

学校代码： 10246

学 号： 093030006

復旦大學

硕士 学位 论文 (专业学位)

AM-OLED 驱动及测试方法的研究

院 系： 材料科学系

专 业： 材料工程

姓 名： 戴其兵

指 导 教 师： 吴晓京 教授 龙春平

完 成 日 期： 2011 年 10 月 20 日

论文指导小组：

校内导师：吴晓京 教授

企业导师：龙春平 博士

摘要

有机发光二极管（Organic Light Emitting Diode, OLED）显示器有着结构简单、超薄、自发光、高亮度、响应时间快、大视角、高效率、低工作电压、低成本等优点，成为了平板显示技术中的一颗新星。作为新一代显示器件，OLED 在手机、个人电子助理、数码相机、车载显示、笔记本电脑、壁挂电视以及军事领域都具有广阔的应用前景。目前，OLED 正朝着大尺寸、高清晰度和高分辨率的方向发展，而这也逐渐成为了国内外研究的一大热点。

本文阐述了 OLED 器件的结构和发光原理，介绍了 OLED 的驱动方式及灰度调制原理，着重对 GOA 驱动电路和一种测试方法做了研究。

目前 TFT-LCD 的显示器件在行扫描时大都是需要外面的 gate IC 驱动，而 AM-OLED 里背板一般采用 LTPS TFT。由于 LTPS TFT 的特性优势以及为减低成本，AM-OLED 多采用 GOA（gate on glass）电路直接驱动，使 GOA 驱动电路的可靠性、实用性成为一个重要的研究课题。

当前国内还未实现 AM-OLED 的量产化，各大企业还处于研究及样品试验阶段，那么在研究背板以及 OLED 特性和测试样品的时候，需要对整个模块进行上电驱动，但是目前 AM-OLED 的驱动 IC 非常少，国外量产时使用的又多为定制化驱动 IC。

本文研究了一种新的 GOA 驱动电路，具体阐述了驱动原理并进行了仿真验证，另外也研究了一种用 TFT-LCD 驱动 IC 来驱动 AM-OLED 模块进行测试的应用方法。

关键词： OLED，驱动，测试方法

中图分类号： TN27

ABSTRACT

Organic Light Emitting (OLED) display technology has become a new star of a flat-panel display technology, which not only have the advantage of simple structure, ultra-thin, self-shining, high brightness, fast response, wide visual angle, high efficiency, low-voltage, low cost and so on. As a new generation of display devices, OLED will be widely applied in the field of the cell phone, PDA, digital cameras, car show, notebook computers, wall-hanging television, as well as military. At present, large-size, high-definition and high-resolution display has become a trend, and OLED has been a major hot spot both at home and abroad.

This paper describes the structure and light-emitting principle of OLED, introduced the OLED driving and grayscale modulation principle, focusing on the GOA driving circuit and a test method to do the research.

Currently, TFT-LCD display device line scan are mostly outside the gate IC drivers needed, and AM-OLED backplane commonly used in LTPS TFT. LTPS TFT characteristics as well as reduce the cost advantage, AM-OLED multi-use GOA (gate on glass) direct-drive circuit. The GOA drive circuit reliability, availability has become an important research topic.

China has not yet achieved the current AM-OLED mass production of the major companies in the research and sample testing phase, then the backplane and OLED characteristics in the study and test samples, the need for the entire module on the electric drive, but currently the kinds of AM -OLED driver IC is very small, the use of foreign production by kids customized driver IC.

In this paper, a new GOA drive circuit specifically addressed the driving principle and simulation verification, while also studied using a TFT-LCD driver IC to drive the AM-OLED module testing application methods.

Keywords: OLED, drive, test method

Classification Code: TN27

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 目前几种主流平板显示技术简介	1
1.3 OLED 技术的优势	3
1.4 OLED 技术的发展历程	4
1.5 OLED 的研究动态	5
1.6 本文的主要内容及创新点	7
第二章 AM-OLED 的结构和工作原理	8
2.1 OLED 器件的结构	8
2.2 OLED 器件的材料	9
2.3 OLED 的工作原理	11
2.4 OLED 器件的制作及工艺	12
第三章 AM-OLED 的驱动及 GOA 电路研究	15
3.1 无源驱动	15
3.2 直流驱动与交流驱动	16
3.3 有源驱动	17
3.3.1 非晶硅 TFT 技术	18
3.3.2 多晶硅 TFT 技术	19
3.4 现有的 OLED 驱动芯片的状况	22
3.5 GOA 电路的研究	23
第四章 灰度调制技术概述	26
4.1 灰度调制简介	26
4.2 模拟驱动方式	26
4.3 数字驱动方式	27
4.3.1 面积灰度(ARG)原理	28
4.3.2 时间灰度(TRG)原理	29
第五章 AM-OLED 模块的测试方法及测试电路设计	31
5.1 灰度的实现原理	31
5.2 系统的构成和功能描述	32
5.2.1 FPGA 简介	33

5.2.2 系统的构成	33
5.2.3 单元电路的功能介绍	36
5.3 系统的设计实现	37
5.3.1 行扫描和 OLED 驱动时序产生单元的设计	38
5.3.2 存储器模块的设计	39
5.4 一种 AM-OLED 模块驱动设计应用方法	45
5.4.1 要解决的技术问题	45
5.4.2 技术方案	47
5.4.2 具体实施方法	50
5.4.3 有益效果	53
第六章 总结和展望	54
参考文献	55
致谢	56

第一章 绪论

1.1 引言

随着科学技术的发展，电子显示技术也在不断地更新换代。从传统的阴极射线管（CRT）发展到液晶屏（LCD），以液晶显示（LCD）和等离子显示（PDP）为代表的平板显示产业，已经在便携式和大屏幕显示领域取代了 CRT 显示器件的统治地位，FPD 的优势已经被人们所认可。

现在向第 3 代显示技术过渡，在研究开发方面竞争得最激烈的是 PDP、OLED、LCD。它们各有所长，但追求的最终目标都是一样的，即要求达到质量轻、厚度薄，高亮度、快速响应、高清晰度、低电压、高效率、长寿命、低成本。

