采用增强型或者耗尽型的IGZO TFT的集成栅极驱动电路。该电路采用33%的占空比和交流驱动波形，消除了行扫描线的浮接状态，降低了IGZO TFT的正向V<sub>th</sub>偏移，从而提高了电路的寿命，使得长时间运行状态下电路能够维持其初始状态的驱动能力<sup>[13]</sup>。

北京大学电气和计算机工程学院在2016年的SID上提出了一种低功耗的集成栅极驱动电路，该电路采用ESL结构的a-IGZO TFT。ESL结构的IGZO TFT性质更加稳定，但是同时也带来较大的耦合电容，进一步会由于耦合效应造成像素漏电。论文提出了采用两种不同电压值的V<sub>SS</sub>电压的架构以及一种新的反相器结构来保证关键位置的TFT在不工作时保持完全关闭，以减少漏电流<sup>[14]</sup>。最终既保证了电路的稳定性，也降低了GOA电路的动态功耗。

在2017年的SID上，LG公司提出了一种a-Si集成栅极驱动电路来驱动盒内集成触控面板(In-cell Touch)<sup>[15]</sup>。由于In-cell Touch面板将触控传感器集成到液晶盒内的阵列基板上，因此需要增加额外的检测时序。为了避免触控模块影响到显示画面，该电路将一帧的时间分成显示周期和触控周期两个部分。经过研究显示，早期的架构由于在触控周期的电路维持点漏电现象严重，从而造成该级电路输出的行扫描信号的延迟较大，在面板显示时出现水平暗线，该方案能够有效改善这个问题。采用该电路，LG成功制作了12.5英寸FHD显示器。

根据对上述国内外的研究成果的分析，发现针对a-Si和LTPS的GOA电路开发已经比较成熟。但是由于IGZO材料在近几年才开始研究，并且成功量产的案例较少，因此基于IGZO材料的集成栅极驱动电路仍然处于开发阶段。针对In-cell Touch显示器，由于其驱动背板不论在工艺还是设计上，复杂度较普通显示器明显

增加，由此造成功能性问题和良率问题目前尚没有较好的对策，因此同时兼容 In-cell Touch 功能的 IGZO 栅极驱动电路案例较少。

### 1.3 主要研究内容及设计指标

随着消费类市场对产品的要求不断提高，大尺、超高清、窄边框已然成为 TV 和 Monitor 类显示器的技术发展趋势；再有，随着片上系统集成度的不断提高，将触控功能集成到面板显示电路内也是未来的消费和技术走向。为了达成如上所述的技术指标，从行业现况来看，IGZO 是最适合的材料。

本课题的研究内容是基于 IGZO 工艺，开发出一款集成栅极驱动电路，运用该电路设计并大尺寸超高清的显示面板，该显示面板有较高的信赖性，并且能够兼容 In-cell 触控功能。本文首先针对 IGZO-TFT 的特性做深层次的分析和研究，总结比较 a-IGZO、a-Si 以及 LTPS 三种材料之间的优缺点。根据 IGZO-TFT 的分析结论，开发一款能够驱动大尺寸超高清的显示器的 GOA 电路。

在第三章，本文将针对 In-cell Touch 技术做专门的说明。In-cell Touch 技术是近几年才兴起的一类触控技术，由于该技术对显示器的驱动电路能力有更高的要求，同时又会影响显示画质，因此真正用于量产的案例非常少见，目前只有在苹果公司的极个别型号的手机产品上才能发现此类技术的实际应用，而针对中大尺寸领域，In-cell Touch 技术更为罕见。本文将针对 In-cell Touch 技术的难点做细致的分析和介绍，并针对问题提出对应的解决方案，优化 GOA 电路设计，使之能够驱动兼容 In-cell 触控功能的大尺寸超高清显示面板。

本文将根据上述的 GOA 电路，设计一款超高清触控显示器。设计过程中运用仿真软件，模型萃取软件，版图软件以及设计规则检查（Design rule checking, DRC）软件做辅助设计。最后将设计图纸制版，再流片验证 GOA 电路的可行性，并通过信赖性测试程序来验证 GOA 电路的鲁棒性。

### 1.4 本章小结

本章介绍了选题的背景和意义，针对课题的核心内容，介绍了国内外的研究历史和现状，针对课题将遇到的设计难点做了简单的概述，对涉及的基本专业知识做了一个大概的梳理，最后根据行业发展的现况提出了课题的设计目标和检验方法

## 第二章 A-IGZO 材料特性与集成栅极驱动电路的基本功能

a-IGZO 材料是继 a-Si 和 LTPS 之后第三代显示器背板驱动材料，得益于其较高的开关电流比、简单的工艺和较高的均一性，使得采用 a-IGZO 作为驱动背板的显示器能够克服 a-Si 和 LTPS 驱动背板的缺点，面板技术得到更进一步的发展，尤其是在大尺寸显示器的应用上，a-IGZO 材料显示出了其明显的优势。本章首先对大尺寸 LCD 显示器背板做了简单的介绍，然后对 a-IGZO 材料做了详细的介绍，对其特性做了详细的分析，并采用 ES 和 BCE 两种 a-IGZO 材料工艺设计器件，根据样品器件的测试结果对比分析了两类器件的特性。最后对集成栅极驱动电路的基本原理和架构做了介绍，结合 a-IGZO 材料的特点对采用该材料设计集成栅极驱动电路需要注意的问题做了说明。

### 2.1 LCD 大尺寸显示器背板

到今天，TFT LCD 显示器的开发方向伴随着消费需求的发展，在技术方向上大致分为军用、民用和工业控制三个方向。在民用的技术方向上主要分成小尺寸、中尺寸和大尺寸面板。其中小尺寸主要面向移动终端显示器，例如手机、便携游戏平台、可穿戴显示器，此类显示器需要直接面对消费者迅速增长的时尚和便利需求，特别是在信息爆炸的时代，此类显示器极度考验开发周期和投入市场的及时性，客制化程度非常高。中尺寸面板主要针对笔记本和 Monitor，灵活性、重量、厚度与功耗是对应消费市场主要关注的技术参数。大尺寸面板主要针对 TV 市场，自从 LCD 显示器开发以来，LCD 面板的演变过程一直是以尺寸的变大为主线。2005 年全球显示器市场以 20 英寸以下为主，而当今的 TV 市场 32 英寸面板已经退出了主流的队列，最大尺寸的显示器已经超过 100 英寸。超高清（Ultra high definition, UHD）和 8K 技术成为了目前 TV 技术的发展方向，据相关报道称，以 2020 年东京奥运会为契机，市场将导入该技术的广播信号。

由于大尺寸 TV 显示器要面对更多视觉体验需求的考验，因此要求更高的亮度、对比度和帧频率，更快的响应时间，更大的视角以及更好的色彩饱和度。作为大尺寸 TV 的 TFT 驱动背板，在基板尺寸增大和各项指标要求提高的情况下，主要会遇到三类问题。首先是 RC 负载随尺寸和分辨率的提高成指数率增长，需要更高驱动力的 TFT 器件和驱动电路；其次是 TFT 器件制造工艺的均匀性，更大尺寸的面板和更高的分辨率不断压缩设计余量；然后更高的帧频和驱动电压将考验 TFT 器件的信赖性。

## 2. 2 A-IGZO 材料

### 2. 2. 1 A-IGZO 材料简介

1972 年, T. P. Broay 等人提出 a-Si:H TFT-LCD 的构想, TFT 采用氢化非晶硅 (Hydrogenated Amorphous Silicon, a-Si:H) 作为有源层<sup>[1]</sup>, 通过在本征半导体中掺杂施主杂质或者受主杂质来形成 n 型或者 p 型半导体, 然后在 H<sub>2</sub> 环境下热处理来消除 GI (Gate Insulator) 层的缺陷, 经过氢钝化的过程来提高载流子的迁移率。经过几十年的发展, 人们针对 a-Si TFT 的研究已经克服了很多技术难点, 作为当前 TFT-LCD 的主流技术, 不论在制造成本还是工艺的均匀性上, a-Si TFT 均有非常成熟的优势。但是由于 a-Si 材料的载流子迁移率较低, 因此在大尺寸超高分辨率的面板上无法提供足够的驱动力。

1981 年 Hitachi 发表第一个以分子束沉积 (MBD, Molecular Beam Deposition) 的低温多晶硅薄膜晶体管。1996 年 Sanyo 公司率先将小型低温多晶硅面板投入量产。制备的方法首先以连续沉积的方式生长氮化硅和非晶硅薄膜, 然后过高温环境去除氢, 再以镭射结晶的方式把非晶硅转换成多晶硅。LTPS 的载流子迁移率大于 50cm<sup>2</sup>/V·sec, 驱动能力是 a-Si 的几十倍乃至更高。但是由于 LTPS 的晶粒内部与晶粒之间存在缺陷, 造成局部区域 TFT 的载流子迁移率和阈值电压不均匀, 同时由于结晶制程中的准分子激光退火 (Excimer Laser Annealing, ELA) 的激光束有尺寸的限制, 上述两个问题导致其在大寸显示器驱动背板上无法进行批量生产。同时 LTPS 材料由于漏电流较高, 在使用过程中功耗较高<sup>[2]</sup>。

氧化物 TFT 是新一代的驱动材料, 最早由日本细野秀雄教授于 1995 年发表。相关的材料有 ZnO, MgZnO, ZnSnO, InZnO, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, InSnO, InGaZnO 等等。2003 年, 细野秀雄教授在《科学》(Science) 杂志上发表了有关单结晶 IGZO 的论文。当时的电子迁移率达到了 100cm<sup>2</sup>/Vs。为了开发出随意转换成导体和绝缘体的非晶材料, 通过掺杂 Ga 后形成的 a-IGZO 材料能够满足这个要求, 并且载流子迁移率高达 10cm<sup>2</sup>/Vs。a-IGZO 材料兼容了 a-Si 和 LTPS 的优势, 对于使用 IGZO TFT 的高分辨率面板, 在与 a-Si 相同充电率下对比, 像素开口率可提升 15% 以上, 另外 IGZO TFT 极低的漏电流 ( $\leq 10^{-14}$ A), 在节省功耗的同时能够改善面板纵向串扰。表 1 为三种 TFT 特性差异。

表 1 IGZO TFT, a-Si TFT 及 LTPS TFT 特性对比

	IGZO TFT	a-Si TFT	LTPS
Band gap	3.5eV	1.7eV	1.03eV
Mobility	$\approx 2\sim 50 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$	$\approx 0.1\sim 1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$	$50\sim 200 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$
Switching ratio	$\geq 2 \times 10^7$	$\geq 4 \times 10^6$	$\geq 1.05 \times 10^6$
I <sub>off</sub>	低	低	高
制程难度	一般 (7-8Mask)	易 (5-6Mask)	复杂 (9Mask 以上)

### 2.2.2 A-IGZO TFT 器件结构

a-IGZO TFT 主要有三种结构，分别是蚀刻阻挡型（Etching Stop, ES）、背沟道蚀刻型（Back Channel Etch, BCE）和顶栅型(Top Gate,TG)，如图 5 所示。以 ES 型的 TFT 为例说明 IGZO 器件的制造工艺。首先在 SiO<sub>2</sub> 基板上用物理气相沉积的方法形成整面的金属薄膜，在其上利用旋转涂敷或者狭缝涂敷的原理覆盖光刻胶，通过曝光机定义出对应的 Gate 图形位置区域，再通过湿蚀刻的方法把裸露在光刻胶以外的金属薄膜蚀刻成栅极走线，最后再将剩余的光刻胶去除掉。后续依次按照上述的方法经过清洗、镀膜、光刻、蚀刻和剥离工艺完成每一层的堆叠，区别在于非金属材料成膜采用化学气相沉积，蚀刻采用等离子体干刻，对应不同的材料采用具体的蚀刻药剂不同。由于 IGZO 材料是金属氧化物，最早的 IGZO 结构是 ES 型的 TFT 结构，原因在于最初的 IGZO 材料在经过 SD 层成型的过程中的蚀刻制程时，由于其本身为金属氧化物，沟道处裸露的 IGZO 会与蚀刻药剂发生反应，从而影响 TFT 的沟道性质。因此在 IGZO 沟道上方增加一层 SiO<sub>2</sub> 绝缘层来隔绝沟道蚀刻药剂，保护 IGZO 层。

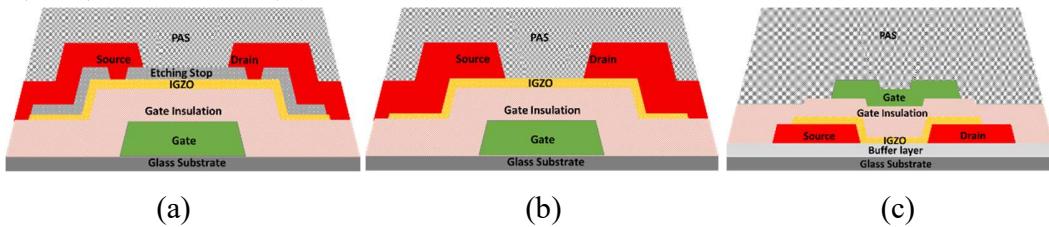


图 5 IGZO TFT 器件结构示意图。(a)ES 型; (b)BCE 型; (c)TG 型

通过对 IGZO 靶材的耐腐蚀性的改进，以及对 SD 蚀刻工艺的改良，后来开发出了 BCE 结构的 IGZO TFT，由于减少了 ES 层与其他层间的对位精度和线宽精度的限制，因此 BCE 结构的 TFT 在同样的沟道宽长比的情况下器件尺寸做的更小。TG 结构的 TFT 可以将栅极与源漏极间的重叠面积做到很小，有一种自对准共面 TG 结构的 TFT 可以做到没有重叠面积。同时 TG 结构的 TFT 的 IGZO 层在制造过程中受到的损伤较小。

### 2.2.3 A-IGZO TFT 器件性质

为了设计出优良的 GOA 电路，首先需要充分了解组成 GOA 电路的器件特性。因此在开发 GOA 电路之前设计了不同沟道 W 和 L 值，不同结构的 ES 型和 BCE 的 a-IGZO TFT 来测试和分析 a-IGZO 的特性，并在 Gen 4.5 工艺线上采用 ES 和 BCE 工艺做出相应的测试器件。用 Keysight 源表 B2912A 对流片的样品进行了测试。

#### (1) 转移特性和输出特性曲线

取 ES 型工艺流片样品上就近两个位置处的测试器件确认转移特性曲线和输出特性曲线。为了确保 IGZO 层与 SD 层的接触良好，设计 ES 层开孔的区域小于 OS 和 SD 层的最小重叠区并预留足够的工艺偏差距离。通过图 6 的显微镜图片量测各层图形的尺寸与设计值对比确定流片结果和设计值一致。以 ES 开孔之间的距离作为沟道长度确认量测得到的转移特性曲线和输出特性曲线如图 7 所示。图 7 中红色曲线为上述  $L=8.0\text{um}$  的测试器件，蓝色曲线为上述  $L=8.2\text{um}$  的测试器件。测试条件  $V_{gs}=25\text{V}, V_{ds}=10\text{V}$  时  $I_{on}$  超过  $10^{-5}\text{uA}$ ，扣掉仪器的漏电流之后  $I_{off}$  约  $10^{-12}\sim10^{-13}\text{uA}$ ，开关电流比达  $10^7\sim10^8$ ，与前面所述相较 a-Si 和 LTPS 的优势结论相符合。两个测试器件的亚阈值摆幅（Sub-threshold Swing, SS）在 0.4 左右。

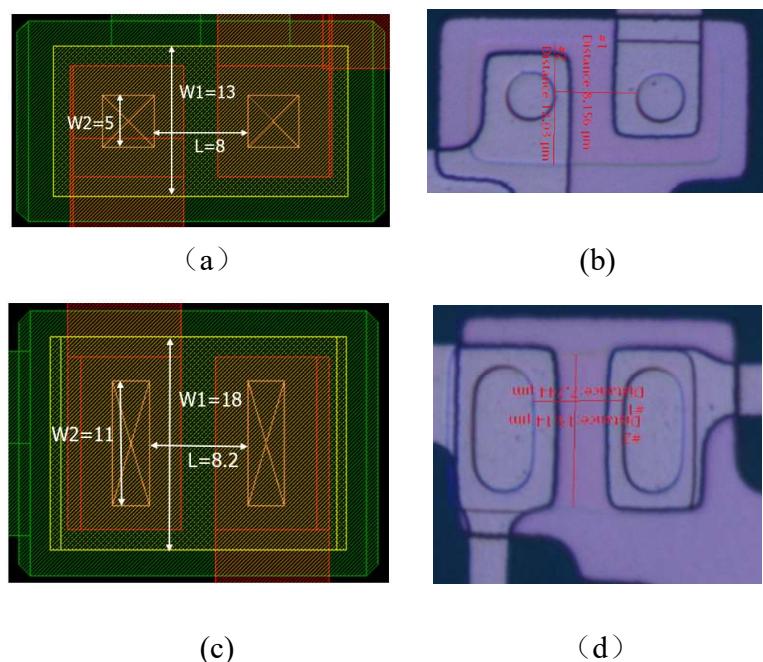


图 6 (a)(c) 为两种不同 W 和 L 设计值的 ES 型 IGZO TFT 器件版图，(b)(d) 为对应(a)(c)的实际流片样品的显微镜照片

根据相关文献的研究结果显示，ES 型的器件其电流的通路并不是从 Drain 的 ES 孔平行流向 Source 的 ES 开孔，而实际的沟道宽度由于边际电场的影响略大于 ES 的开孔。图 7 中所示的两个 TFT 的位置在版图上相邻，因此栅极绝缘层和 IGZO 等各层的厚度、环境等工艺条件应当非常接近，排除沟道尺寸的差异之后，两个器件的电流值应当一致。图 7 (c) 为以 ES 开孔的宽度作为沟道宽度，用电流公式除以  $W/L$  后得出的归一化转移特性曲线，可以观察到  $L=8.2$  的器件归一化电流值小于  $L=8.0$  的器件的归一化电流值；图 7 (d) 为以 IGZO 的宽度作为沟道宽度，用电流公式除以  $W/L$  后得出的归一化转移特性曲线，可以观察到  $L=8.2$  的器件归一化电流值大于  $L=8.0$  的器件的归一化电流值。结果进一步验证了前述实际沟道宽度的相