LCD 是目前应用最广泛的主流平板显示技术，从小尺寸的手机、PDA、MP3/MP4、数码相机，到中等尺寸的笔记本电脑、监视器，到大尺寸的液晶电视等主流消费电子产品都有它的广泛应用。PDP 则在大尺寸电视领域占据一席之地。然而，LCD 有其固有的缺点：视角不够宽、响应速度不够快、对比度不够高、功耗不够低。而 PDP 显示器，由于复杂的显示屏制造工艺和驱动电路，使其在成本上不具备竞争优势。特别是等离子显示技术无法应用于中小型显示器（发光效率随发光尺寸减小而大幅下降），因此失去了移动显示、IT 显示、车载显示等需要中小尺寸显示器的巨大市场。

与之相比，OLED（有机发光二级管）显示器具有主动发光、发光效率高、对比度高、分辨率高、功耗低、色域宽、轻、薄、无视角限制，并且发光材料丰富，易实现彩色显示；响应速度快，动态画面质量极高；使用温度范围广、抗震能力强；可实现柔性显示等等显著优势。因此 OLED 是目前世界平板显示产业公认的最有可能在未来的平板显示器市场上占据霸主地位的新一代显示技术。由于全球越来越多的主流显示器件厂商和消费电子巨头纷纷投入 OLED 产业链中关键技术的研发，大大的推动了 OLED 的产业化进程，使得 OLED 产业的成长速度日益加快。本文的主要研究就是针对 OLED 的驱动和测试工作开展的。

1.2 目前几种主流平板显示技术简介

目前主流平板显示器件包括液晶显示器件（LCD）、等离子体显示器件（PDP）、发光二极管显示器件（LED）、场发射显示器件（FED）、无机电致发光器件（EL）、有机电致发光器件（OLED）等，以下分析几种平板显示器的特点。

（1）等离子显示器（PDP）

等离子显示器（PDP）是目前看好的平板显示技术之一。PDP 从 60 年代至今已经研究开发了多种结构，现在日本富士通公司研究的条形壁障三电极交流 PDP 被广泛的接受。数字电视的播放促进着 PDP 的发展，富士通、三菱、松下、先锋、日立、NEC 等都

在计划和正在扩大生产。PDP 是靠氦、氖、氩、氪等惰性气体放电，产生紫外线，激发荧光粉发光。

设计和结构：等离子显示器让电流通过气体产生带电的等离子体来工作。放电时产生的不带电的紫外线照射到喷涂有磷光材料的面板的背部。当受到紫外线的激励时，磷光发出的光穿过屏幕到达使用者。

优势：等离子体显示器的响应时间短，能够用于电视和电影的播放。这种显示器能够在很薄很轻（重量不超过 100 磅）的情况下做到 50 英寸，这种技术的发光原理也是发射性的，所以可以做到和 CRT 相似的可视角度。

缺点：等离子显示的主要问题是使用寿命较短。有些产品的寿命为 10,000 小时，也就是连续使用 13 个月左右它们的亮度就会因为荧光粉的老化而降低一半。不过一些新的设计可以使它的寿命接近 CRT 技术，增加到 20000~30000 小时，但是这种显示技术功耗大，并且价格贵。

(2) 场致电子发射显示器 (FED, Field Emitter Displays)

FED 的概念就是将 CRT 的电子枪前移，直到荧光粉的背后。和 CRT 用三个电子枪覆盖整个屏幕不同，场致发射显示器上的每个子像素后都有很多发射“枪”。这样做的结果就是利用一个很薄的屏幕可以显示象 CRT 一样的画面。

设计和结构：这种技术的实现是通过在每个像素后加上数十个微小的电子发射器，使在整个屏幕上布满了几千万的发射器，当接通电源时，电子就直接激发需要发光的荧光粉，使荧光粉发光。

优势：这种技术的最大优点在于使用发射技术，在保持和 LCD 一样厚度时具有极佳的可视角度。它的响应时间比主动矩阵 LCD 要短得多，可以应用于电视和电影的播放。面板的结构相对简单，而且发射器的数量大大过剩，使合格率更高，即使十分之一的发射器失效，亮度的损失也可以忽略。

缺点：这种技术很难被应用于便携式设备，并且比最初设想的更难制造，同时在尺寸方面有限制。

(3) 有机发光二极管 (OLED, Organic Light Emitting Diode)

OLED 是当前业界的热点，很多公司正在对此进行研发，并努力将该技术推向市场。

设计和结构：OLED 依靠一些以碳为基础的分子，在通电时发出不同颜色的光。有些材料可以被制成像塑料一样的聚合体，它可以通过印刷处理在显示器上应用。低信息密度装置能以被动式矩阵技术为基础，但是电视和电脑用的高信息密度显示器需要主动式矩阵开关。

优势：OLED 显示器使用较低的电压因而可以在更低的能耗下工作，并且可以非常

轻、薄，制造工艺相对简单，而且材料寿命较长。因为是主动发光，其可视角度更宽。

缺点：由于要适应电脑和电视的显示要求，OLED 必须采用主动矩阵技术，这就使得 OLED 不可避免的要面临和主动矩阵液晶同样的合格率问题。

(4) 电致发光显示器 (EL, Electroluminescent)

电致发光材料是另外一种通电后能发光的化合物。它们一直以来被广泛用作低信息密度显示器的背光，但是近几年来，一些公司努力开发用在娱乐和计算机等高信息密度市场中的产品。

设计和结构：结构简单，它使用数层较 LCD 更厚的无机物材料。

优势：这种技术具有很多优点。比如坏点对质量的可见影响很小，所以用于保持超净环境的成本将大大缩减。就像其它的发射型设计一样，这种显示技术具有较短的响应时间和很大的可视角度。

缺点：EL 在近期的主要应用将局限于电视。如果成本优势得以体现的话。这种技术将可以和大尺寸的 LCD 和等离子体显示器在超薄电视市场进行竞争^[10]。

1.3 OLED 技术的优势

有机发光二极管 (OLED) 的一般结构是在金属阴极和透明阳极之间夹一层有机电致发光介质。在电极间施加一定的电压后，这层发光介质就会发光。OLED 具有主动发光、低功耗、重量轻、高效率和生产成本低等优点。