关文献研究结果。图 7 (c) 中两个 TFT 的电流值相比 (d) 更接近, 由此推测实际沟道宽度应当略大于 ES 的开孔尺寸。根据上述内容修正沟道宽度, 当沟道宽度修正为 ES 开孔外延 1.5um 的时候, 两个 TFT 的归一化 IV 曲线最接近, 此时根据饱和区的电流公式计算得到 IGZO 的载流子迁移率约  $10 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。本文后续章节以此为根据设计 GOA 电路的 TFT 尺寸。

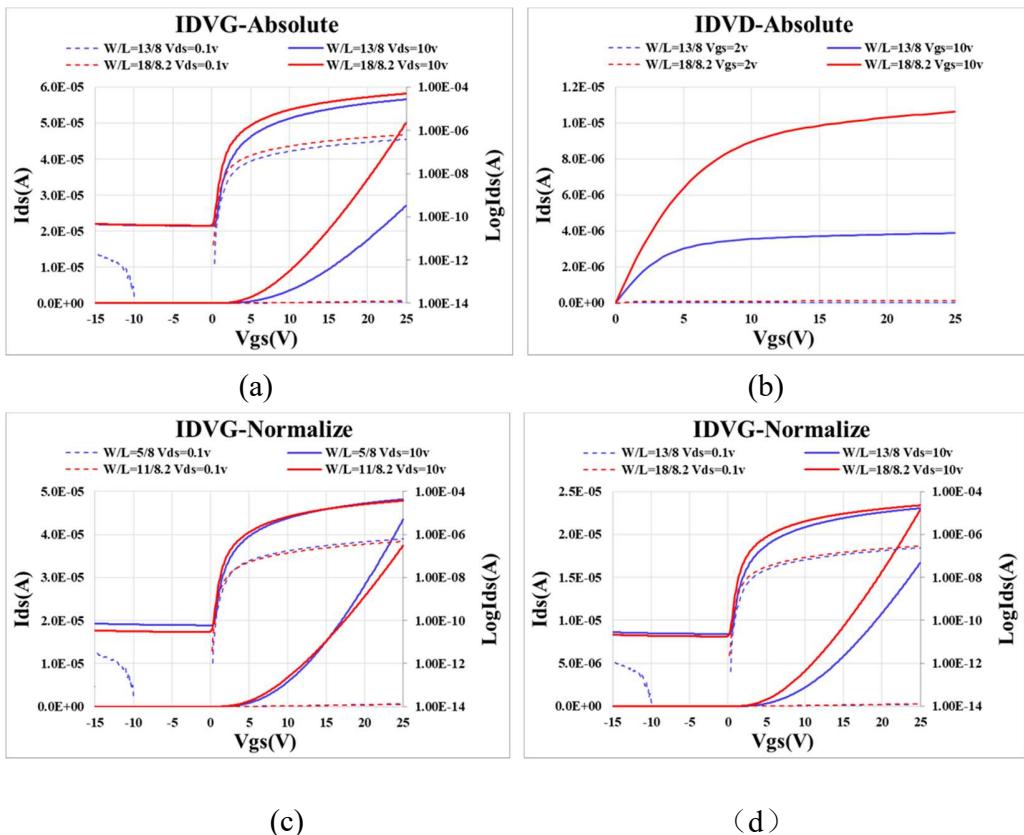


图 7 (a)(b) 为两种不同  $\text{W}/\text{L}$  的 ES 型 IGZO TFT 器件的转移特性曲线和输出特性曲线, (c)(d) 为对根据不同  $\text{W}/\text{L}$  做归一化之后的转移特性曲线对比。

BCE 结构的 IGZO TFT 由于不存在蚀刻阻挡层的通孔, 因此沟道的宽度和长度完全由半导体层和 SD 层金属的接触范围决定, 因此不存在由于电场边界效应造成的影响。据此对量测出的转移特性曲线进行计算, 得到载流子迁移率约  $10 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , 结果与 ES 结构的 IGZO TFT 的载流子迁移率相近。根据图 8 所示, 将测试样品的转移特性曲线除以  $\text{W}/\text{L}$  做归一化, 对比 BCE 和 ES 结构的 IGZO TFT, 发现两种结构的开态电流、漏电流的最大值以及载流子迁移率均在同一水准, 差别在 BCE 的 SS 较差。

为确认两种 TFT 的信赖性差异, 在  $60^\circ\text{C}$  的条件下同时对两种 TFT 施加正电压 Stress(Positive gate-bias temperature stress, PBTS), 观察 I-V 特性的变化差异。

如图 8(c)所示, 施加 PBTS 7200 秒以后, 两种 TFT 的阈值电压偏移约 0.4V, 水平相当。

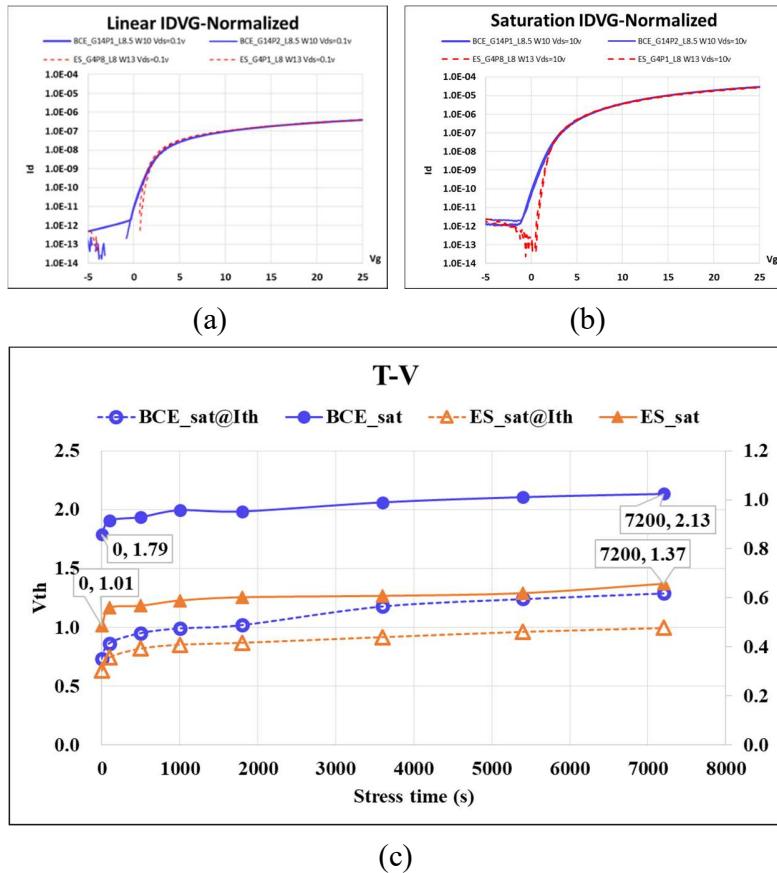


图 8 (a) $V_{ds}=0.1V, V_{gs}=-5\sim25V$  时, ES 和 BCE 型 IGZO TFT 器件的转移特性曲线,  
(b) $V_{ds}=10V, V_{gs}=-5\sim25V$  时, ES 和 BCE 型 IGZO TFT 器件的转移特性曲线,  
(c)两种工艺器件在 7200 小时的 PBTS 下,  $V_{th}$  偏移情况

## (2) 开态电阻

对 BCE 型的样品选取  $W/L=75\mu m/8.5\mu m$  和  $W/L=75\mu m/16\mu m$  两种 TFT 量测输出特性曲线, 同时对 ES 型的样品选取  $W/L=5.5\mu m/8.5\mu m$  和  $W/L=13.5\mu m/8.0\mu m$  两种 TFT 量测输出特性曲线, 并分析比较两种工艺器件之间的特性差异。图 9 为两种工艺器件的量测分析结果, 从归一化的电流来看, ES 型 TFT 的电流大于 BCE 型的 TFT 电流。

图 9(a)所示为  $V_{gs}=10V, V_{ds}=0\sim25V$  条件下, 两种工艺器件的归一化输出特性曲线, 其中红色和蓝色的实线为不同  $L$  的 BCE 型 TFT 的转移特性曲线, 虚线为反接 Source 和 Drain 后的量测数据, 结果显示对称式设计的 TFT 的输出特性没有明显的差异。对比红色和蓝色曲线, 发现  $L=16\mu m$  的 BCE 型 TFT 在饱和区随  $V_{ds}$  的上

升，电流上翘程度较小。对比绿色和淡蓝色曲线，发现 ES 型 TFT 有同样的现象，沟道较长的器件的饱和区的电流上翘程度较小，即沟道调制效应。

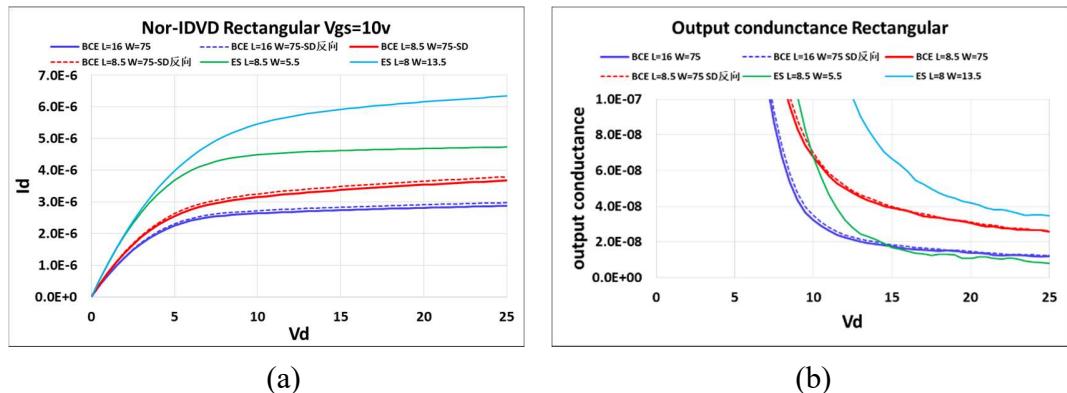


图 9 ES 型 TFT 和 BCE 型 TFT 的输出特性曲线与开态电阻

为进一步分析两种工艺器件的细节差异，从 IV 曲线提取输出电阻对比如图 9(b) 所示。其中淡蓝色 L 为 8um 的 ES 型 TFT 的开态电阻最大，即影响 ES 和 BCE 型的 TFT 的开态电阻的主要因素为沟道调制效应。但是同样是 L=8.5um 的 ES 与 BCE TFT 对比，ES 型 TFT 的输出电阻更小。

### (3) 器件低频噪声(LFN)分析

由于 BCE 工艺比 ES 工艺少一道工序，因此 BCE 工艺不论在流程的复杂度或者成本上都优于 ES 工艺；同时又因为 BCE 型 TFT 不用考虑 ES 层与 IGZO 和 SD 层之间的套合精度和线宽偏差，因此 BCE 型 TFT 的尺寸可以做的更小，沟道长度可以更窄。但是由于 BCE 型 TFT 的沟道是裸露的，容易受到后续制程中干蚀刻工艺的等离子体的轰击或者湿蚀刻工艺的强酸或者强碱的腐蚀，从而造成沟道表面的损伤，导致增加沟道内部和界面处的缺陷增加，最终影响到器件的电气特性。

为了了解材料和器件的质量和寿命，确定其对应的退化机制，传统的评价方法是通过对器件施加长时间的高温、高湿、偏压以及光照等条件，观察器件的特性变化。传统的信赖性测试要耗费大量的时间，并且对器件会造成不可恢复的损伤。另外传统的评价方法只能反应材料和器件的某一方面的退化机制，无法全面的和根本性的解释其对应的性能。从 1960 年开始，器件的低频噪声分析（Low Frequency Noise, LFN）开始运用在材料和电子器件的质量分析中。通过 LFN 理论，辐射、热电子、介电崩溃、电子迁移率以及老化，几乎所有的退化和失效机制都能够得到评估。电子器件之中总体分两种类别的电子噪声，一种是内在的本质噪声，另一种是外部噪声。内部噪声来源于载流子的热运动或者电子的散射，对我们研究器件的质量没有作用。外部噪声的来源是材料的缺陷，缺陷与载流子之间的相互作用产生了外部噪声，并且随着器件的退化，缺陷的数量也会发生改变。研究表明，某些特定类型的缺陷反应了器件的失效机制。在各类外部噪声中， $1/f$

噪声是最容易观察到的一类噪声。 $1/f$  噪声(又称为闪烁噪声)指半导体器件中功率谱密度与频率成反比的随机涨落现象,其可敏感地反映半导体材料与器件的潜在缺陷,当电流流过器件的时候,就能够观察到  $1/f$  噪声<sup>[17]</sup>。McWhorter 模型和 Hooge 经验方程是目前关于  $1/f$  噪声起源的两种主要解释, McWhorter 把  $1/f$  噪声归因于器件的沟道和绝缘层的表面效应, Hooge 和 Hoppenbrouwers 认为  $1/f$  噪声归因于沟道体效应,经验方程如公式(1)。

$$\frac{SID}{I_D^2} = \frac{\alpha_H q}{fWLCOx(Vgs - )} \quad (1)$$

通过实验室自己搭建的 LFN 测试平台量测 ES 和 BCE 型 TFT 的 LFN 数据,并通过数据拟合发现数据与 Hooge 经验方程吻合。因此根据 Hooge 经验方程对目标器件进行分析。如图 10 所示为量测样品沟道电流的 LFN 功率谱密度与电流归一化噪声功率谱密度。分析结果显示 BCE 型 TFT 的 LFN 功率谱密度要高于 ES 型 TFT,BCE 型 TFT 的 Hooge alpha 品质因子比 ES 型 TFT 大了约 10 倍。

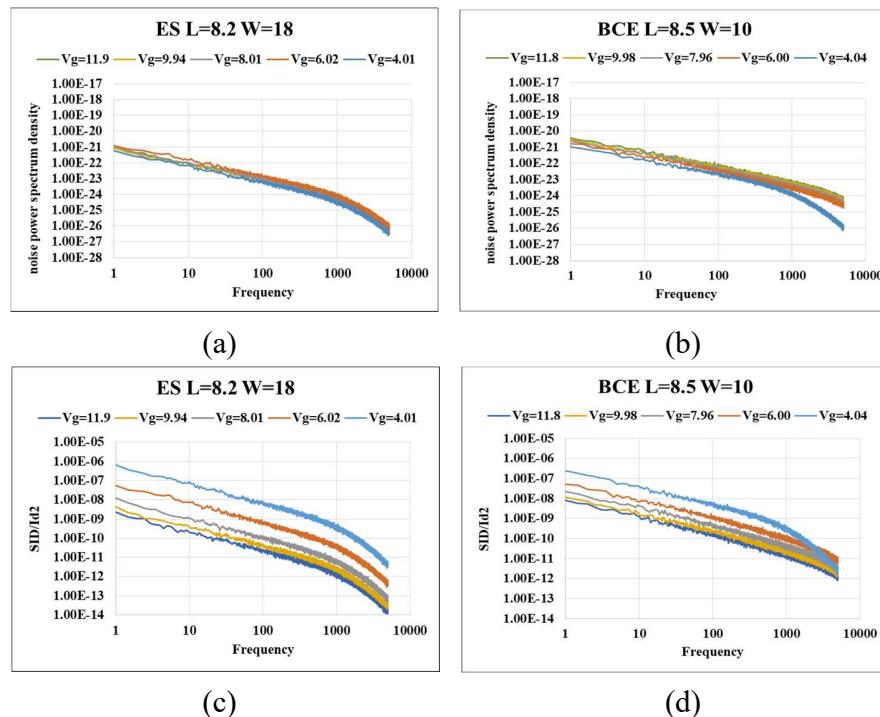


图 10 ES 型 TFT 和 BCE 型 TFT 的 LFN 功率谱密度与电流归一化噪声功率谱密度

综上所述, BCE 型 TFT 和 ES 型 TFT 的差异主要在于沟道缺陷,在不考虑整体电路的尺寸的情况下,选择 ES 型 TFT 作为基本元件的驱动电路会有更佳的稳定性。

## 2.3 集成栅极驱动电路

### 2.3.1 电路基本模块与存在的问题

由于现有面板制造技术，无论是在半导体材料的驱动能力或者工艺的集成度上，其与 IC 的半导体材料单晶硅相比还有较大的差距，因此目前实现的集成栅极驱动电路主要是将 IC 中移位寄存器的功能转移到面板上。然而在面板上还无法实现高速的数字信号传输，也无法实现数字信号到模拟信号的转换，因此 IC 先将数字信号转换成模拟电平，再传输给面板 GOA 电路，由 GOA 电路产生移位模拟信号，而在 GOA 的电路中处理的全部为模拟信号。

GOA 电路经过多年研究，现已经优化形成了较为统一的模型，大部分的 GOA 电路主要分为以下几个功能模块。预充电模块，用于对电路中的存储电容进行预充电，设计储存电容的作用是为了为本级的栅极驱动信号有稳定的输出。上拉控制模块，用于提高输出栅极驱动信号的 TFT 的驱动能力，以及作为提供给栅极驱动信号的电源，部分 GOA 电路中包括单独的自举电容（Bootstrap Capacitor）。下拉控制模块，其主要功能用于对电路中重要节点、电容以及栅极走线进行复位，以及在其他级进行输出时维持本级电路的稳定，避免本级像素写入错误的信号。级传模块，用来实现前后级 GOA 的通信，确保各级信号按照顺序依次输出，避免某一级 GOA 电路在错误的时间输出信号。

GOA 电路伴随面板技术的发展，在经历了 a-Si 和 LTPS 之后，迎来了 a-IGZO 作为半导体材料，a-IGZO 既兼顾了 a-Si 的均一性和量产性，又兼有较高的载流子迁移率。对 GOA 电路来说，材料的均一性极大的限制了电路的发展，特性的偏差导致整体面板显示画面不均匀，片间的差异导致原始的驱动电路设定参数失效，从而导致良率低下。a-IGZO 的载流子迁移率是 a-Si 的十倍以上，对应的电路的集成度远高于后者，特别是在移动终端上，采用 a-Si 工艺的 GOA 电路，其造成的边框的宽度无法被消费者接受。除此以外，a-Si 为了增加驱动能力，需要增加 TFT 的尺寸，从而导致源漏极与栅极之间的寄生电容较大，这样容易造成时钟馈通效应（Clock-feed-through effect），轻微的情况下会导致电路整体功耗上升，严重的情况会导致电路失效，为了避免这个问题常常需要通过增加电路或者驱动信号的复杂度来应对。另外与 IC 相比，GOA 的功率较高，GOA 的功率消耗主要分为动态功耗和静态功耗，动态功耗为电路正常工作的时候产生的功耗，而静态功耗为电路处在维持状态时产生的功耗，其来源主要是 TFT 的漏电流，a-Si TFT 的漏电流一般在  $10^{-12}\mu\text{A}$ ，LTPS TFT 的漏电流更高一般在  $10^{-11}\mu\text{A}$ ，而 a-IGZO TFT 的漏电流低于  $10^{-13}\mu\text{A}$ ，因此 a-IGZO GOA 有更低的静态功耗。

虽然 a-IGZO TFT GOA 电路优化了很多已经存在的问题，但是仍然有一些 GOA 固有的问题，以及由于 IGZO 材料本身的弱点造成的问题有待解决。首先，在偏压应力（Bias Temperature Stress, BTS）作用下 TFT  $V_{th}$  偏移的情况较严重<sup>[18]</sup>，导致 a-IGZO TFT 不稳定，缩短 GOA 电路的寿命。下拉控制模块是 GOA 电路中最复杂和不稳定的模块，由于在一帧的显示周期内，大部分的时间里 GOA 电路需要维持一个稳定的低电平输出，此时下拉控制模块需要通过打开的 TFT，将电路中的某些点位维持在低电平上，上述 TFT 一直受到 PBTS 的影响，导致  $V_{th}$  偏移的情况较严重。

其次 IGZO 材料容易受到环境因素的影响，比如氢、氧和水汽。研究显示 IGZO 在不同氧气压力环境下会造成  $V_{th}$  的偏移，对氧原子的吸收同时也会影响载流子迁移率<sup>[19]</sup>。

尽管 a-IGZO 的驱动能力远高于 a-Si,但是与 LTPS 相比仍然有差距，尽管压缩了电路规模，实际版图上的寄生电容仍然分布较多。同时时钟信号的跳变较频繁，因此通过寄生电容产生的时钟馈通效应会影响 TFT 的关断，最终影响电路的性能。

### 2.3.2 $V_{th}$ 补偿电路方案

根据上一节的分析可看出很多不稳定的因素均会影响 TFT 的  $V_{th}$ ，而  $V_{th}$  的变化是 GOA 电路失效的根本原因之一。TFT 的阈值电压发生改变的原因为半导体绝缘层和半导体层的界面处的悬挂键的产生以及沟道内和界面处的缺陷对电子的捕获。针对 BTS 造成的  $V_{th}$  变化总体上有三种办法可以应。第一种是修改电路的时序和结构，减少 BTS 作用的程度将  $V_{th}$  的变化降到最低,比如采用两组下拉维持模块，可以将 BTS 的时间降低一半。第二种增加  $V_{th}$  补偿电路，对电路中关键的 TFT 的  $V_{th}$  做实时监控，并将变化的电压值补偿到栅极电压，维持  $V_{gs}-V_{th}$  的大小来确保输出电流不减小。第三种是增加修复电路，对栅极施加正向偏压会造成电子被捕获，相对应的，对栅极施加负向偏压能够重新释放被缺陷捕获的电子，在 TFT 特性上的表现即  $V_{th}$  负漂<sup>[18]</sup>。针对器件已经发生退化的 GOA，在结构和时序上进行修改，在电路闲置的时间内对其施加 NBTS 来恢复  $V_{th}$  的正偏值。针对上述的第二种补偿电路有四种原理架构，堆叠补偿电路（Stacked compensation circuit），并联补偿电路（Parallel compensation circuit），自举补偿电路（Bootstrapping compensation circuit）和镜像补偿电路（Mirror compensation circuit）<sup>[20]</sup>。

图 11 所示为堆叠补偿电路原理图，首先对 B 点进行预充电，将 B 点置于一个负电位，该电位的绝对值要大于 T1 所有可能的  $V_{th}$  的绝对值，然后将 T1 的漏极接地，此时 T1 打开由 A 点向 B 点充电，直至 B 点电位等于  $-V_{th}$ ，再对 A 点充电至所设定电位  $V_p$ ， $V_{gs}$  的电压最终为  $V_p+V_{th}$ 。

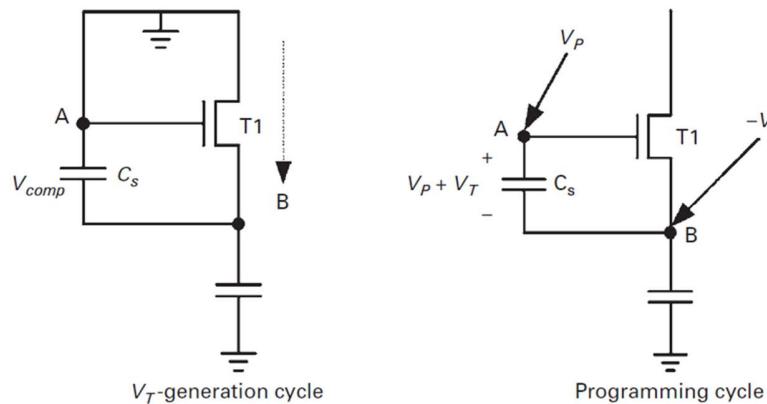


图 11 堆叠补偿电路(Stacked Compensation Circuit)

图 12 为并联补偿电路原理图,首先将 A 点充电至  $V_{comp}$  电位, 将 Source 连接至直流电源  $V_p$ ,  $V_{comp}$  电位需要高于  $V_p$  电位, 然后 A 点通过 T1 放电, 直至 A 点电位等于  $V_p + V_{th}$ , 此时 T1 关闭, 再通过调整 Source 端点的电位来调整  $V_{gs}$  的电位。

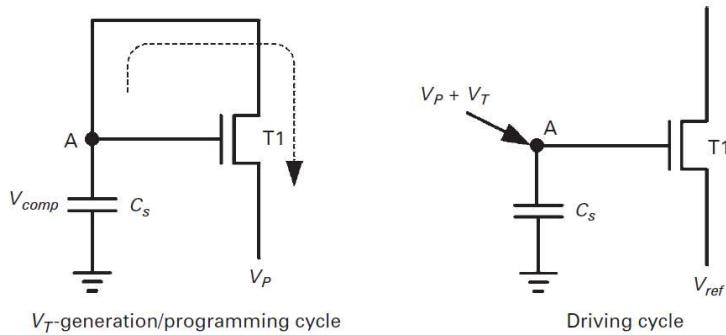


图 12 并联补偿电路(Parallel Compensation Circuit)

图 13 为自举补偿电路原理图,该电路的特点是将与 A 点连接的  $C_s$  的另一端和 T1 的源极接地,首先将 A 点充电至  $V_{comp}$  电位,然后 A 点通过 T1 放电, A 点电位降至  $V_{th}$  后 T1 关闭,此时再将  $C_s$  的另一端点连接至电路正常运作所需要的电位,由于电容耦合效应,A 点电位变成  $V_p + V_{th}$ 。

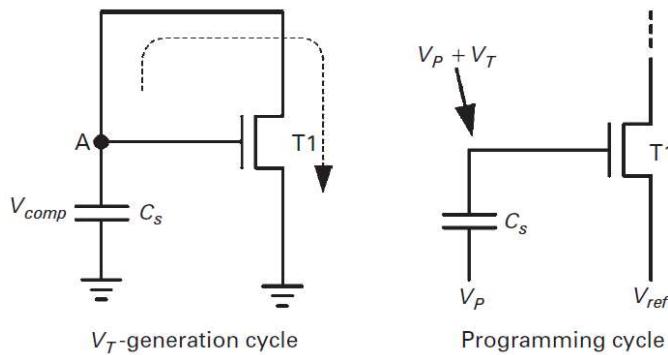


图 13 自举补偿电路(Bootstrapping Compensation Circuit)

图 14 为镜像补偿电路原理图，该电路由两组镜像的 TFT 组成，一侧负责正常电路的运作，另一侧负责  $V_{th}$  的补偿，补偿模块部分可采用前述的三种结构。该电路需要镜像 TFT 的版图设计和偏置情况完全一致，从而时刻维持相同的  $V_{th}$ 。图 14 (a) 架构只有一条电流输出路径，此架构没有考虑在补偿周期内输出电流对外部电路的影响，优点是结构相对简单。图 14 (b) 架构在镜像的两组电路下方各有一条电流输出路径，分别用两个关控制，此架构可避免补偿周期内电流对外部电路的影响。

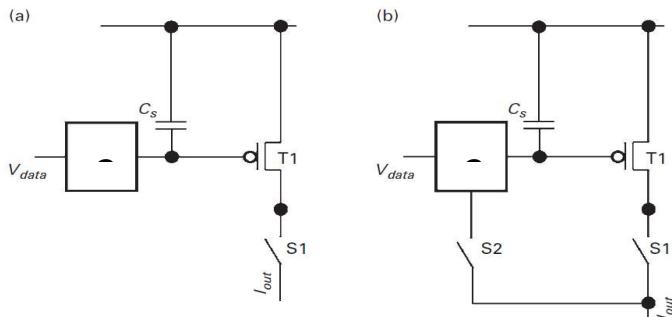


图 14 镜像补偿电路(Mirror Compensation Circuit)

## 2.4 本章小结

本章首先介绍了大尺寸显示器的机遇和挑战，对其技术发展方向做了经验性的预测。在本章第二部分重点介绍了 a-IGZO 材料，详细说明其技术来源并与 a-Si 和 LTPS 的性能做了比较。a-IGZO 的器件结构的关键差异在于对 a-IGZO 材料的处理方法不同，为了进一步研究 a-IGZO 的特性，设计了 ES 和 BCE 两种器件，并针对样品测试了器件特性，根据转移特性曲线和输出特性曲线分析了载流子迁移率、开关电流比、导通电阻、漏电流等一系列特性。对两类器件做了 PBTS，确认了在现有工艺下，两类器件的  $V_{th}$  shift 状态相似。进一步，本章介绍了较前沿的 LFN 的

分析方法，并通过量测两类器件的 LFN 发现了 BCE 型的器件的缺陷数量高于 ES 型器件，在版图没有限制的情况下，为确保 GOA 电路的可靠性，后续的 GOA 的器件设计将采用 ES 型。

为了进一步提高 GOA 电路的可靠性，本章第三部分研究了  $V_{th}$  偏移的解决办法， $V_{th}$  补偿电路总共有四种原理架构，Stacked compensation circuit，Parallel compensation circuit，Bootstrapping compensation circuit 和 Mirror compensation circuit，最后对四种补偿电路的原理分别做了介绍。

## 第三章 In-cell Touch 面板的集成栅极驱动电路

随着移动终端的不断发展和进化，移动终端承载的功能越来越多，特别是人们对于手机的依赖逐渐增加。触控面板在满足了人们随时随地操作手机的同时，释放了实物按键的空间，增大了终端的显示区域。触控技术的发展历经了电感式触控和电容式触控，其中较成熟的技术为“投射式电容触控传感”技术，而投射式电容触控技术又先后发展为贴附式，Lens 整合式，显示屏整合式。In-cell 触控技术是最新的一种显示屏整合式触控技术，该技术将触控传感器集成到 TFT 面板上，采用该技术的触控面板更加轻薄，显示效果更加清晰。本章将对触控面板的发展历程做一个简单的介绍，详细说明 In-cell 触控面板的原理和工艺，对 In-cell 触控面板的关键问题做简要的分析。着重针对驱动 In-cell 触控面板的集成栅极驱动电路的设计和技术关键点做详细的介绍。

### 3.1 触控面板

#### 3.1.1 触控面板的发展历史和技术分类

在触控面板技术出现之前，人机交互的终端主要是鼠标和键盘，把指令转化成机器语言。触控面板的出现使人与机器的交互更加流畅和直接，而且操作简单，反应迅速。1971 年世界美国人 SamHurst 研发出世界上第一个触控传感器，后被称为“Accu Touch”。并且随着信息技术的发展，触控技术也从最初的单一形式发展出了各种技术方向。典型的种类包括电阻式、电感式、电容式、红外式和声波式<sup>[21]</sup>。

红外式触控技术在触控面板上设置红外传感装置，触摸面板时，手指阻挡红外线实现信号的检测。但是红外装置的体积过大，不适合在显示面板上使用。声波式触控技术利用超声波在介质表面传播的机械能量波，发生触摸时检测到声波能量的衰减，从而检测到发生位置。但由于其精度和成本的问题，不适合在显示面板上使用。1997 年，摩托罗拉公司推出第一款电阻式触控屏—palmpilot 掌上电脑，电阻式触控面板一般由两侧透明导电层中间夹一层透明介质层组成，在手指按压区域上下两层导电层短路，检测电阻值发生变化的走线即可确认触控位置。电感式触控屏在 x 和 y 方向上设置感应线圈，用专门可以发出一定频率范围的信号的触控笔来产生触控信号。

电容式触控技术最早由美国 3M 公司在 1981 年提出，2007 年 6 月，美国苹果公司推出电容式多点触控 iPhone 手机，从此唤醒了显示界面市场，电容式触控面板呈现爆发式增长。电容式触控屏主要分表面式和投射式两种。表面式电容利用

手指触摸面板表面，手指与触控屏上的导体之间产生耦合电容，利用高频信号检测出流经耦合电容的电流路径。投射式电容屏利用面板上的触控电极发射电场线，手指触碰到电场线后电容发生改变，投射式电容屏是目前发展最成熟的触控技术，其在精度、反应速度、成本和复杂度上都优于其他类别的触控技术。投射式的电容触控技术又细分为自电容和互电容。自电容在触控面板上有一单层电极，手指作为电容的另一个电极，手指触碰面板与面板电极之间形成感应电容，通过检测电容的变化来确定触控点的坐标。互电容在触控面板上有两层导电电极走线，中间有绝缘层，在面板各个区域上下电极纵横交错形成电容，手指触碰面板后，触控点形成的耦合电容改变该点的电容大小，通过检测电容的变化来确定触控点位[22]。

投射式电容触控技术发展到今天，从结构来看又细分成 5 个类别。第一种是在玻璃基板两侧用透明导电层做电极，玻璃基板作为电容的介质，完成后再与显示屏贴合在一起，触控屏外需再贴合保护基板。第二种是在玻璃基板的一侧制作两层透明导电层和一层绝缘层形成传感器，再将触控屏和显示屏贴合在一起，触控屏外同样需再贴合保护基板。。第三种是将传感器制作在显示屏的彩膜基板外侧或者保护玻璃的外侧，降低了屏幕整体厚度的情况，同时不影响显示面板液晶盒内的结构。第四种是目前称为 On-cell 的技术，2009 年苹果公司提出了该技术的发明专利，公开号为 CN101467119A。采用该技术的显示屏不需要额外的玻璃基板或者保护玻璃制作传感器，而是直接将传感器直接制作在显示屏的液晶盒内，通常是在彩膜基板上，除了在彩色滤光片工艺的基础上增加传感器的制作工艺之外，不会影响驱动背板上的设计。第五种即所谓的 In-cell 触控技术，该技术继承了 On-cell 技术的优点，与其的区别在于 On-cell 技术制作的传感器不影响驱动背板的结构，而 In-cell 技术是在显示面板的驱动背板上集成传感器工艺。由于驱动背板上集成了大量的电路和元件，复杂度很高，在此基础上再将传感器工艺集成在其上，会导致工艺非常复杂，也会影响原来电路的设计和性能。In-cell 技术的优点在于利用了原本阵列驱动背板的工艺制作传感器，从整体面板工艺来说是最方便的，不需额外增加设备。从触控显示屏的成品效果来看，利用该技术的显示屏是目前最轻薄的设计方案。2012 年，苹果公司将该技术应用在其 iphone5 等系列产品上。但是该技术的设计难度较大，而且良率较低，因此目前除了国外个别龙头面板企业能够实现量产以外，国内尚无量产的能力。

### 3.1.2 In-cell 触控面板原理

In-cell 触控技术同样也分为自电容和互电容两种方案。互电容触控技术通过检测相邻感应电极之间的电容来确定触控点位，如图 15(a)为苹果公司的 In-cell 专利结构，采用透明导电层制作横向与纵向检测电极，称为 Tx 和 Rx。在交叉点附近的两组电极分别为电容的两个金属电极，当手指触碰该处时，耦合电容改变两个电极之间的电容值。根据 x 和 y 方向检测到的信号的走线序号可以定位触摸点的坐标。由于不存在 Ghost 现象，互电容设计可支持多点触控，但是目前几乎所有互电容触控相关技术已经被美国苹果公司专利封锁，因此针对量产型的产品不适合采用此种架构。