有机电致发光器件 OLED 近来被广泛看好，许多公司下大力气进行研究，国内目前也有京东方、天马、维信诺等公司在进行研究，目的是实现产业化。在所有的平板显示器件中，目前只有 EL 属于全固态器件，有着其它类型器件所不具备的独特优点，如重量轻、耐冲压、温度范围宽等，并可以制成可适度弯曲的柔性屏。OLED 更是用于航空航天显示领域。

OLED 现在主要用在单色中小屏幕字符显示，由于其主动发光特性，在一定程度上可能挤占液晶器件的部分市场。微小型屏幕彩色显示在高低温等液晶难以工作的特殊场合下可望得到应用。若发光效率能有很大的提高，OLED 在笔记本电脑等领域可能得到一定的应用。

OLED 的技术优势可以总结为以下几点：

(1) OLED 器件的核心层厚度很薄，厚度可以小于 1mm，为液晶的 1/3，OLED 器件单个像素尺寸可以相当小，非常适合应用在微显示设备中。

(2) OLED 器件为全固态，无真空、抗震性好，可以适应巨大的加速度、震动等恶劣环境。

(3) 主动发光的特性使 OLED 几乎没有视角问题，视角一般可达到 160 度，具有较宽的视角，从侧面看也不会变暗。高亮度，大多数 OLED 材料亮度大于 10000cd/m²，因此可

以提供明亮的画面。

(4) OLED 显示屏的响应时间比 TFT-LCD 液晶屏快。OLED 显示屏的响应时间大约是几微秒到几十微秒，因此，OLED 显示运动图像的质量要好于常规的 TFT-LCD 液晶屏。

(5) OLED 低温特性好，在-10℃仍能工作正常显示，而液晶屏的响应速度随温度发生变化，在低温下，其响应速度变慢。

(6) OLED 显示屏采用有机发光原理，所需材料很少，制作上比液晶显示屏的工序少，成本低。

(7) OLED 采用的二极管是主动发光，因此不需要背光源，发光转化效率高，能耗比液晶低。OLED 是通电后自发光，能够做到超轻超薄，其显示效果比液晶显示器更清晰、柔和。

(8) OLED 能够在不同材质的基板上制造，甚至可以将电路印刷在弹性材料上做成能弯曲的柔软显示器，未来的显示器可以像百叶窗一样卷起，甚至可以卷起来带着走，还可以根据客户的需求加以设计。

(9) 低电压直流驱动，基本 10V 以下，电池即可驱动。

(10) 显示能力方面，OLED 发光颜色丰富，其发光颜色可覆盖整个可见光区，近紫外光区及红外波段。而且由于没有背光灯的影响，所以当像素在显示褐色时，也可以达到全黑画面，在对比度上有优势。

1.4 OLED 技术的发展历程

早在 20 世纪初，人们就发现了有机电致发光现象，在 20 世纪 60 年代，Pope 首次在蒽单晶上实现了电致发光，但由于当时需要在大于 100V 的驱动电压下才能观察到明显的发光现象，且量子效率也很低，还由于受各种条件的制约，未能很好地解决成膜质量差和电荷注入效率低等问题，所以有机电致发光的发展一直处于停滞不前的状态。

直到 1987 年，美国柯达公司 Tang 和 Van Slyke 采用络合物 Alq₃ 作为发光层，分别用 ITO 电极和 Mg: Ag 电极作为阳极和阴极，制成了高亮度 (>1000cd/m²) 的绿光有机电致发光，得到了量子效率为 0.05% 的蓝绿光输出，其驱动电压小于 14V。由于聚合物材料的制作工艺、稳定性及化学修饰性都比有机小分子更为优越，所以聚合物 PPV 及 PPV 衍生物材料的研究进一步地推动了有机电致发光薄膜的研究，使之成为新的研究热点。

1990 年，剑桥大学 Cavendish 实验室 BuMughs 等人，采用聚对苯乙烯 (PPV) 作为发光材料，制成聚合物电致放光器件，从而使聚合物发光材料同样受到各国科学家的高度重视，研究工作非常活跃。

有机电致发光的研究历史，大致可分为以下几个阶段：

- (1) 1960 年至 1980 年，对有机单晶体 EL 现象的研究
- (2) 1980 年至 1987 年，对超薄膜 EL 有机薄膜 EL 现象的研究
- (3) 1987 年至今，对多层有机薄膜 EL 现象的研究

- (4) 1990 年至今，对多种有机高分子聚合物 EL 现象的研究
- (5) 1995 年至今，有机电致发光器件（OLED）的研制与开发
- (6) 1997 年，日本先锋公司（Pioneer）市售第一台 OLED 得 VICS 汽车电子信息系统。

自 1987 年，Kodak 公司最早发表其研究成果以来，全世界许多企业和研究机构开始致力于小分子有机 EL 器件的相关课题的研究，有关的专著文献和专利的数量每年成百上千地递增^[9]。

1.5 OLED 的研究动态

OLED 分为两大技术体系，小分子的 OLED 和高分子的 PLED。相对 PLED，小分子 OLED 较易彩色化，工艺稳定，但生产设备较 PLED 昂贵，其驱动电压也较高，产品耗电也就相应较高。目前，业界普遍让小分子将朝高附加值产品方向发展，PLED 将在低附加值的产品上应用。全球在 OLED 的研究上，也呈现不同的发展方向。柯达公司在小分子 OLED 领域，拥有有源矩阵和无源矩阵的 OLED 专利，而英国剑桥显示技术 CDT 拥有 PLED 专利技术（该公司将其称之为 LEP）。整个 OLED 市场也就由此被分为两大类别。

小分子 OLED 方面，柯达掌握了小分子 OLED 材料的专利，该公司拥有多项专利，奠定其在这一领域的地位。其它公司也相继开展材料的研究，如杜邦、LG 化学等。在产品开发方面多为日本及台湾厂商。

在日本，Pioneer 早在 97 年就推出了有机 EL 显示器。该公司目前又推出了全彩、应用于汽车音响的有机 EL。由于日本在低温多晶硅方面走在世界前列，而这一技术又与 OLED 联系密切，SONY 公司在 SID2001 显示器大展上就展示了 13 英寸等级的大尺寸全彩有源矩阵式 OLED，东芝也推出了可显示 26 万种颜色的 2.85 英寸全彩 OLED。