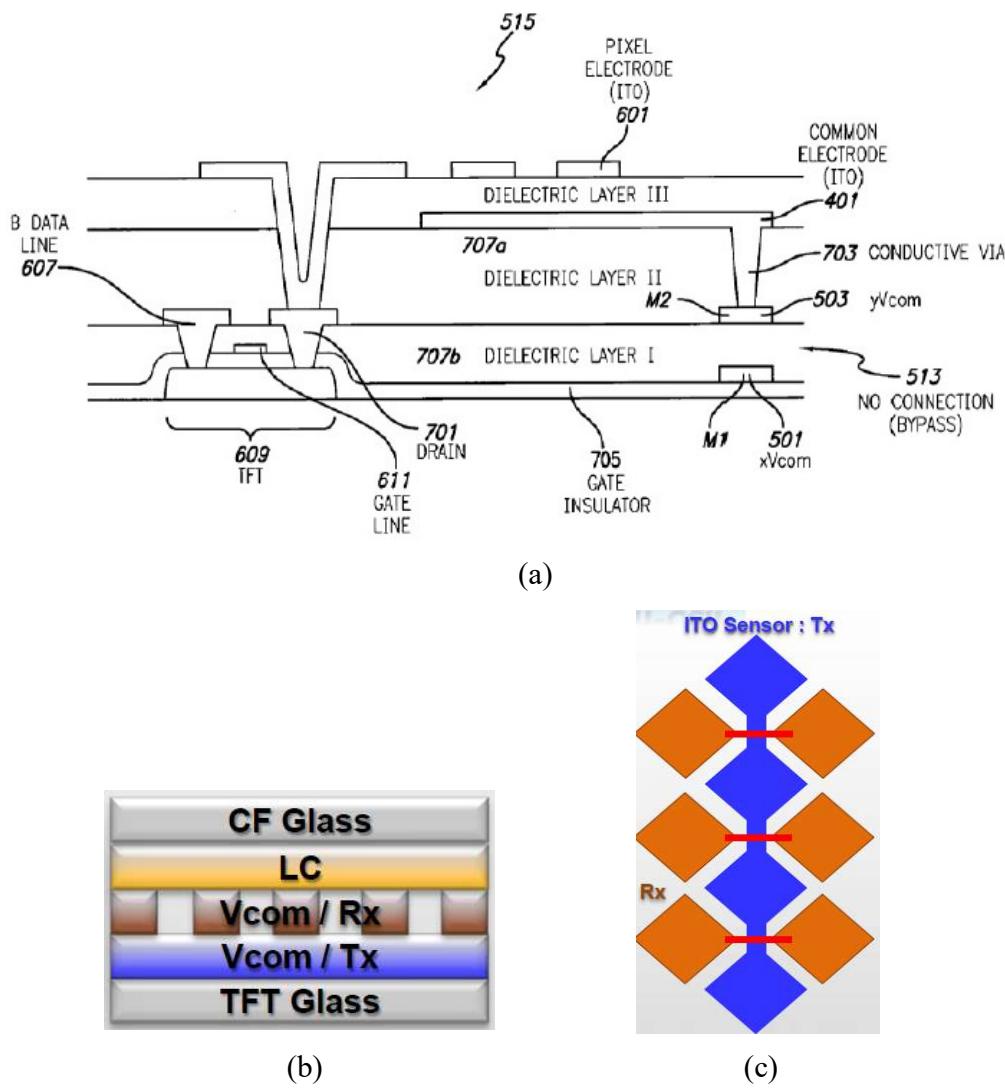


图 15 In-cell 互容触控设计原理图：(a)苹果公司 In-cell Touch 专利结构，(b)In-cell 驱动背板截面图，(c) In-cell 互容触控传感器平面结构

自电容结构的出现早于互电容触控架构，早期自电容方案是用横向和纵向的电极走线制作，横向和纵向的电极与公共电形成电容，手指触碰面板时形成的并联电容增加了自电容的容量，横向和纵向电极走线用来确定触控点位的坐标。这种自电容结构只能支持单点触控，其原因在于当两个手指同时触碰面板时，在面板上的正确坐标应该是(x1, y1) 和(x2, y2)，但是按照寻址方式检测到的排列组合会增加(x1, y2) 和(x2, y1)两个错误的组合点位，该现象即前述的 Ghost 现象。

为了应对此问题，一种单层多点触控自容式结构被提出，并首先由韩国 LG 公司所采用，称为 AIT (Advanced In-cell Touch) 技术，图 16(a)所示为此方案的设计架构，该技术结合指尖触摸面板的分辨率，在驱动背板上设计互相独立的触控感测区域，每一块感测区域由上层的透明导电层和下方的公共电极形成一个电容，所有的触控感应区域单独检测并通过复杂的引线路径从显示区域引出信号，当手指触控该区块时，发生的容量变化由触控检测 IC 确定并直接读出坐标。此设计的优点在于能够支持多点触控，缺点在于该方案的引线较多，在小尺寸显示屏上由于边框日益缩短，因此无法放置多余的触控信号线，针对驱动能力较强的半导体材料虽然可以通过设计多工器来应对，但是仍受到空间和寄生电容的影响。另一方面该架构由触控产生的电容变化量相对与初始的自电容较小，因此容易受到环境噪声的影响，触控信号的信噪比(SNR)很难提高，从而造成误检测的几率较高。图 16(b)为我们在 2017 年用 IGZO 材料设计的一款 5.5 英寸 FHD 自容多点触控产品的触控 3D 信号图，中间的信号峰值点为真实触控点位，其他波动是由于寄生电容造成的干扰。

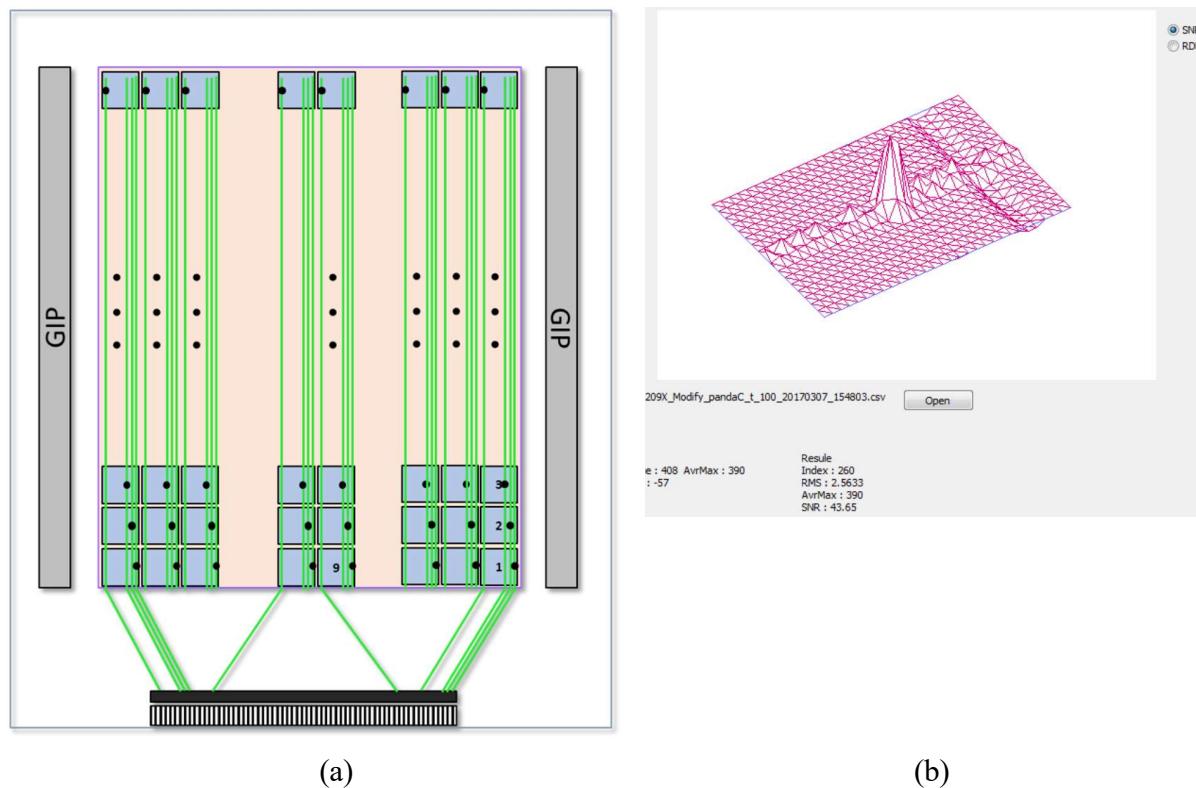


图 16 (a)In-cell 自容多点触控设计架, (b)In-cell 自容多点触控 5.5 FHD 试验面板检测信号 3D 图

由于消费者对显示终端需求的不断提升，目前的液晶面板针对广视角和高开口率有多种对应技术，其中有一种边缘电场开关技术(Fringe-Field Switching, FFS)，其原理如图 17 所示，能够实现上下左右  $85^{\circ}$  的视角和绝佳的黑态。该技术在驱动背板上需要两层透明导电层形成边缘电场驱动液晶旋转，该结构可以完美的集成 In-cell 传感器，不需要增加额外的工艺，面板同时兼容良好的显示品质和触控功能。下面结合 a-IGZO FFS 面板的制造工艺，简述 In-cell 触控面板的结构和原理。首先在基板上依次沉积栅极、栅极绝缘层、刻蚀阻挡层和源漏电极，形成 IGZO-TFT，其中蚀刻阻挡层用来保护 IGZO 的表面。随后沉积一层有机绝缘层，其目的是增大开口率，同时减小数据信号在触控检测周期内对触控信号的耦合影响。之后在有机绝缘膜上沉积透明导电层，作为公共电极层，公共电极同时作为触控感应电容的下极板；之后在其上方沉积金属层，形成触控检测线，触控检测线与公共电极中间用绝缘层隔开，按照一定的顺序，在需要传输的触控点位将触控检测线与公共电极通过通孔连接在一起，以此达到多点触控的功能，最后再制作一层绝缘层和像素电极。上述背板像素剖面图如图 18 所示。

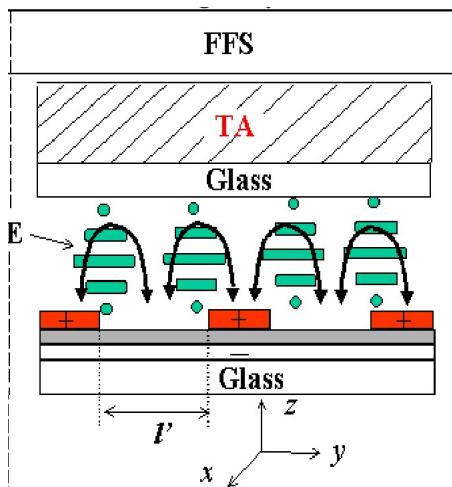


图 17 FFS 液晶面板驱动原理

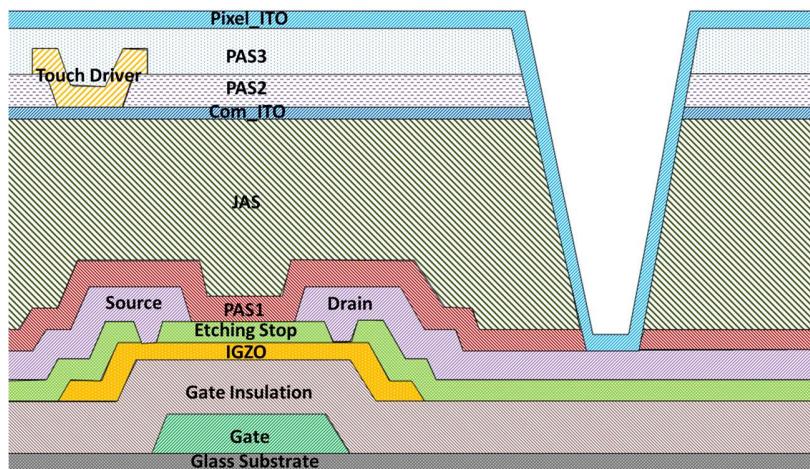


图 18 FFS IGZO In-cell Multi-Touch 像素剖面结构图

### 3.2 内嵌式触控面板的集成栅极驱动电路

上一节所述的内嵌式触控面板，由于其结构是将传感器与现有显示用电路集成在一起，因此会占用部分的显示用信号线。具体如 AIT 技术，其传感器 block 是利用原本像素区的公共电极，原本公共电极在整个显示区为同样的信号，在 IC 输出端有唯一的输出端口，现将该电极按照手指的触控分辨率分成互不相连的区块，并增加各自的引线分别接入 IC。触控发生的时候必然导致该区块的公共电极的瞬间电位改变，如果此时像素正在进行信号写入，则该像素储存的信号出现错误，导致该区域的显示灰阶发生改变，最终导致显示画面出现块状的不均匀感。为避免此类现象，就需要将显示周期和触控检测周期分开，使触控发生的时间内像素不进行信号写入的动作。

分时驱动法(The time-division driving method, TDDM),避免显示信号和触控信号互相串扰。分时驱动方法分两种架构, HBDM(Horizontal blank driving method)和VBDM(Vertical blank driving method)。VBDM 的架构是在一帧的周期内将显示周期与触控周期分开, 在一帧的开始或者结尾集中检测触控信号。由于触控 IC 需要遍历所有触控区块, 因此需要压缩显示周期的时间用来给触控检测, 这将导致像素充电时间不足, 需要通过提高像素的 TFT 的尺寸和 GOA 的驱动能力来应对, 但此架构不需要改变 GOA 电路的结构。该架构的优点是 GOA 不需要重新设计, 但是检测灵敏度较差。

HBDM 的时序架构如图 19 所示, 在行显示周期中间插入触控检测脉冲, 提高了报点率, 从而提高触控检测的灵敏度。该架构需要暂停显示周期的行扫描信号, 进行触控检测后再重新启动显示周期, 此时集成栅极驱动电路中断工作维持在某个状态, 这样会造成一些显示问题。由于晶体管均存在漏电流, 当电路维持在某个状态时, 则中断点的电路维持时间远长于其他连续工作的电路, 首先维持的电位会由于漏电流发生改变, 导致最终输出的栅极驱动信号变形; 其次一直维持在直流电平下的 TFT 的阈值电压偏移会更严重, 从而减少的该级电路的寿命。该时序架构除了需要修改像素和 GOA 的充电能力之外, 还需要修改 GOA 的电路结构, 使其能够在显示周期中间暂停行扫描信号的输出, 同时保证在触控信号结束后重新启动行扫描信号输出。

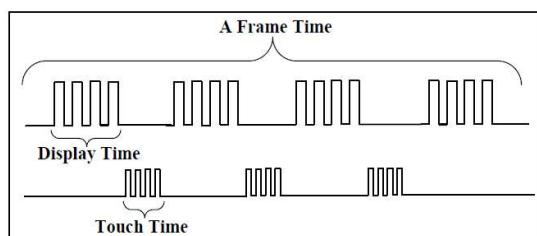


图 19 In-cell Touch HBDM 模式时序架构

### 3.3 本章小结

本章首先介绍触控技术的发展历史, 对触控技术的分类做了详细说明, 并对不同类触控技术的优缺点做了比较。对目前主流触控技术 on-cell 的设计原理做了重点说明。然后针对本文后续设计中采用的 In-cell 触控技术, 介绍了其技术来源以及详细的技术要点。针对 AIT In-cell 触控技术, 文中介绍了其设计结构和设计原理, 该设计能够实现多点触控, 工艺简单易实现, 并能够和现有的显示面板工艺融合, 缺点在于引线较多, 且容易受到环境的噪声干扰, 以我们 2017 年设计的一款 5.5 英寸的面板为例, 介绍该技术在触控时的检测灵敏度和串扰的影响。

本章第二部分介绍了 In-cell 触控面板与常规显示面板的差异点, 为了避免触控信号与显示信号的互相干扰, 必须将触控检测周期与显示充放电周期分开。针对

时序来说，架构主要分 VBDM 和 HBDM 两类，同时 GOA 电路也必须做相应的调整。本文后续将采用 HBDM 的架构来提高面板的触控灵敏度，修改常规 GOA 电路的结构来对应时序暂停的需求。最后提到因暂停行扫描遇到的问题，文章后续将针对性的提出解决方案。

## 第四章 面板集成栅极驱动电路的原理图设计与验证

消费类显示器的市场需求越来越追求边框的极窄体验，商用显示器和拼接类的显示器也提出了更窄的边框需求。另外随着国内外面板厂的竞争日趋白热化，成本控制是每个面板厂需要关注的重点。集成栅极驱动电路是上述两种要求的最佳选择以及面板日趋集成化的发展方向。但是由于 GOA 电路与面板驱动背板工艺兼容，在制作过程中会对电路的元件造成各类的压力和腐蚀，因此 GOA 电路的良率，特别是针对大尺寸的面板来说，是各个面板厂难以克服的问题之一。本章介绍了一种高鲁棒性的 GOA 电路，对其运作原理做了详细的介绍，并设计了一款采用该电路驱动的 27 英寸 UHD 面板。该面板成功点亮并拥有各方面优异表现。本章重点介绍了 In-cell touch 面板的集成栅极驱动电路的设计，详述了两类基本的触控 GOA 电路的优缺点，并针对性的设计了具体的 GOA 方案和版图。介绍了采用其中一种方案的触控面板效果，并介绍了其性能，分析了其缺点。文章最后介绍了一种新型的 In-cell touch GOA 电路，其在克服了之前电路的问题基础上拥有较高的稳定性和最佳的触控和显示效果。

### 4.1 一种基于 a-IGZO TFT 的 Robust 移位寄存器

#### 4.1.1 a-IGZO TFT 的 Robust 移位寄存器电路图和工作原理

针对常规显示器面板，我们采用一种基于 a-IGZO 的 13T1C 电路作为集成栅极移位寄存器，如图 20 所示。该电路中 M1,M2,M7 组成预充电模块，对电路中 M11 栅极连接节点，即 Q 点的储存电容预充电；M11,M12 和电容 C1 组成上拉控制模

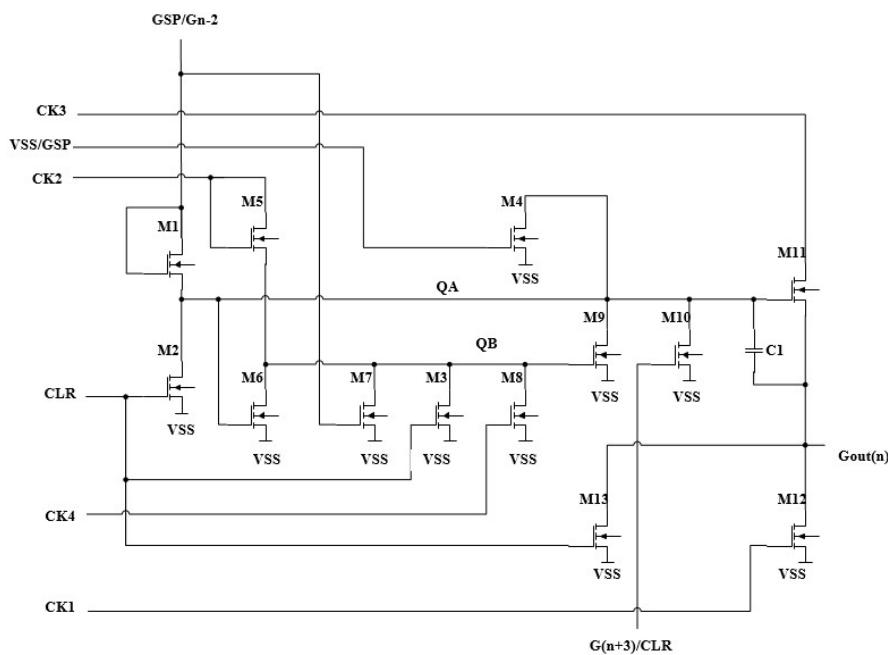


图 20 基于 a-IGZO 的显示面板集成栅极驱动电路

块，用于输出栅极驱动信号；M4,M5,M6,M8,M9,M10 组成维持模块，确保电路在输出栅极驱动信号时信号的稳定，以及在输出低电平时保持电路的稳定性，避免像素写入错误的信号，此部分是 GOA 电路最复杂的部分，电路的稳定性和寿命主要由此模块的性能决定；剩余的 TFT 负责电路的复位，其中 M2 对 QA 点复位，M3 对 QB 点复位，M13 对 Gate 驱动线复位。

如图 21 所示为针对 60Hz 的 UHD 3840xRGB(H)x2160(V)分辨率面板设计的显示驱动时序，共需要输出 2160 行扫描信号和 4 个 dummy 信号，再考虑信号的握手时间，因此将一帧 16.7ms 分成 2220 个 H 脉冲时间，每个 H 时间为 7.5us。第一级

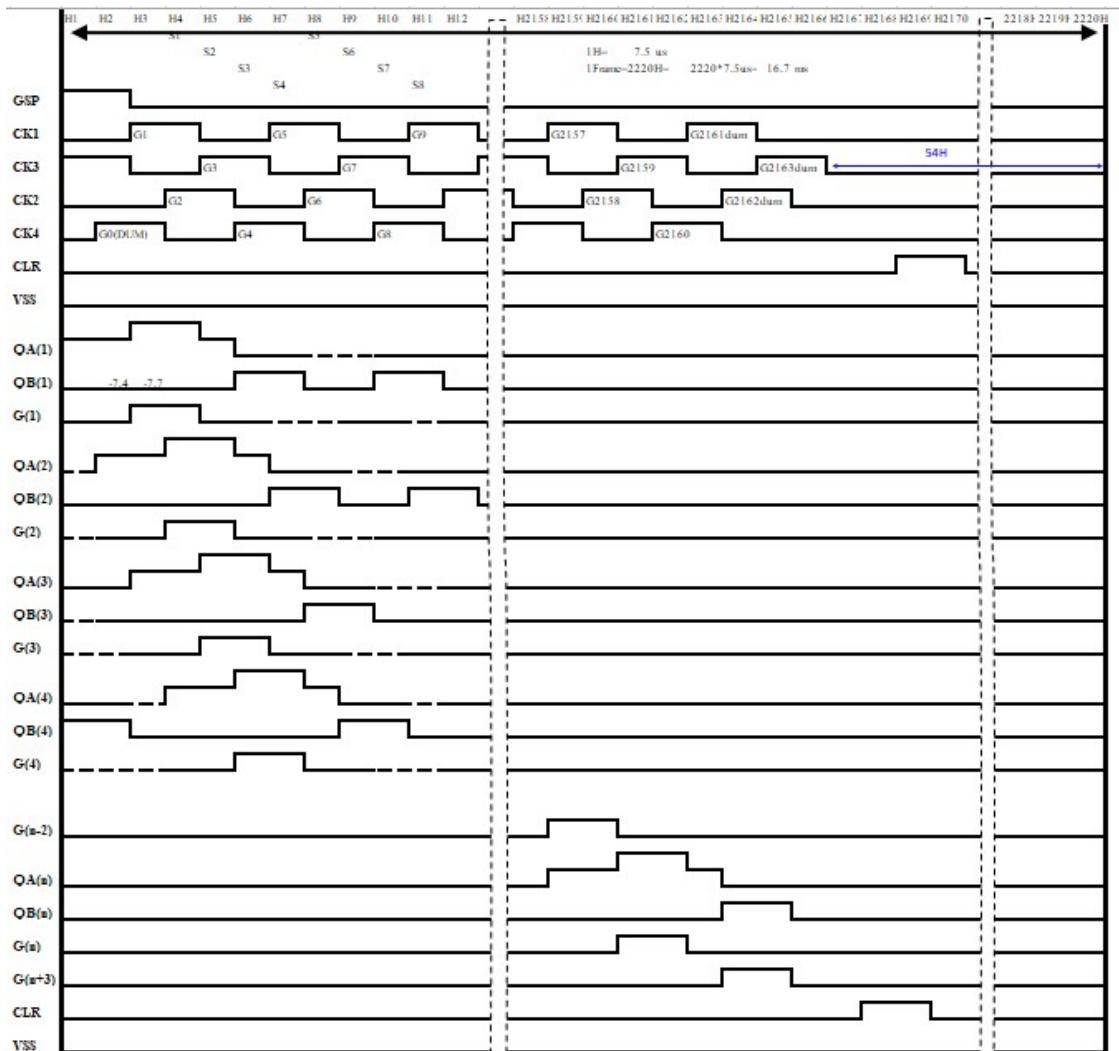


图 21 UHD a-IGZO 显示面板 60Hz 驱动时序

GOA 电路通过接收 GSP 信号开始运作，并输出第一行扫描信号，为了增加内部节点 QA 的充电时间，采用 n-2 行的行扫描信号作为本级电路的启动信号。由于高分辨率面板的扫描级数是普通分辨率面板的数倍以上，加之大尺寸的面板远端信号延迟现象严重，因此设计每行扫描信号的脉宽占两个 H，相邻两行行扫描信号有一个 H 的重叠，在第一个 H 时间内像素可以借用前一行的 Data 信号对像素做预充电（charge sharing），进一步提高充电率。需要注意采用此架构最好搭配列反转方式（column inversion）的数据信号，才能最大的发挥预充电的效果。现以单级电路为例说明运作原理。

### (1) 预充电阶段 (H1)

该阶段 CK1,CK4 为高电平, CK2,CK3 为低电平, Gn-2 波形产生后通过二极管接法的 M1 对 QA 预充电, 此时 M2 的栅极连接 CLR 信号维持低电平, M2 保持关闭。QB 点的控制 TFT 有 M3,M5,M6,M7,M8。M3 栅极由 CLR 信号控制, 因此在电路正常工作的周期内保持关闭。M8 栅极由 CK4 打开, M7 打开, 将 QB 点维持在 VSS 电位。M5 与 M6 组成一组反相器, 通过调整 W 和 L 的比例, 设计在 M5 和 M6 同时打开时, 大部分压降都落在 M5 上, 此时 QA 的高电位使 M6 打开, 将 QB 点维持在 VSS 电位。QB 点除了由外部时钟信号控制维持, 同时受到内部节点的控制, 可以避免收到外部信号的干扰, 确保电路维持状态的稳定性。QA 点的控制 TFT 除了 M1 和 M2, 还有 M4,M9 和 M10。M4 接到 GSP 除每帧的开始会打开之外, 其余时刻均维持关闭。M9 的栅极由 QB 控制, 与 QA 形成内部控制回路, 进一步增加电路的抗噪性。M10 的栅极由 Gn+3 控制, 此时维持关闭。M12 的栅极由 CK1 控制打开, 维持该级的行扫描线在 VSS 电位, 维持像素电位。M13 的栅极由 CLR 控制, 保持关闭。

#### (2) 预充电阶段 (H2)

该阶段 CK1,CK2 为高电平, CK3,CK4 为低电平。Gn-2 持续输出高电平, 继续对 QA 点充电, M2,M3,M4,M13 和 M12 维持状态不变。CK2 变成低电平导致 M5 有开变成关, 但是由于前面分析可知在 M6 保持打开状态时, QB 点电位变化不明显, 采用 Vgh 为 24v, Vgl 为 -8v, M5 和 M6 的宽长差异 15 倍的电路仿真, 仿真结果显示在 M5 在开关前后 QB 电位变化 0.3v, 远远低于 M9 的阈值电压。此时 CK4 变成低电平, 导致 M8 关闭, 此时 QB 点的维持由原来的 M6,M7,M8 变成 M6 和 M7, 改设计可以减少 M8 的 Stress 时间, 降低 M8 的阈值电压偏移程度。

#### (3) 上拉阶段 (H3)

该阶段 CK2,CK3 为高电平, CK1,CK4 为低电平。此时 Gn-2 输出变成低电平, 导致 M1 关闭, 不再对 QA 充电, 同时 M7 关闭, 不再维持 QB 的 VSS 电位。M5 打开, M6 打开, 仍然维持 QB 点的 VSS 电位。此时维持 QB 点的电位只剩下 M6, M7 的 Stress 状态得到缓解。此时 QA 点处于 floating 状态。CK1 由高电平变为低电平, M12 关闭, 不再对行扫描线维持低电平。于此同时 CK3 变为高电平, M11 输出行扫描信号, 通过 M11 的 Cgd 的电容耦合效应, QA 点电位上拉至 30V 以上, 加深了 M11 的导通状态, 增强了 M11 的驱动能力, 此时像素进行预充电。

#### (4) 像素信号写入阶段 (H4)

该阶段 CK3,CK4 为高电平, CK1,CK2 为低电平。CK2 变为低电平, 不影响 M6 维持 QB 电位的状态。CK4 由低电平变成高电平, M8 打开, 与 M6 共同维持 QB 点的 VSS 电位, 确保 QA 点电位的稳定性, 从而确保输出行扫描信号的稳定性。CK3 维持高电平, 该级电路持续输出行扫描信号。由于有 C1 维持 QA 点的电位, 同时

a-IGZO TFT 的漏电流非常低，因此 QA 的电位变化很小，输出的扫描信号能够稳定的维持到充电结束。

#### (5) 下拉阶段 (H5)

该阶段 CK1,CK4 为高电平，CK2,CK3 为低电平。此时 CK1 从高电位变为低电平，M12 打开，将行扫描线迅速拉至 VSS，避免发生信号错充。此时 QB 点仍然由 M6 和 M8 维持在 VSS 电位。QA 点相关的 M1,M9,M10 仍然保持关闭，QA 还是 floating，CK3 由高电平变为低电平，停止输出行扫描信号，通过电容耦合 QA 点电位下降至之前充电的电位。

#### (6) 电荷清除阶段 (H6)

该阶段 CK1,CK2 为高电平，CK3,CK4 为低电平。此时 Gn+3 输出行扫描信号，M10 打开，QA 点电位被拉至 VSS，导致 M6 关闭。CK2 变成高电平，反相器节点 QB 由 M5 充电至高电位。M3,M7,M8 此时均关闭，M9 打开，进一步加速清除 QA 点电荷。

#### (7) 电荷清除阶段 (H7)

该阶段 CK2,CK3 为高电平，CK1,CK4 为低电平。QA 维持 VSS 电位，M11 关闭，Gn 通过 M12 维持在 VS，QB 由 M5 控制维持在高电位。

#### (8) 维持阶段 (H8)

该阶段 CK3,CK4 为高电平，CK1,CK2 为低电平。CK2 变成低电平，M5 关闭，停止对 QB 点输出高电平。CK4 打开 M8 将 QB 点电位拉至 VSS。QA 和 Gn 的控制 TFT 此时均关闭，QA 和 Gn 为 floating 状态，容易受到外界噪声干扰。之后该级均在维持阶段。

### 4.1.2 基于 a-IGZO TFT 的 Robust 移位寄存器的面板设计

为了确保仿真结果能够反映实际电路的行为，在仿真之前需要用模型萃取软件建立 a-IGZO TFT model card。根据第二章分析结果决定采用更稳定的 ES 结构的 TFT 设计本案，并将之前流片得到的样品的量测 IV 结果作为萃取模型的依据。需要注意待测 TFT 需要选取在基板上均匀分布的多个，并且量测多次取平均值，确保所有的工艺偏差都已经考虑到。将量测异常数据剔除掉之后将 I-V 数据导入模型萃取软件，如图 22 所示。在软件中按照步骤输入半导体层和栅极绝缘层的材料参数、量测温度、器件沟道长度和宽度、fit 误差等数据后即可开始 fitting 曲线。一般采用自动 fit 的方式即可满足要求，有个别情况由于各类 I-V 数值的 fit 结果不收敛，因此需要逐个调整物理参数的默认上下限才能得到较好的结果。Fitting 完成后点击保存并输出器件的 model card。

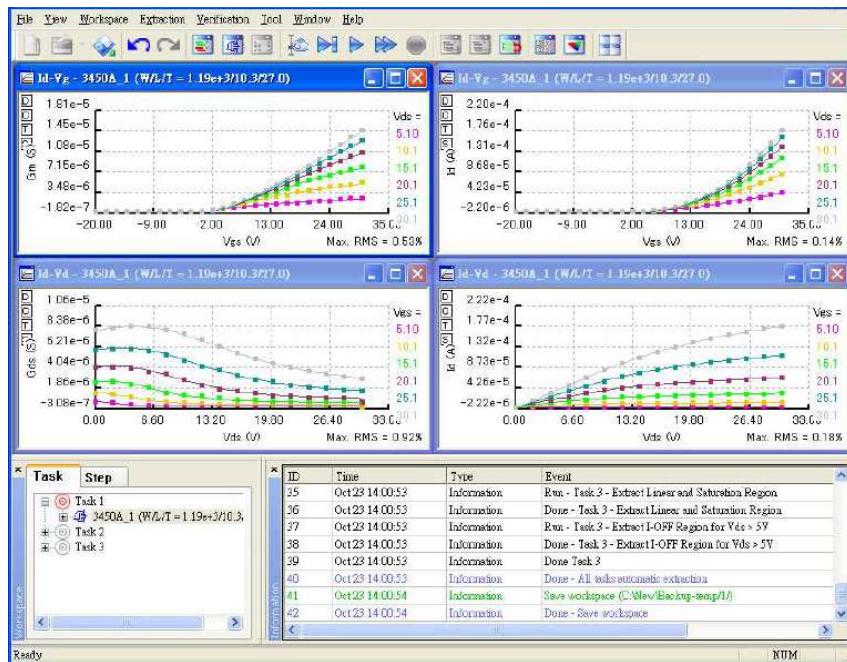


图 22 a-IGZO TFT model card fitting

建立 model card 之后，将 model card 放入仿真软件的工艺库中，并搭建 TFT 原理图仿真 I-V 曲线确认萃取的模型是否准确。图 23 中实线是实际量测得到的 IV 数据，方框是仿真软件仿真得到的 I-V 数据，两笔数据几乎一致，接下来可以根据面板的设计架构搭建测试电路进行仿真，仿真软件采用 Mentor 的 Eldo 仿真平台。

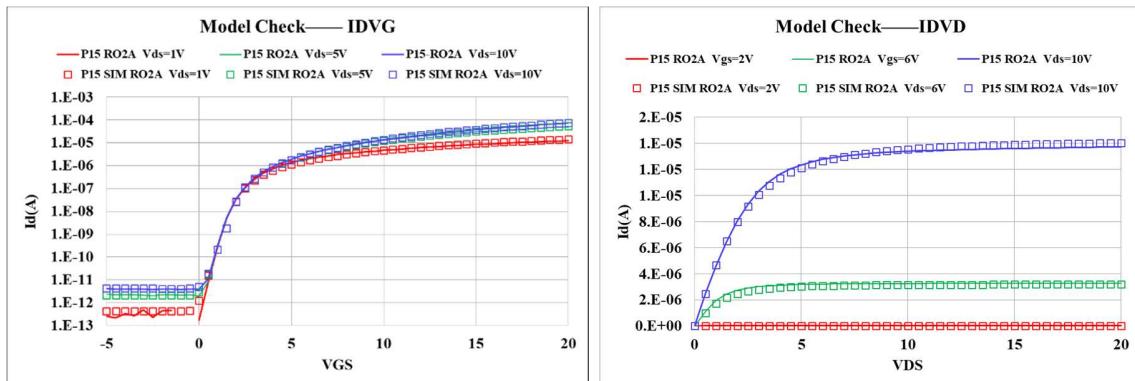


图 23 仿真软件确认模型萃取结果

27 英寸 UHD 面板共有 3840x2160 个 pixel，采用 60Hz 的帧频，根据前述 13T1C 的 GOA 架构，设计每条行扫描信号开打 15uS, 前 7.5uS 用来做电荷分享，提高充电率，后 7.5uS 修正为当前像素的数据电压。根据仿真结果调整的粗略的 TFT 尺寸绘制初版版图，根据版图提取 RC 后再待入电路仿真确认结果，最后再修正版图。

#### 4.1.3 基于 a-IGZO TFT 的 Robust 移位寄存器的面板样品测试

将上节所述的面板设计版图制作掩模版后投入流片，通过物理气相沉积、化学气相沉积、曝光、显影、蚀刻等工艺，在基板上依次形成栅极、栅极绝缘层、半导体层、源漏极等，完成整套的阵列工艺。然后将阵列基板与彩膜基板贴合，灌入液晶，bonding IC 和 PCB 板，组成完整面板如图 24 所示。