三洋电机、SEIKO EPSON、SONY、TDK、东北 Pioneer 等日本电子厂商，以及出光兴产、三菱化学等非电子厂商，相继投入主动式 OLED 市场。Sony 和 Kodak 成立了一个名为 SK Display 的全球性盒子企业，为消费设备制造 OLED，其最初的产品就是分辨率 521X218 的 2.16 英寸的 AMOLED 显示器。

在大面积显示方面，日本的出光兴产、索尼一直走在前面。在日本东京 BigSight 举行的显示器相关展会“EDEX2002 显示器展览”会展上东芝松下的 17 英寸显示屏再次引发 OLED 电视接收机和电脑显示终端的热潮。日本新能源工业技术综合开发机构（NEDO）也将启动 60 英寸 OLED 和薄膜式显示器研究计划，预算规模为 10 亿 2400 万日元。该计划将对研究以单位注入电子可以产生多个光子的机制、开发高效率发光元件材料、以及研究使用于有机膜的大面积安装技术等举行课题筛选，并确立技术开发方向。

在薄膜式显示器以及驱动电路的开发项目中，将对于拥有 10MS 左右发光保持时间的有机主动式发光元件的研究、高速的有机晶体管、可以印刷的有机薄膜晶体管以及弹性封

装技术进行课题筛选，并对技术开发方向等进行可行性研究。此项计划将进一步推动大面积 OLED 显示技术的快速发展。

在台湾，有机电激发光显示器（OLED）厂商今年积极研发 OLED 产品及生产技术，在各方面都有很大的进展，市场人士预期，台湾未来将成为全球 OLED 生产重镇。莱宝已经进入了量产阶段。其他台湾厂家紧随其后。

很多台湾厂商将发展重点放在市场潜力较好的 AM-OLED 上，由于投产主动式 OLED 需使用到低温多晶硅（LTPS）技术，因此，LTPS 技术将成为厂商投产必要技术。目前除莱宝光电导入 LTPS 技术外，多数台湾 OLED 厂商 LTPS 技术尚未成熟，厂商将在自行研发和与海外具有 LTPS 生产技术厂商合作中选择其一进行。

韩国厂商也是 OLED 领域的大户。三星和 DMS 正联合开发 OLED，三星和 NEC 的合资公司已开始量产耗电小于 100mW 的无源式手机彩色有机 EL 显示屏。LG 早在 96 年就开始在 OLED 材料领域的研究，其产品的量产阶段已经开始。目前南韩已有三星 SDI、LG 电子、现代电子、ELIA TECH 与 SmartDisplay 等 10 余家南韩业者宣布跨足 OLED 面板事业。ELIA TECH 将以大陆为生产基地，输出 OLED 面板生产技术给其在中国大陆的合资企业并同时输出给南韩的 SmartDisplay 企业，以低成本的目标加入未来市场竞争。

欧美的 OLED 也启动较早，OLED 的两大对峙阵营 Kodak 和英国的 CDT（剑桥显示）采用了不同的生产方法。Kodak 采用真空加热蒸汽涂覆的方法来进行 ITO 基底的涂覆，主要涉及用于 SME 应用。CDT 则采用与印刷类似的旋转涂布方法，主要用于大型设备。在两种方法中，ITP 面板的质量及 OLED 的涂覆技术都是影响元件性能的重要原因。eMagin 在多年前就推出了全球首款全彩色有源式 OLED 显示器，在有源矩阵 OLED 显示器领域领先一步。

高分子 PLED 方面，CDT 是 PLED 材料研究领域的先锋。其它公司也纷纷开始 OLED 材料的研究，杜邦和台湾的莱德就是业界的典型代表。在产品开发领域，主要是欧美厂家，日本和台湾厂家数量则不多。飞利浦是最早从 CDT 处取得专利授权的厂家之一。Uniax、杜邦、MicroEmissive 和 OSRAM 也相继与 CDT 合作或取得授权，希望在 PLED 领域有所作为。在日本，精工爱普生与 CDT 结成同盟，已经合作开发了像素间距高达 100ppi 的 2.8 英寸有源式面板。

在大陆只有清华大学起步较早。目前，清华有机 EL 项目组已经在材料合成、工艺、驱动电路的设计等领域有了突破型进展。并且，清华已经在上海建立了实验性生产线，迈出了大陆 OLED 产业化的第一步。吉林大学也在 863 计划的支持积极开展 OLED 的研究。然而，技术需要产业界的支撑。大陆的产业界应该与这些高校进行优势互补，以较小的投入迅速实现 OLED 产业化。清华在材料领域的突破，可以解决产业界对欧美材料供应的依赖；同时，制造商如在制造技术、经验方面能结合高校在工艺上的研究成果，则可解决昂贵的 OLED 生产设备只能依赖进口的局面。我们也欣喜的看到，大陆已经有产业界进

进入到 OLED 领域。上海天马的 OLED 项目已经通过专家论证，并已购入设备试样，京东方也进入样品研发阶段^[9]。

1.6 本文的主要内容及创新点

本文在首先了解 AM-OLED 的结构和基本工作原理后，结合目前 AM-OLED 产业化过程中所应用的技术，针对驱动及测试方面做了研究。

主要创新点：

1.因为 LTPS TFT 的特性优势以及目前普遍减低成本为考虑，所以比较目前最为普及的 a 硅 TFT 在驱动时，通常减少了 gate 驱动 IC，而是采用一种叫做 GOA (gate on glass) 的电路（或者叫移位寄存器电路）直接做在 Cell 上替代了一颗 IC,减少了成本。本文研究了一种新的 GOA 电路结构。

2.针对测试 AM-OLED 模块时，目前驱动 IC 极为欠缺，仅有少数定制型 IC，那么在研究阶段就有因为缺少 AM-OLED 驱动 IC 而不能做成模块的尴尬，而目前 TFT-LCD 的 IC 却非常丰富，本文研究了一种用 TFT-LCD 的 IC 替代 AM-OLED 驱动 IC 做测试时的应用方法。

第二章 AM-OLED 的结构和工作原理

2.1 OLED 器件的结构

目前 OLED 大多用玻璃做衬底，在光洁的玻璃表面，镀上一层透明的氧化锡铟（ITO）作为正极，中间层根据器件的复杂程度不透而层数不同，最上层用镁铝（Mg:Ag）作负极。对于有机小分子 EL 器件，每层的厚度为几十纳米，一般在高真空度 (1×10^{-4} Pa) 而有机聚合物 EL 器件厚度比小分子稍厚，采用旋转涂布法成膜。电致发光器件最简单的三层结构型如图 2.1 所示，即有机发光层被夹在上下两个电极层之间。

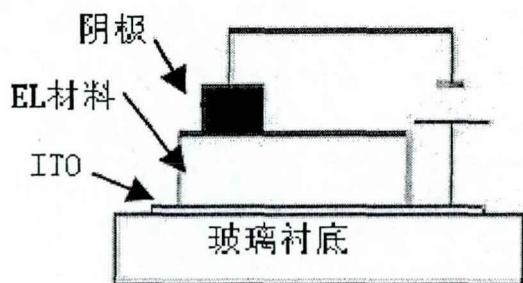


图 2.1 单层结构有机 EL 器件^[2]

单杂型器件(Single hetero device structure, SH)是由两层不同功能材料构成的有机 EL 器件，根据功能性材料的不同作用，有单杂 A 型(SH-A)和单杂 B 型(SH-B)两种器件，如图 2.2(a) 和(b)所示。

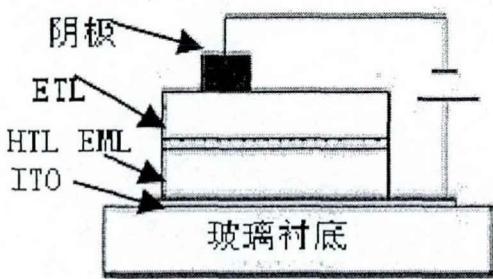


图 2.2(a)单杂 A 型(SH-A)^[2]

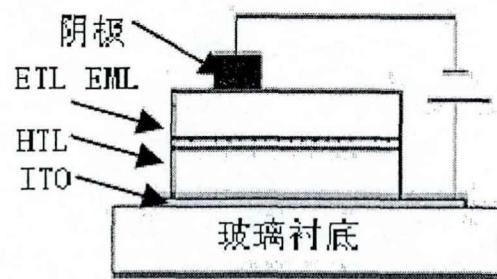


图 2.2(b)单杂 B 型(SH-B)^[2]

在单杂 A 型器件中包括空穴传输层(HTL)和集电子传输功能和受激发光的电致发光层(EML)；而在单杂 B 型器件中包括电子传输层(ETL)和集空穴传输功能和受激发光的电致发光层(EML)。一般地，单杂型有机 EL 器件结构能够有效地调节注入器件的电子和空穴数目，提高器件发光的量子效率。1987 年，C.W.Tang 制作的有机 EL 器件就是采用这种单杂型器件结构。

随着研究的深入，为了改善电极注入空穴和电子的能力，以提高发光效率，往往将器件做成多层结构，即在发光层(EML)的两侧再加入空穴传输层(HTL)和电子传输层(ETL)。阳极 ITO 是透明的，当器件加上正向偏压时，在电场的作用下，空穴和电子在有机发光层中复合发光，然后通过透明的电极出射。

图 2.3 给出了双杂型器件(Double hetero device structure, DH)的结构，它包括作为空穴传输作用的 HTL 功能层，电子传输用的 ETL 功能层和将电能转换成为光能的 EML 发光层。在双杂型器件结构中，由于三层功能层各行其职，对于优化器件的电光性能十分方便，是目前的有机 EL 器件中最常采用的器件结构。

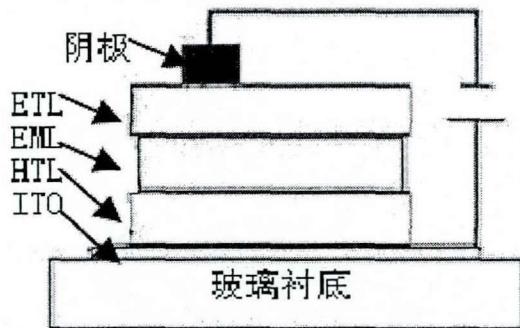


图 2.3 双杂结构有机 EL 器件^[2]

在实际的器件设计中，为了使有机 EL 器件的各项性能最优，充分地发挥各个功能层的作用，通常采用如图 2.4 所示的多层次器件结构。这种器件结构不但保证了有机 EL 功能层与 ITO 玻璃间的良好附着性，而且还使得来自 ITO 阳极和金属阴极的载流子更容易注入有机功能薄膜。

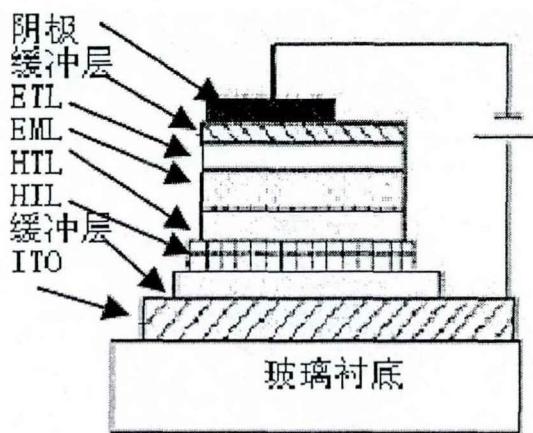


图 2.4 多层结构有机 EL 器件^[2]

2.2 OLED 器件的材料

上面所提到的电子、空穴传输层和发光层均由有机材料制备，因此在 OLED 器件的研制中，材料的选择至关重要，材料性能、器件结构和制作工艺决定了器件的性能。

(1) 发光材料

根据发光材料的不同，OLED 又可以分成 3 类，即小分子 OLED，聚合物 OLED(也

被称之为 PLED)和塑系有机金属 OLED(也叫稀土 OLED)。

第一类是小分子 OLED，它的发光体是离散的分子，其中最常用的是 Alq₃(8-羧基喹啉铝)。Alq₃ 是一种优良的发光材料，有良好的成膜性，较高的载流子迁移率和较好的稳定性。Alq₃ 可发出波长范围从 450nm 至 700nm 的宽带绿光辐射，峰值波长位于 550nm。如果在 Alq₃ 中加入掺杂剂或用其它原子(如铵)取代铝，就可得到不同颜色的光辐射。