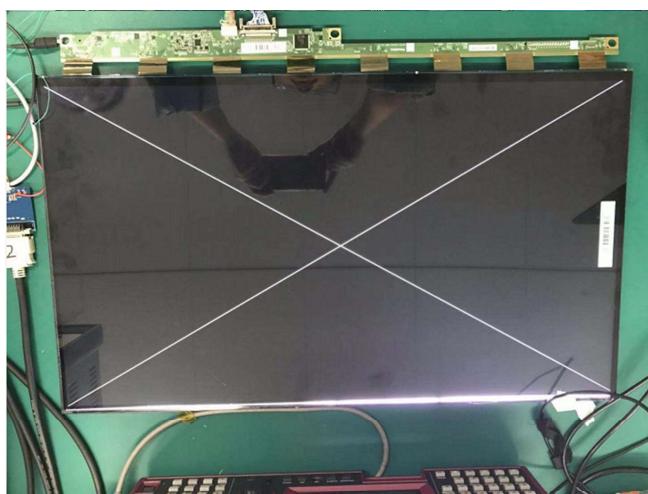


图 24 27 UHD 面板测试样品

图 25 所示为调试时在样品 PCB 板上 TCON 电路端口量测得到的 GOA 时钟信号和其他驱动信号波形。面板的时序、负载和信号延迟状况符合设计要求。像素充电正常，检测 R、G、B 单色画面，灰阶展开画面，Cross talk 画面，Flicker 画面均无异常，色彩饱和度和视角均符合前期的设计要求。将样品进行信赖性验证，样品在 60℃，90 %RH 的环境中连续工作 240h，没有出现显示不良。表 2 所示为样品的规格。

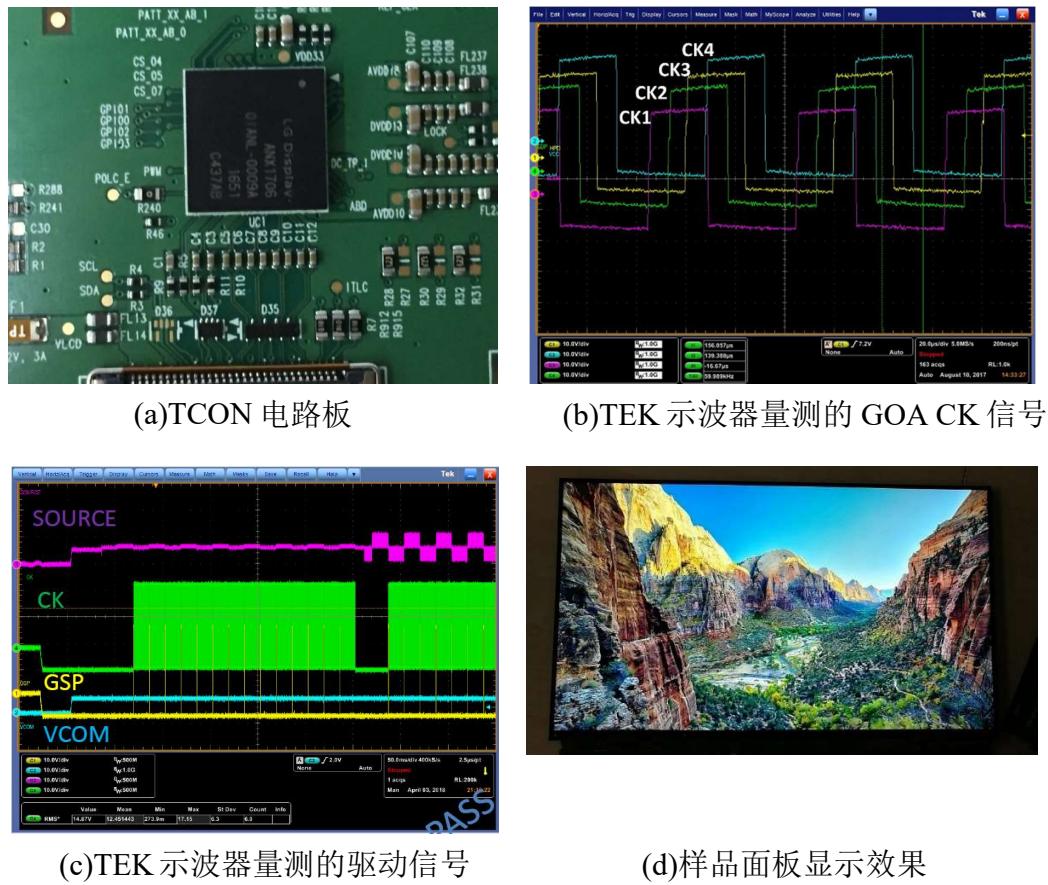


图 25 样品面板信号调试

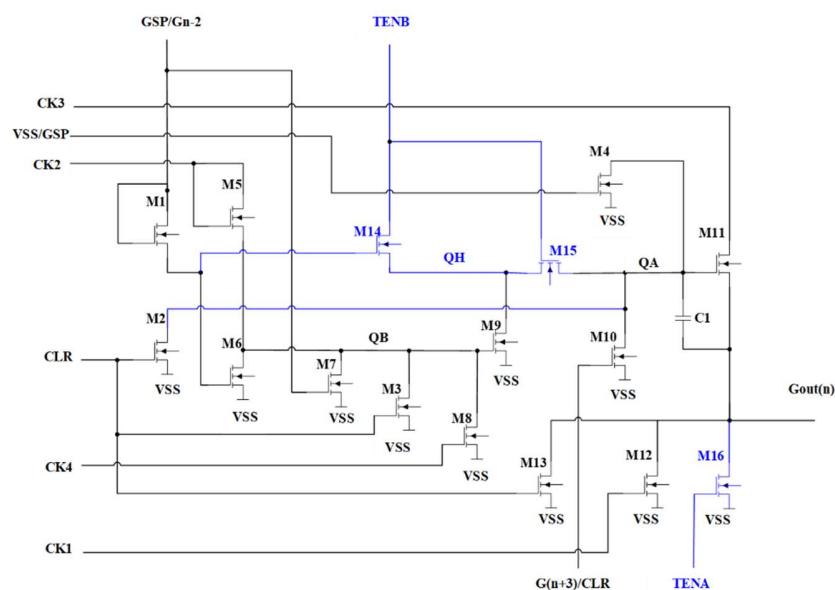
表 2 27 寸 4K2K 产品规格

Items	Specification
<b>Panel Size</b>	27 Inch
<b>Resolution</b>	3840×2160(4K2K)
<b>Frame Rate</b>	60~120Hz
<b>View Angle</b>	178° /178° (H/V)
<b>Contrast Ratio</b>	1000:1
<b>Orientation</b>	UV alignment FFS
<b>Response Time</b>	14ms

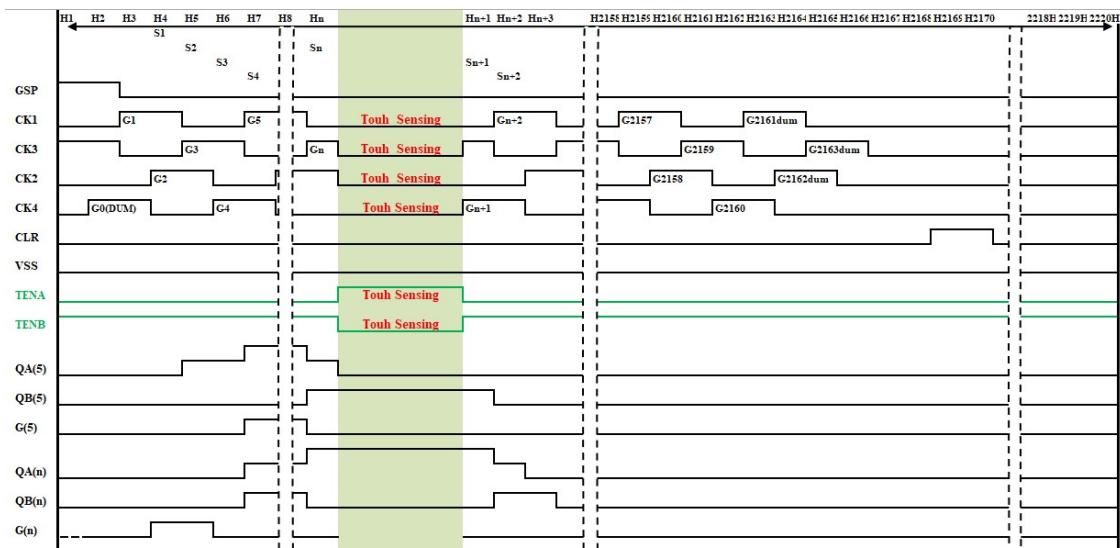
## 4.2 In-cell Touch 移位寄存器

### 4.2.1 一种 HBDM 架构的 In-cell Touch 集成栅极驱动电路

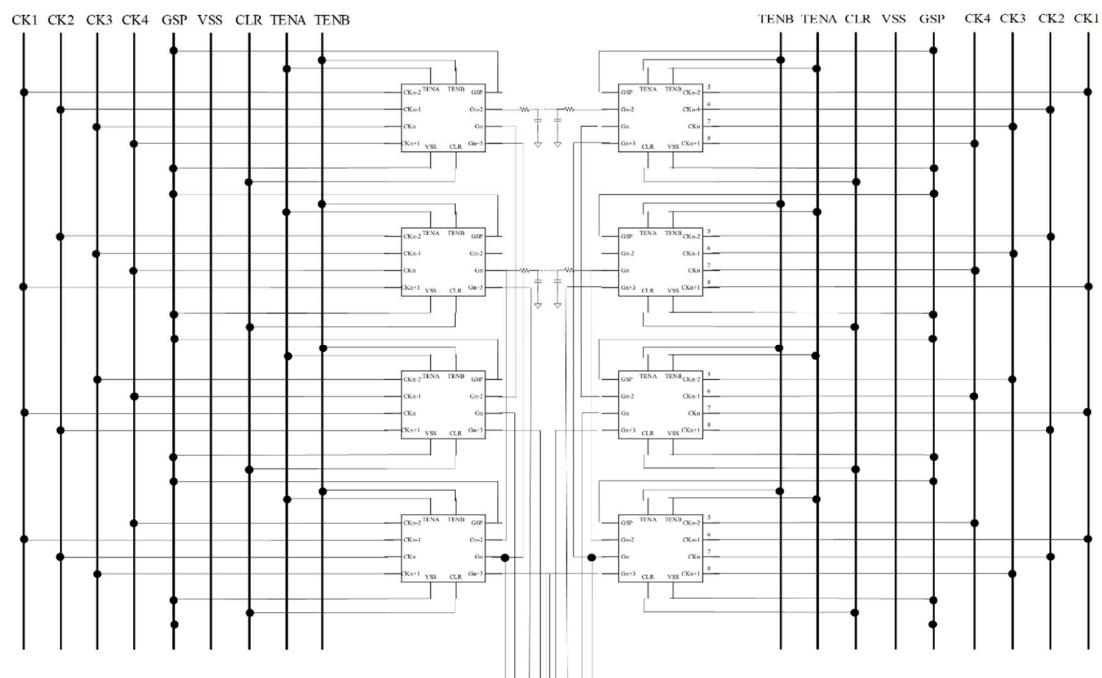
如前一章内容可知，为了保证显示信号和触控信号互不干扰，In-cell Touch 移位寄存器需要在触控信号到来时中断移位寄存器的信号输出，将像素的栅极维持在低电位，使像素开关 TFT 关闭防止像素发生充放电。由于触控时序压缩了显示时间，需要确保压缩时间后像素仍有足够高的充电率。该问题可以通过调整像素开关 TFT 的长宽比或者调整像素的存储电容的大小来解决。像素充放电中断后，由于整体显示周期时间不变，像素维持电位的时间并不发生改变，因此只要像素在中断之前能够到达预定的充电率即可。VBDM 架构简单易实现，只需要在面板上设计触控传感器，IC 配合显示信号在每一帧的开始或者结尾将除了触控检测信号之外的所有信号暂停即可，不需要对 GOA 电路做修改，缺点是检测灵敏度低，如图 26 所示为一种基于 a-IGZO 的 13T1C 电路的基础上开发的 HBDM 架构的 In-cell Touch GOA 电路，该驱动电路增加了 3 个 TFT，在显示周期中 TENA 信号保持低电平，TENB 信号保持高电平，M14 和 M15 保持导通的状态，级传信号通过此路径对 QA 预充电。触控检测发生时，TENA 信号输出高电平，将行扫描线快速拉至 VSS 电位；TENB 信号输出低电平，阻断 QA 与其他路径的联系，维持该点电位直至触控检测结束。该架构能够在电路的任何时间点将驱动电路暂停，进行触控检测，触控检测报告率可达 120Hz 以上。下面结合图 26(b)的驱动时序图说明在触控信号触发时 GOA 正在输出行扫描信号的 stage 的电路状态。



(a) 16T1C HBDM In-cell Touch 单级 GOA 原理图



(b) 16T1C HBDM In-cell Touch 驱动时序



(c) 16T1C HBDM In-cell Touch GOA 结构框图

图 26 一种基于 IGZO TFT 的 HBDM In-cell Touch GOA 电路

### (1) 触控信号触发前一个 H 时间

Gn 级电路中此时与 QA 相关的 TFT M2,M4,M10 和 M14 关闭，M15 由 TENB 打开，将 QA 与 QH 连通，QA 维持 floating，CKn 变高电平，上拉 QA 电位同时输出行扫描信号；QB 维持在 VSS 电位。

### (2) 触控信号触发

TENA 变成高电平，关闭行扫描信号；TENB 变成低电平，将 QA 与 QH 隔开；同时所有 CK 信号都变成低电平，导致所有 TFT 维持关闭的状态，此时 QA 点维持在 Vgh 电位，QB 维持在 VSS 电位。

### (3) 触控检测结束

所有 CK 信号恢复触控检测前的状态，QB 继续维持在 VSS 电位；TENA 变成低电平，关闭 M16；TENB 变成高电平，重新连接 QA 与 QH，QA 被 CK 信号上拉同时继续输出行扫描信号，此后恢复常规移位寄存器的功能。

#### 4.2.2 一种 HBDM 架构的 In-cell Touch 集成栅极驱动电路验证与结果分析

采用上述电路设计 5.5 英寸的触控面板，图 27 所示为采用前述版图软件绘制的 GOA 版图，对此版图进行流片，对产出的样品验证其显示和触控效果，图 28 为搭载了 16T1C GOA 电路的用于验证的 5.5 英寸 FHD 面板样品和触控测试 PCB 板。

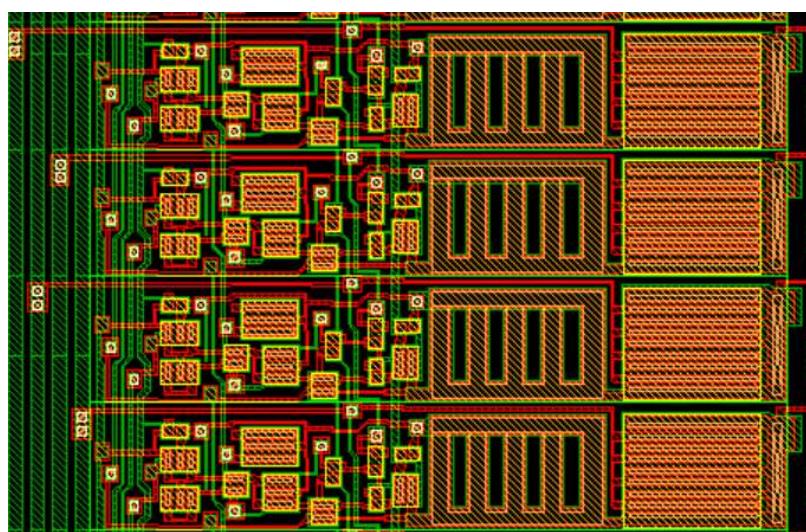


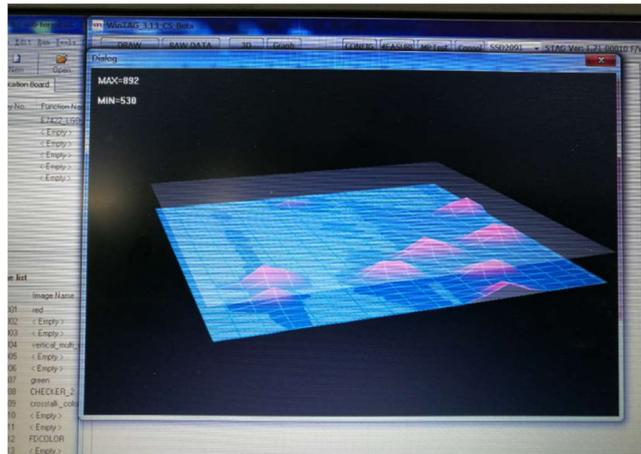
图 27 16T1C HBDM In-cell Touch GOA 电路版图



图 28 搭载 16T1C GOA 电路的 5.5 英寸 FHD in-cell Touch 样品

用常规的测试画面对该面板的显示效果进行测试，在进行触控输入时未发现画面的抖动和串扰现象。采用标准的 7mm 铜柱在面板上的触控检测结果评价触控精度。具体方法是在面板上平均选取点阵，每个点用铜柱点击面板，重复 10 次记录最大点位偏差；以 10mm/s 的速度画回字，观察是否出现断线。样品的触控精度量测结果在中心区域为 0.99mm，在边缘的精度为 1.35mm，满足测试标准。使用专门的触控测试软件确认多点触控效果如图 29 所示，测试结果显示触控信噪比达到 54dB。

尽管触控效果通过基本的检测要求，但是在进一步的检测中发现在低灰阶画面下可观察到细小的横纹。将样品进行信赖性检测后，画面中的横纹更加明显。根据分析发现每次出现横纹的位置均与暂停节点相关。进一步分析发现，当触控信号到来时，栅极信号被拉低，但是电路中的 QA 点电位始终维持在预充电的高电位，TFT M11 受正压 Stress；QB 点电位始终维持在 VSS 的低电位，TFT M9 受负压 Stress。



(a) 多点触控效果 3D 显示

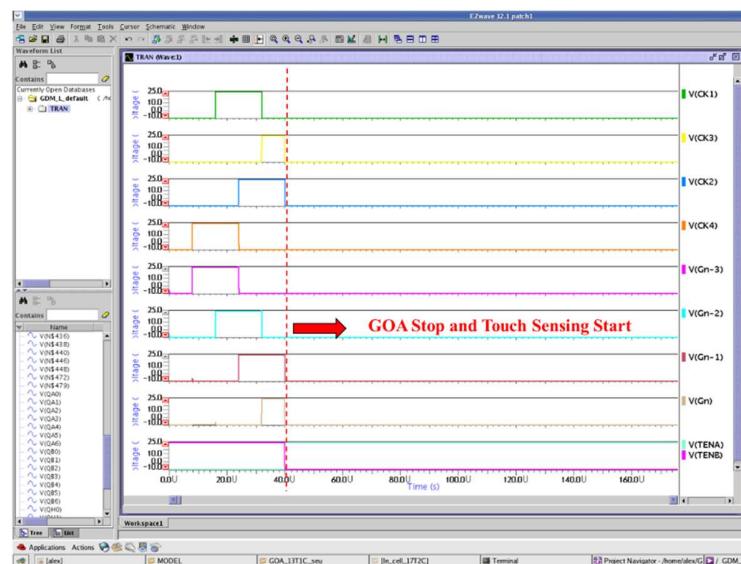


(b) 触控信号信噪比测试

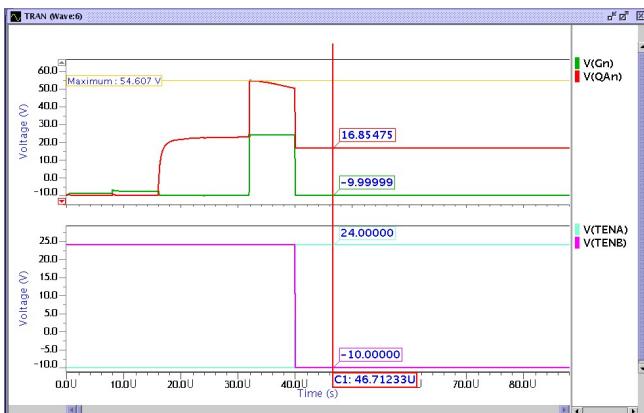
图 29 触控效果检测

常规的 TFT-LCD 显示器中,相邻的栅极信号间的时间差一般不超过 1us, 单级 GOA 电路中 Q 点从充电到放电一般不超过 2 个栅极脉冲时间, 在这个时间内不管漏电流或者是驱动 TFT 受到的应力, 对 GOA 输出的栅极驱动信号的影响均很小, 而且每一行的 GOA 电路的情况相同, 因此不会造成显示不良。而上述的 HBDM 架构为了增加报点率, 在每一帧的中间插入触控信号, 在 GOA 暂停的这段时间内需要完成所有面板区域的触控检测。根据 paper 所述, 基于 LTPS 工艺的 5.5 英寸面板完成一次触控检测需要大约的 3ms 时间<sup>[25]</sup>, 如果采用 a-Si 工艺则需要更长的时间, 根据我们设计的 5.5 英寸 FHD 面板的测试经验, 采用 IGZO 工艺的面板, 触控检测设定在 2.5ms 至 3.2ms 时可以达到较高的信噪比。此时 Q 点的漏电流和 TFT 的 Stress 都无法被忽视, 其产生的输出信号波形与非暂停点的波形会有很大的差异。

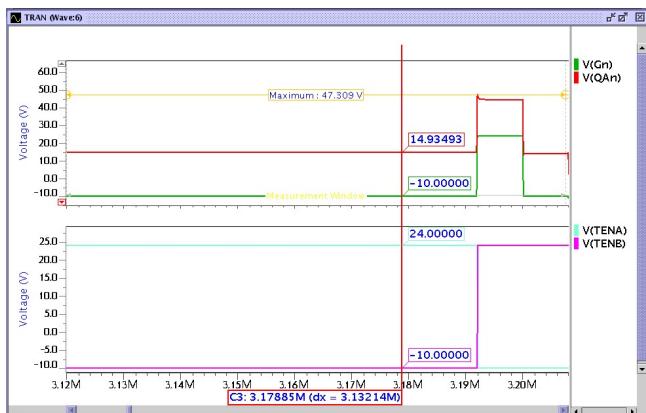
设定时钟信号高电平电位 24V,低电平-10V,触控检测时间 3.2ms, 用 Mentor Eldo 软件仿真 GOA 电路, 仿真结果如图 30 所示,  $G_n$  为暂停时等待输出的行, 暂停起始阶段该级 GOA 的 QA 电位为 16.85V, 32ms 后触控检测结束前 QA 电位下降至 14.93V, 下降至原来的 89%, 并且随着 stress 时间的增加, TFT 会造成明显的  $V_{th}$  漂移, 直接导致该级的输出行扫描信号延迟增加, 该级像素的充电率与其他级像素充电率的差异将无法忽视, 最后在显示画面中会看到横向的线不良。



(a) 16T1C HBDM In-cell Touch GOA 暂停状态仿真结果



(b) GOA 暂停起始 QAn 仿真结果



(c) GOA 重启前 QAn 仿真结果

图 30 16T1C HBDM In-cell Touch GOA 仿真结果

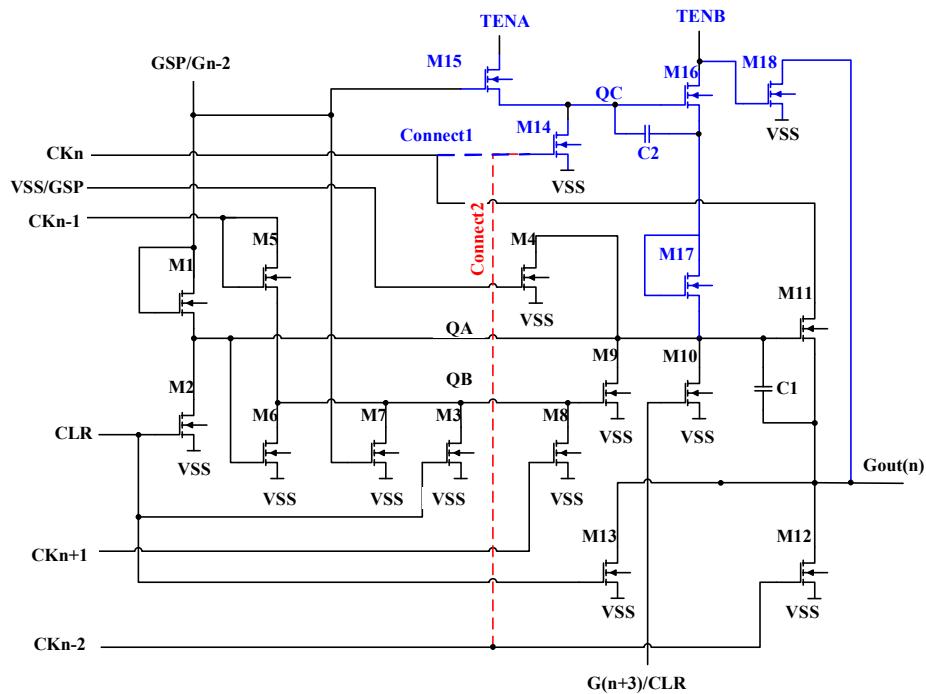
## 4.3 一种高可靠性通用 In-cell Touch 集成栅极驱动电路

### 4.3.1 高可靠性通用 In-cell Touch 集成栅极驱动电路原理图设计

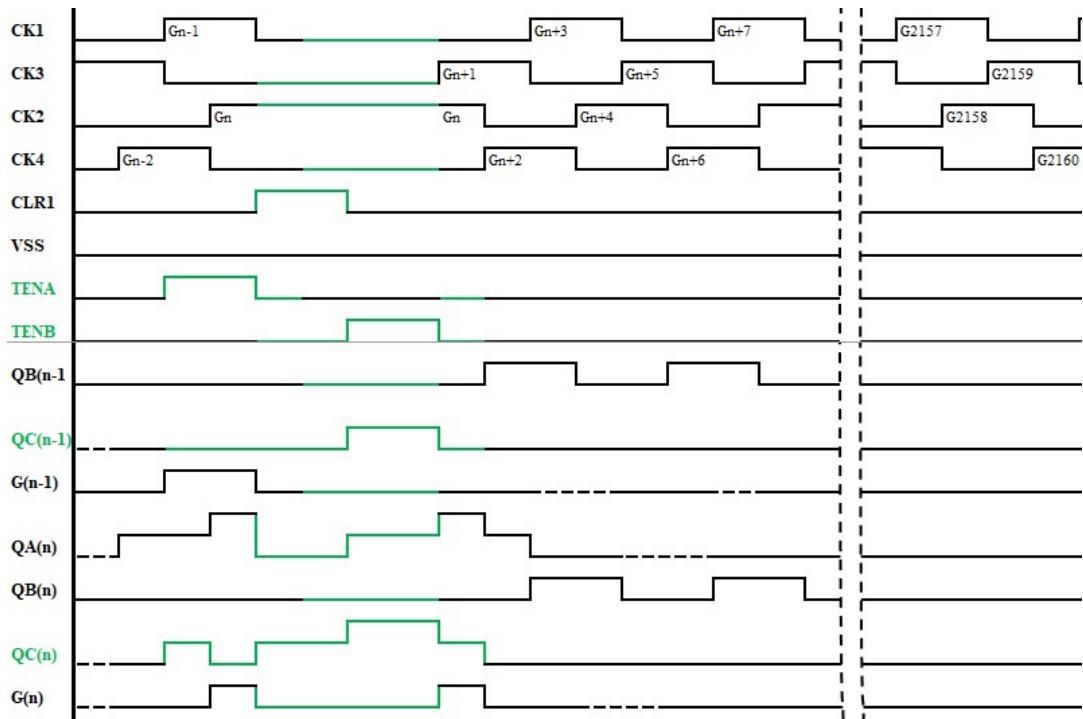
大尺寸高分辨率面板由于一帧的充电时间是普通分辨率面板的 1/2 甚至 1/4，需要检测的区域也成倍增长，而且远端与近端的负载差异较大，基于其苛刻的充电和检测时间要求，大尺寸高分辨率 In-cell 触控面板鲜有报道。Moon 等人在 2015 年提出了一种基于 LTPS 工艺的 In-cell Touch 栅极集成驱动电路<sup>[26]</sup>，该架构将触控检测时间平均分成多份，穿插在显示周期中，每一次寄存器暂停时，IC 检测一定数量的触控区域。与之前在一帧时间的中间暂停检测所有的触控区块的设计相比，该架构的暂停次数增加，但是每次暂停的时间缩短，有效的降低了每一次暂停时的漏电流和 TFT 的 stress 作用时间。但是此架构在暂停时，GOA 中 Q 点仍然维持在高电压，无法从根本上消除 TFT 的 Stress 和 Q 点的漏电流问题。

基于此问题，本案开发了一种新的 GOA 电路，在暂停输出驱动信号的同时，GOA 内部的 Q 点电位被释放，在触控检测结束以前再重新对 Q 点充电，时钟信号恢复后可以继续按照顺序输出栅极驱动信号。如图 31(a)所示，该电路的架构为 18T2C，该电路将触控检测时间平均分成 n 份，每隔一定数量的栅极驱动信号之后 IC 输出触控检测信号，此时所有时钟信号维持暂停前的电位，在触控检测的时间内，GOA 电路输出 VSS 电位的栅极驱动信号，关闭所有像素的充电 TFT，并清除 GOA 内部所有的节点电荷，避免 stress 对 TFT 造成影响。在时钟信号恢复之前，GOA 电路内重新对 Q 点充电，确保触控检测结束后继续栅极驱动信号的输出功能。

相比之前的 GOA 电路，新的架构增加了 TENA 和 TENB 两个触控使能信号，作为暂停和重启电路的触发信号。增加一个 QC 节点，与 M15 和 C2 组成一个电荷存储单元，用于记录暂停前的电路状态，在触控检测结束前将储存的电荷通过 M16 和 M17 再传递回 QA 点，确保 GOA 能够继续暂停前的工作。M14 用于清除 QC 节点的电荷，M18 用来确保在触控检测时扫描线维持在 VSS 电位，防止由于外界干扰造成像素充入错误信号。电路仍然保持每 4 级一个循环，其中第 2 级 M14 栅极的通过 connect2 连接 CKn+2，其他三级均通过 connect1 连接 CKn。



(a) 18T2C 高可靠性 In-cell touch GOA 电路原理图



(b) 18T2C 高可靠性 In-cell touch GOA 驱动时序

图 31 18T2C 高可靠性 In-cell touch GOA 电路

当 IC 准备在 Gn 信号输出时刻中断电路进行触控信号的检测时，IC 将提前输出 TENA 高电平，开始点和维持时间与 Gn-1 一致，此时利用 Gn-2 信号打开 M15，

对  $G_n$  级和  $G_{n+1}$  级的 QC 点充电，其他级 GOA 电路的 QC 通过 M14 维持在 VSS 电位。充电一个脉冲时间后，TENA 的下降触发 CLR 信号对 GOA 输出高电平，CLR 分别控制 M2,M3 和 M18 开打，将 GOA 电路中除 QC 外所有节点和电容的电荷清除，同时将行扫描线维持在 VSS 电位，暂停面板所有像素的充放电，开始对面板做触控检测。此时 CK1 至 CK4 全部维持 CLR 信号到来前的状态，Source IC 暂停输出数据信号，所有信号和电路维持静止状态，提高触控信号的检测精度。同时触控检测线的扰动也不会造成像素信号的错充。在触控检测将要完成时，TENB 提前一个脉冲的时间输出高电平，用于将 QC 点储存的状态送至 QA,以确保在时钟重启时 QA 点已经恢复 GOA 中止前的状态，从而继续依次逐行输出扫描信号。

#### 4.3.2 采用高可靠性通用 In-cell Touch 集成栅极驱动电路的面板设计

如本章第一节所述，我们采用 13T1C GOA 电路已经实现了 27 寸 UHD 面板，该面板具有较高的良率和信赖性。在此基础上，采用 18T2C 电路实现 27UHD In-cell 触控面板。根据调查，成人手指的宽度平均值不超过 7mm<sup>[29]</sup>，为了保证触控精度，因此每个触控区块的宽度设计需小于 7mm。27 寸 UHD 面板的显示区域尺寸大约为 596.7mm x 335.7mm，一共有 3840x2160 个像素，因此设计每个触控区块为 40x40 个像素所占的正方形区域，实际尺寸为 6.216mm x 6.216mm。整个 AA 区共划分横向 96 个区块，纵向 54 个区块。采用 12 颗 TDDI Source 驱动 IC,每颗 IC 对应 960 个 Source output 通道和 432 个 Touch sensor 检测通道。根据 5.5FHD In-cell 触控面板的设计经验，完成一个 IC 控制范围内所有触控区块的检测需要 1.5ms，一帧的时间内所有 IC 同时检测两次触控信号共需 3ms。

如前文所述 18T2C 架构，设计时序如图 32 所示。一帧的时间内检测两次触控信号，每次触控信号拆分成 67 个检测子信号，每 16 级行扫描信号输出后插入一个触控检测子信号，即每隔 96us 进行 24us 的触控检测。行扫描线的脉宽为 12us，后续根据版图的 RC 值和仿真结果调整对应像素的设计。