第二类有机发光材料是共扼聚合物。与小分子不同，聚合物发光材料的成膜可用溶液方法进行处理。这一类使用的发光材料是 PPV(聚对苯乙炔)。PPV 本身是难溶性的，不易加工处理，但 PPV 的前驱物可溶于某些溶剂，如氯仿、甲醇等。可以利用这一特性制作 PLED。目前广泛使用的材料除了 PPV 之外，主要还有聚[2-甲氧基-5-(2-乙基己氧基)]对苯乙炔(MEH-PPV)等材料。

第三类是镧系金属有机化合物，它属于稀土类发光材料。在稀土 OLED 中，发光分子由一个金属核心和外围的有机壳层组成，其发光机制与前两类 OLED 不同，加电之后，首先在外围有机壳层中形成激发态，然后将其能量传递给金属核心，金属核心去激时辐射出颜色比较纯正的光。稀土 OLED 重要特点之一是单重态和三重态都产生光辐射，量子效率在理论上可达 100%。因此，它的 PL 和 EL 效率都很高，EL 功率效率的理论值为 120lm/W。由于是金属核心发光，与小分子和聚合物 OLED 相比，稀土 OLED 的光谱非常窄，半峰宽(FWHW)的典型值只有 100nm。

所有的材料还包括有，阴极和阳极材料，电子传输材料，空穴传输材料。

(2) 阴极和阳极材料

在有机 EL 器件中，阴极通常由金属或合金组合而成，Ag、Al、Mg、In、Li、Ca 都可以做阴极材料。理想的阴极是以低逸出功金属作为电子注入层，以具有高逸出功的稳定的金属(如 Mg/AgLi/Al)作为钝化层。近来，有文献报导了一种新型阴极，是由碱金属化合物，如 LiF，MgF₂，LiOx 与 Al 组合而成的。这种新型阴极不采用对空气敏感的金属，大大提高了器件的性能和工作寿命，原因还有待解释。

有机 EL 器件的阳极是由透明或半透明导体制成的。由于表面电阻在 80 欧姆/□以下的 ITO 很容易获得，因而被广泛地应用于阳极的制作。ITO 表面的不平度被认为是导致 OLED 中出现“黑点”缺陷的一个重要因素。因此，理想的 OLED 需要表面粗糙度小的、高质量的玻璃基片。

(3) 电子传输材料

OLED 用的绝大多数电子输运材料(ETM)是荧光染料化合物。Alq、Znq、Gaq、Bebq、

Balq、DPVBi、ZnSPB、PBD、OXD、BBOT 等，都曾作为 ETM 用于有机 EL。OLED 的 ETM，不论在工作状态还是在储存状态，都必须是热稳定和表面稳定的。迄今为止，只有由有机金属络合物制备的 ETM 被证实具有足够的热稳定性。为了保证有效的电子注入，ETM 的 LUMO 能级应与阴极的逸出功相匹配。在所有的 ETM 中，Alq₃ 被广泛用于绿光 EL，Balq 和 DPVB 则被广泛应用于蓝光 EL。据报导，掺杂(绿光)的 Alq₃ 器件的效率一般约为 5~6lm/W。近来，Sano 报导了用 Bebq(一种喹啉衍生物)作为 ETM 和发光层制成的器件，其效率高达 15lm/W，这是迄今为止报导的最高的效率。

(4) 空穴传输材料

绝大多数空穴输运材料(HTM)属于一类芳香胺荧光化合物。为了保证长期的稳定性，这些材料应具有很高的玻璃化转变温度(T_g)和优良的表面稳定性。因为 HTM 在工作或储存时通常都易发生热聚集作用，所以，对于制作可靠的 OLED 来说，选择热稳定性好的 HTM 就成了一个关键问题现在绝大多数 HTM 用的是 TPD($T_g=60^{\circ}\text{C}$)但最稳定的器件是用 1-NPB 作为 HTM 的^[12]。

2.3 OLED 的工作原理

电致发光是自然界中相当重要和普遍的一类自然现象，是光电变换的基本过程之一。根据发生电致发光的物质的不同，可以把电致发光分为无机电致发光和有机电致发光。对有机电致发光来讲，由于发光物质的不同，而有用聚合物作为发光物质的聚合物发光(Light emitting polymer, LEP)和小分子有机荧光材料作为发光物质的小分子发光器件(Organic lighting diode, OLED)。

有机小分子电致发光的原理是：从阴极注入电子，从阳极注入空穴，被注入的电子和空穴在有机层内传输。第一层(HTL)的作用是传输空穴和阻挡电子，使得没有与空穴复合的电子不能进入正电极；第二层(EML)是电致发光层，被注入的电子和空穴在有机层内传输，并在发光层内复合，从而激发发光层分子产生单态激子，单态激子辐射衰减而发光。对于聚合物电致发光过程则解释为：在电场的作用下，将空穴和电子分别注入到共轭高分子的最高占有轨道(HOMO)和最低空轨道(LUMO)，于是就会产生正、负极子，极子在聚合物链段上转移，最后复合形成单态激子，单态激子辐射衰减而发光。

一般认为，有机电致发光过程由以下五个步骤完成：

- (1)载流子的注入：电子和空穴分别从阴极和阳极注入夹在电极间的有机功能薄膜层。
- (2)载流子的迁移：载流子分别从电子传输层和空穴传输层向发光层迁移。
- (3)载流子复合：空穴和电子在发光层中相遇、结合并产生激发子。
- (4)激发子迁移：激发子将能量传递给发光分子并激发电子从基态跃迁到激发态。

(5)电致发光：激发态能量通过辐射失活，产生光子，释放出光能。

有机电致发光的工作机理不同于无机电致发光，而与半导体发光二极管的相类似。也有人认为，电致发光机理属于注入式发光，在正向偏压的作用下，ITO 电极向电荷传输层注入空穴，在电场的作用下向传输层界面移动，而由铝电极注入的电子也由电子传输层向界面移动，由于势垒的作用，电子不易进入电荷传输层，而在界面附近的发光层(Alq3)一侧积累。由于激子产生的几率与电子和空穴浓度的乘积成正比，在空穴进入 Alq3 层后与电子界面处结合而产生激子的几率很大，因而几乎所有的激子都是在界面处与 Alq3 层一侧很狭窄的区域(约 36nm)内产生。因而发光不仅仅是在 Alq3 层，而且主要在电子空穴传输层的界面^[1]。