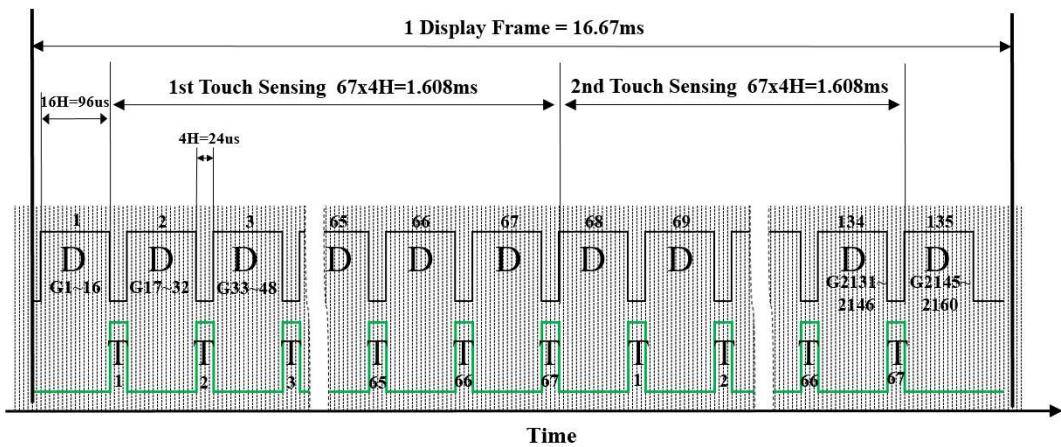
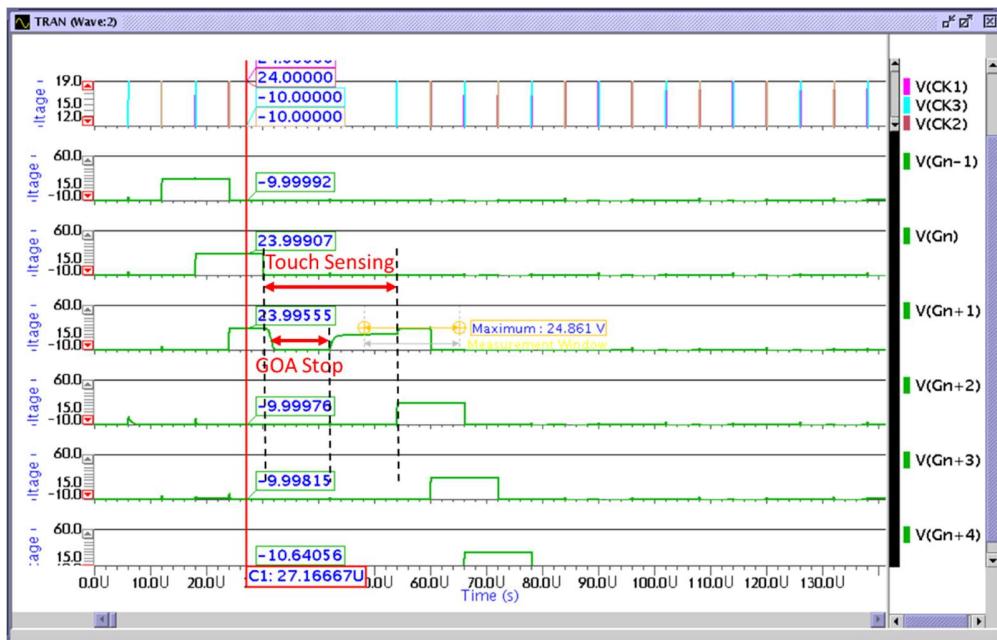
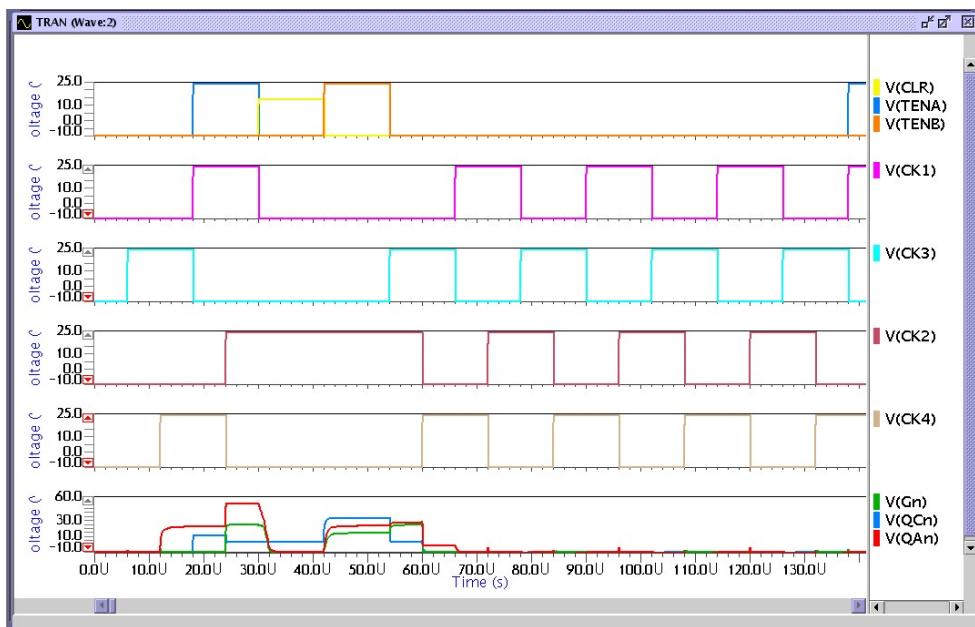


图 32 采用 18T2C GOA 驱动 27inch UHD in-cell Touch 面板设计时序

根据上述设计和初版版图 RC 搭建仿真电路，根据 Eldo 的仿真结果确认，暂停前栅极驱动信号约 24V，触控检测完成后，重启的 GOA 输出扫描信号电平均 24.9V，前后的电位差异来源于内部 QC 点的充电电荷，在此条件下输出行扫描信号没有出现延迟，完全满足充电需求。图 33(b)所示，在触控检测动作期间，QA 点的电位维持在 VSS，不存在漏电流和 stress 的影响。



(a) 18T2C 仿真行扫描信号波形



(b) 18T2C 仿真 GOA 内部 QA 和 QC 波形

图 33 27inch UHD in-cell Touch 面板采用 18T2C GOA 电路仿真结果

#### 4.4 本章小结

本章首先介绍了一款高鲁棒性的 GOA 电路，分析了其运作原理，并采用该电路设计了一款 27 英寸 UHD 显示面板。介绍了从器件模型萃取，到仿真再到版图绘制的大概过程，并成功将该设计流片，做出实际的样品验证。本章第二部分针对 In-cell 触控面板的 GOA 电路架构做了详细的介绍，对业内此类电路发展情况做了分类和说明。本章介绍了开发的 16T1C 的 HBDM GOA 电路，通过仿真验证了该电路的可行性，随后根据仿真结果设计了一款 5.5 英寸的触控面板，绘制版图后将该面板成功制作并点亮。在验证结果的过程中发现该面板虽然报点率和信噪比较高，但是在特定的画面下能看到微弱的横纹。通过对不良现象的分析及查阅相关文献，发现此问题是该类 GOA 电路设计的缺陷。为了解决此问题，并且将触控检测与 GOA 电路同时运用到大尺寸高分辨率的面板上。本章最后介绍了针对此目的 GOA 电路设计，该电路能够应用在任何尺寸的触控面板上，并且解决了前述方案的缺点，通过仿真结果确认能够从根本上改善画质和信赖性。

## 第五章 总结与展望

集成栅极驱动电路发展使面板的集成度进一步提高，采用该技术不但可以进一步的缩窄边框，而且能够节省 Gate IC 的成本。但是受限于工艺制程的稳定性和均一性，集成栅极驱动电路在中大尺寸的面板应用上还没有普及。自从细叶秀雄教授发明 IGZO 材料以来，GOA 电路在中大尺寸的应用上有了进一步发展的可行性。

触控面板也是信息技术发展的产物，而 In-cell Touch 是目前集成度最高的一种触控技术，该技术将触控传感器集成到驱动背板上，在减薄面板的同时增加了显示的清晰度。In-cell 触控面板搭配 GOA 电路是当前面板技术的研究热点，尤其是在中大尺寸面板，由于其区域、负载的增加对驱动能力的要求较高，高分辨率面板又进一步压缩了每一行扫描信号的充电时间，因此本文针对这个课题做了深入的研究并开发了对应的 GOA 电路。在此过程中所作的主要工作总结如下：

1. 介绍了大尺寸面板与小尺寸面板的差异，分析了采用当前量产普及的 a-Si 或者 LTPS 材料的 GOA 在大尺寸上应用困难的影响因素。
2. 介绍了 a-IGZO 材料的发现历史，分析了 a-IGZO 材料与 a-Si、LTPS 材料的差异。绘制了不同沟道长度和宽度的 ES 和 BCE 器件版图，并流片做出了实际样品分析其特性。通过分析样品的输出特性曲线、转移特性曲线确认样品的载流子迁移率、导通电阻、60℃条件下的 stress 等特性。通过分析器件的低频噪声比较两种器件的缺陷差异。
3. 对 GOA 的基本单元和运作原理做了说明。GOA 电路主要需要解决的问题是功耗和寿命，受到电路运行状态和环境的影响，器件的不稳定性主要反映在  $V_{th}$  偏移上。结合 GOA 的电路结构，研究总结了应对  $V_{th}$  偏移的几种方法。
4. 基于一种 13T1C 的高信赖性 GOA 电路，开发了针对 In-cell Touch 面板的 GOA 电路，该电路为 HBDM 16T1C 架构，时序采用 4 个时钟信号和一个复位信号，针对 GOA 电路中最复杂的下拉维持模块设计了多个维持电位的 TFT，通过分时驱动的方法交替打开，以减少 Stress 的影响。运用 13T1C 电路设计了一款 27 英寸 UHD 面板，运用 Mentor 软件对原理图进行仿真确定对应的器件尺寸，根据仿真结果和 ES IGZO TFT 的工艺参数设计该面板的版图，并将该版图制作掩模版后流片，做出实际的面板，通过该面板验证了 IGZO 的驱动性能。运用 16T1C 电路设计了一款 5.5 英寸 FHD In-cell Touch 面板，并绘制版图，制版后做出实际的样品，通过量测显示器指标和信赖性确认电路的实际效果。

5. 根据 5.5 英寸 FHD In-cell Touch 面板的测试结果，总结优缺点后重新设计了 18T2C GOA 电路，该电路能够驱动大尺寸高分辨率 In-cell 触控面板，该电路能够在扫描信号暂停的时候将 GOA 中所有节点的电荷清除，并且在重新启动 GOA 后输出不失真的扫描信号，避免了漏电流和 Stress 对电路的影响。最后通过仿真验证了该电路的可行性。

由于时间关系，本文还存在以下一些问题和工作，需要进一步的改进和完善：

1. 需要确认最终 2160 级 GOA 电路的驱动能力是否充足。
2. 需要实际绘制出 27 英寸 UHD In-cell Touch 面板的版图，根据版图和工艺提取负载，并将负载加入电路进行仿真确认。
3. 将该 ES 型 IGZO 的 GOA 电路绘制版图，并流片做出测试样品，根据样品的测试结果确认设计是否存在问题，并根据测试结果进一步优化设计方案。

## 致谢

时光飞逝，岁月如梭，一转眼三年的研究生生活即将结束，其中有太多的不舍和感激。

由衷的感谢我的校内导师赵涤燹教授，在我论文选题的初期给我很大的帮助，让我更加清晰的认识到论文研究的意义和方向。在我论文编写的过程中给予了很专业性的指导。赵老师缜密的思维和清晰的判断力使我印象深刻，他深厚的理论功底、严谨的治学态度以及为人处事的风格使我受益匪浅，这也将是我今后工作生活的榜样。

由衷的感谢我的校外导师周刘飞，在工作和学习的过程中给我很多的建议和帮助，纠正我很多错误，使我能一直成长和前进。他全面的视野和分析问题的能力帮助我在硕士学习期间收获很多。

由衷的感谢陈莹梅教授，在我硕士学习期间给予我很多帮助和指导，使我在读硕士期间能够参与到很多的实验室项目设计中，并从中收到很大的启发和感悟。

由衷的感谢赵嘉宁老师和王楠老师，在我的硕士学习期间给予我生活上和工作上莫大的支持和帮助，让我顺利的度过每一次的考验。她们严谨的治学态度和无私的奉献精神值得我永远学习。

另外还要感谢在实验室遇到的各位同学，以及开发团队中的每一位同事，是他们兢兢业业的工作和学习才使得项目顺利开展，是他们点滴的付出和敬业的态度才使得项目取得优秀的成果，不论是在前期的评估准备阶段，还是中期的设计阶段，他们都将项目开发放在首位，遇到问题时加班加点，让我感受到团队的凝聚力，陪我走过了一段美好的时光。

我特别要感谢我的家人，在我漫长的求学道路上默默的在背后支持，在工作和学习交替忙碌的时间里，永远做我最坚强的后盾。

衷心感谢所有关心和帮助我的人！

最后，感谢所有在百忙之中抽时间评阅本文的专家学者。

## 参考文献

- [1]Shigeyuki Yamada , Fumikazu Shimoshikiryoh ,et al. Development of a 27-in. 8K x 4K Liquid-Crystal Display Utilizing an InGaZnO TFT Backplane[J]. Journal of the SID, 2016, 480-483.
- [2]陈志强.LTPS低温多晶硅显示器技术[M].全华科技图书股份有限公司.
- [3]戴亚翔. TFT LCD面板的驱动与设计[M].五南图书出版股份有限公司.
- [4] Seung-Hwan Moon, Yong-Soon Lee, Min-Cheol Lee, et al. Integrated a-Si:H TFT gate driver circuits on large area TFT-LCDs [J]. in Proc. SID Symp. Dig., vol.38, no.1, pp. 1478-1481, May 2007.
- [5] Dora Plus, “shift register useful as a select line scanner forliquid crystal display,” U.S. Patent 5,222,082,1993
- [6] F.P.Cuomo ,R.G.Stewart , R. Huq , et al. Sub-Notebook a-Si Color SVGA Display with integrated Drivers [J]. Journal of the SID, 1998, 35.2.
- [7] Sang-Soo Han, Kyoung-Moon Lim, Juhn S. Yoo ,et al. 3.5 inch QVGA Low"Temperature Poly"Si TFT LCD with Integrated Driver Circuits [J]. Journal of the SID, 2004, P-2.
- [8] Jin Jeon, Kyo-seop Choo, Won-Kyu Lee ,et al. Integrated a-Si Gate Driver Circuit for TFT-LCD Panel [J]. Journal of the SID, 2004, 3.2.
- [9] Min-Cheol Lee, Yong-Soon Lee, Seung-Hwan Moon, et al. Driving Method of Integrated Gate Driver for Large Area LCD-TV [J]. Journal of the SID, 2008, 55.3.
- [10] Shyh-Feng Chen, Lee-Hsun Chang, Jing-Ru Chen , et al. Integrated a-Si TFT Gate Driver with Reducing Clock Duty Ratio [J]. Journal of the SID, 2009, P-4.
- [11] Chien-Hsueh Chiang, Kunyo Liu, Wentsai Sheu , et al. A Novel Amorphous Silicon Gate Driver with Enhanced Driving Capability [J]. Journal of the SID, 2010, 4.1.
- [12] Takeshi Osada, Kengo Akimoto, Takehisa Sato , et al. Driver-circuits-integrated LCDs based on novel amorphous In–Ga–Zn–oxide TFT [J]. Journal of the SID, 2010, 18/4.
- [13] Chih-Lung Lin, Chia-En Wu, Ching-En Lee. New a-IGZO TFT Gate Driver Circuit with Threshold Voltage Shift Recovery Driving Scheme [J]. Journal of the SID, 2015, P-14.
- [14] Shijie Cao, Zhijin Hu, Congwei Liao , et al. A Low-Power ESL a-IGZO TFT Integrated Gate Driver Circuit [J]. Journal of the SID, 2016, P-41.
- [15] Seung-wan Cho, Byeong-seong So, Young-sung Cho, et al. Integrated a-Si Gate Driver for Touchscreen Technology Known as AIT [J]. Journal of the SID, 2017, 9-2.
- [16] Hiroyuki Ohshima, Shinji Morozumi, Future Trends for TFT Integrated Circuits on Glass Substrates, in IEDM Tech. Dig. IEEE Int. Electron Devices Meeting,pp. 157-160, Dec1989.
- [17] 刘远, 吴为敬等.非晶铟锌氧化物薄膜晶体管的低频噪声特性与分析[J].物理学报, Vol.63,No.9(2014) 098503.
- [18] Chang-Wook Han, Min-Koo HAN, Nack-Bong CHOI2,et al. A Substrate Bias Effect on Recovery of the Threshold Voltage Shift of Amorphous Silicon Thim-Film Transistors[J]. Jpn. J Appl. Phys. pp.4042-4045, (2007).
- [19] D. Kang, Hyuck Lim, Changjung Kim ,et al. Amorphous gallium indium zinc oxide thin film transistors: Sensitive to oxygen molecules[J]. Appl. Phys. Lett. 90 (2007).
- [20] Reza Chaji and Arokia Nathan. Transistor Circuits and Systems[M].Cambridge University Press.
- [21] 郭丽丽. 基于TFT-LCD工艺技术改善On-cell触控层的抗腐蚀性研究[D].苏州大学, 2014.
- [22] 王岩. On-cell 触摸器件ITO 图形可见问题研究[D].上海交通大学, 2016.
- [23] 林少军. 3D双曲面投射式电容屏的设计与制作[D].厦门大学, 2017.
- [24] Masahiko Nakamizo, Masashi Yonemaru, Yasuaki Iwase ,et al. A Low Power Consumption and High Reliability Architecture for a-Si TFT Gate Driver on Glass [J]. Journal of the SID, 2010, 4.2.
- [25] Chen-Hao Chiang, Yang-En Wu, Kai-Ting Ho , et al.. Mutual-Capacitance in-cell Touch Panel [J]. Journal of the SID, 2016, 39-1.

- [26] S.H. Moon, I. Haruhisa, Kwan Kim, et al. Hight robust integrated gate-driver for in-cell touch TFT-LCD driven in time division driving method [J]. *Display Technol.*, vol. 12, no. 5, pp, 435-441, May 2016.
- [27] Ming-Yang Deng, Meng-Chieh Tsai, Yung-Chih Chen ,et al. Design of a-Si:H Bidirectional Gate Driver Circuit Using Time Division Driving Method for In-Cell Touch Active-Matrix Liquid Crystal Displays [J]. *Journal of the SID*,2017,49-2.
- [28] Wei Xue, Jian Tao, Lei Lv, et al. Overcoming an Abnormal Horizontal Dim Lines of an In-cell Touch Display [J]. *Journal of the SID*,2018,69-2.
- [29] Jaehun Jun, Yongwoo Choi, Hongju Lee, et al. 43 Inch UHD Digital Kiosk System Using Advanced In-cell Touch Technology [J]. *Journal of the SID*,2018,69-1.
- [30] Yong Ho Jang, Soo Young Yoon, Binn Kim ,et al. A-Si TFT Integrated Gate Driver with AC-driven Single Pull-down Structure [J]. *Journal of the SID*, 2006, P-5.
- [31] Seonghyun Jin, Suhui Lee, Eunji Lee ,et al. Stability Enhancement of Oxide TFTs by Blue Laser Annealing [J]. *Journal of the SID*, 2015, P-154L.
- [32] Dongsik Kong, Hyungkwang Jung, Yongsik Kim , et al. Late-News Poster: Density-of-States Based Analysis on the Effect of Active Thin-film Thickness on Current Stress-induced Instability in Amorphous InGaZnO AMOLED Driver TFTs [J]. *Journal of the SID*, 2011, P-202L.
- [33] 郑灿. a-Si: H TFT 集成栅极驱动电路研究[D].北京大学, 2013.
- [34] Jan M. Rabaey, Anantha Chandrakasan. *Digital Integrated Circuits A Design Perspective* [M].电子工业出版社.
- [35] 王志功, 陈莹梅. 集成电路设计 [M].电子工业出版社.
- [36] 陈莹梅, 胡正飞. 模拟集成电路EDA技术与设计 [M].电子工业出版社.
- [37] Byung Seong Bae, Jae Won Choi, Oh, Jae Hwan, et al. Level Shifter Embedded in Drive Circuits With Amorphous Silicon TFTs [J]. *Journal of the IEEE*, 2004, *Electron Device Letters*, vol. 25, No. 4.