2.4 OLED 器件的制作及工艺

显示屏制作技术是基础，它要与 IC 控制技术、ITO 基板处理技术及材料的选择等密切结合。实际上有机 EL 显示器应该由以下技术构成，如图 2-5 所示。由图 2.5 可以看出，有机 EL 显示器的制作需要综合技术。

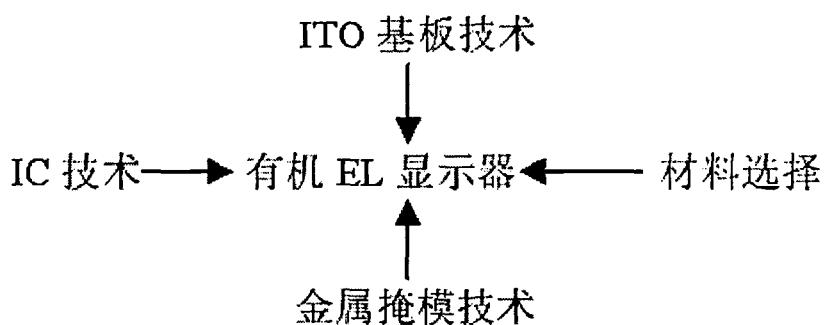
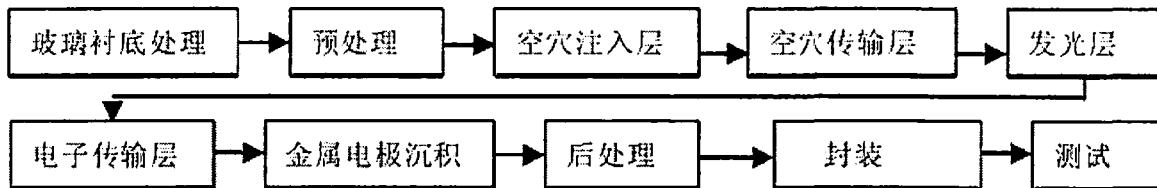


图 2.5 有机 EL 显示器所需技术示意图^[9]

OLED 器件的制备工艺主要步骤包括：ITO 玻璃预处理 → 有机薄膜层制备 → 金属阴极的蒸镀 → 器件封装。

有机 EL 器件的制作工艺其实也就是薄膜工艺和表面处理技术，图 2.6 是制作有机 EL 器件的工艺流程。制造有机 EL 器件的关键技术包括制作有机高分子或有机小分子功能薄膜、金属电极及 ITO 透明导电薄膜和钝化保护膜的技术。制作有机功能薄膜的主要技术可以分为干法工艺和湿法工艺两种。在制作聚合物有机 EL 器件时，常常采用旋转涂布(Spin coating)和喷墨打印技术(Ink-jet printing)，称之为湿法工艺；而对小分子有机 EL 发光器件的制作，则经常采用真空热蒸发技术，统称之为干法工艺。

图 2.6 有机 EL 器件的制作工艺^[3]

在有机 EL 器件的制作过程中，ITO 薄膜有着相当重要的作用，一般要求 ITO 的方块电阻不大于 $10\Omega/\square$ 。ITO 的表面势一般为 4.67eV ，而 HTL 材料的表面势为 5.2eV ，但是 ITO 的表面势与其表面状态有关。在有机 EL 器件的制作过程中，通常要对 ITO 薄膜进行处理，以改变 ITO 的表面状态，使得 ITO 的表面势与 HTL 材料的表面势相匹配。现在常用的 ITO 表面处理方法有如下三种：

- (1) 使用辉光放电来氧化 ITO 表面；
- (2) 使用在臭氧气氛中的紫外线来处理 ITO 表面；
- (3) 应用等离子产生氧分子自由基来氧化 ITO 表面。

在有机 EL 器件制作过程中的再一个关键技术就是在最后封装之前对器件的预封装。一般采用无机材料，比如 SiO_2 、 MgF_2 、 In_2O_3 等对器件进行预封装，最后使用环氧树脂和平板玻璃对器件进行最终的封装。

制备器件时，选用 ITO 透明导电玻璃作为器件的基片，一般的方块电阻约为 $10\Omega/\square$ 。由于基片的清洁度、平整度以及有机膜层的浸润度对材料的成膜质量影响很大，即如果表面不清洁，不仅会增大器件的驱动电压和降低器件的发光效率，而且会使器件的稳定性和寿命都大大下降，从而影响器件的总体性能，因此 ITO 导电玻璃的清洗是非常重要的一道工艺。对于有机小分子材料或者是金属络合物材料，可采用真空热蒸发的方法来成膜。其蒸发时真空度一般不低于 10^{-6} Torr ，并且可通过控制材料沉积速度和沉积时间，来达到所需要的膜层厚度；而对于有机高分子的材料，由于高分子的分子量较大，内聚能很大，无法升华成气体，因此不能像小分子那样，用真空蒸镀法成膜，因而多采用旋涂、浸涂、LB 膜、浇铸、自组装、溶胶-凝胶法等技术制成大面积薄膜，这是无机或有机小分子所无法实现的，其中最常用的是旋转涂布法制备薄膜。旋转涂布法就是将有机材料溶于有机溶剂中，根据所要求的膜层厚度配成相应的浓度，并且控制旋转涂布的速度，使材料能均匀地覆盖在 ITO 玻璃表面。作为阴极的金属材料一般也采用真空热蒸发的方法成膜。

为了制作高效有机 EL 显示屏，首先必须制备出高效长寿命有机 EL 器件，但这不意味着有了好的器件制作技术就一定能制作出高质量显示屏。因为器件面积一般仅有几平方毫米，而显示屏面积要在数平方厘米以上，显然大面积显示屏会在制作工艺及驱动方式方面带来许多特殊困难，如：

(1) 均匀性问题

小器件由于面积小，均匀性问题不突出，而大面积显示屏对整个屏的均匀性有严格要

求。

(2)对制作设备要求更高

小器件要求蒸发室体积可以很小，而且基板不用旋转，而大面积显示屏则要求大的蒸发室，并可能需要基板旋转。

(3)交叉干扰问题

小器件一般都是单个像元驱动，而显示屏都是点阵 XY 寻址驱动，对无源矩阵显示屏会出现除了选择某点发光外，周边的像元也会因漏电流而有一定亮度的发光，这一问题的解决对应用至关重要。

在目前的市场上所见到的 OLED 样品大多是单色或多色的，但材料和工艺的多样性可以让 OLED 有多种途径实现彩色显示。主要有以下 6 种方式：

- (1)同材料发出红、绿、蓝三色，像 CRT 显示一样，由三色像素组合成一个彩色像素；
- (2)用发出白光的材料，像 LCD 显示一样，通过三色滤色镜形成彩色像素；
- (3)用特殊的材料，能够在不同的驱动电压下显示不同的色彩；
- (4)用发出蓝色光的材料，激发荧光物质发出各种色彩的光；
- (5)激光共振方式；
- (6)将红、绿、蓝三色发光膜重叠起来，构成彩色像素。

第三章 AM-OLED 的驱动及 GOA 电路研究

3.1 无源驱动

OLED 显示的驱动电路从制作工艺上可分直接寻址的无源驱动和薄膜晶体管(TFT)矩阵寻址的有源驱动两类。无源驱动使用的是普通矩阵交叉屏，当在 ITO 电极 X_i 上加正电压、在金属电极 Y_j 上加负电压时，其交叉点(X_i, Y_j)像素即能发光。图像的形成类似于 CRT 中的情形，图像的每一条线按顺序并点亮很短时间。发光是靠被寻址线处于低电压，其它未被寻址的行线都处于反向偏置而完成的。通过快速扫描图像(每秒几十帧)，人眼将把所有的闪光结合成一幅良好的图像，正如观看基于 CRT 的传统电视一样。1997 年日本先锋电子公司推出的第一个有机 EL 产品采用的就是无源方式驱动点阵型有机 EL 显示屏。图 3.1 给出了无源驱动电路的原理结构图。

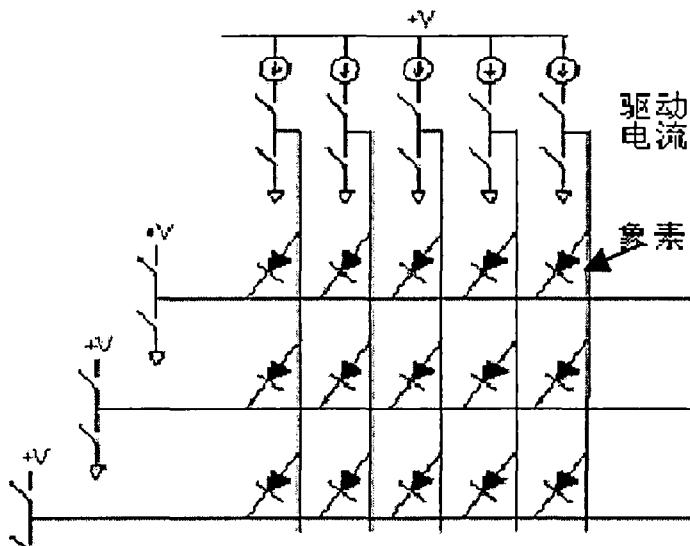


图 3.1 无源矩阵驱动有机 EL 器件的原理^[5]

有机 EL 显示器件的每一个像素都可以等效为一个二极管。然而，有机 EL 器件本身是电流型的显示器件，用无源驱动方法建立图像时，随着显示器件的屏幕的增大、显示密度的提高，有机 EL 器件中电极本身的压降，就不能不加以考虑了。

从制作工艺的角度上考虑一种方案是可以利用辅助阳极，来减小阳极压降，并且为了获得正常的图像亮度，只出现很短时间的每个光脉冲必须非常地亮。例如，在一个 100 线的显示器中，光脉冲的峰值亮度应为实际看到的平均亮度的 100 倍。这就意味着产生这样的光脉冲需要大电流，而这会在驱动线路上造成大量的功率损耗，并使显示元件劣化。这将最终限制无源有机 EL 技术向大型显示器，特别是向 10 英寸以上显示器的应用中延伸。模拟结果表明，当显示面积提高 4 倍时，功率要提高 10 倍。对于英寸的小面积显示器件，PM-OLED 的节能效果比同样尺寸的背光源 LCD 要明显得多，但对于 10 英寸的大面积 PM-OLED 来说和相同尺寸的 LCD 相比，节能效果就不复存在了。因此，对于大面

积显示 OLED，采用有源矩阵是一种比较理想的选择。

OLED 的驱动就寻址方式而言，可分为静态驱动和动态驱动。静态驱动方式适用于字段型的显示器件。但当显示器件上的显示像素很多时，若采用静态驱动方式，实现起来很困难，因此需要采用矩阵结构，并使用动态扫描的驱动方法即：对行电极(行线)逐行选通(即扫描)，把持显示的信息(像素值)同步地送向各列电极(列线)，经过 1 个扫描周期，完成动态扫描显示。

由于采用了这种驱动电路。所以有可能出现“交叉效应”，这种效应是指在选通 X、Y 电极控制的像素时，相邻的像素也发光。

由于 OLED 本身是电流发光器件，所以电极的电阻率以及电阻率沿电极分布的均匀性都会对实际显示效果有一定的影响，存在电极间的漏电或分布电容。

在静态驱动某一个像素时(而非动态扫描方式驱动)，由于电极间的漏电会使相邻像素上出现正向电压，当正向电压积累到一定程度时就会使其发光，形成交叉效应。

当以动态方式进行一幅图像的扫描时，行列电极上施加的都是脉冲电压(或电流)信号，这时非选通像素的等效电容就会使这些脉冲信号在电极之间串扰，加上电极间的漏电，就会使交叉效应更加严重，造成所显示图像的严重失真。所以电极间的漏电和 OLED 的等效电容是交叉效应的主要成因。克服交叉效应是驱动电路设计的重要目标^[5]。

3.2 直流驱动与交流驱动

OLED 的驱动就电压极性而言，可分为直流驱动和交流驱动。在直流驱动时，空穴和电子的传输方向是固定不变的，其中未参与复合的多余空穴(或电子)，或者积累在 HTL/EML(或 EML/FTL)界面，或者越过势垒流入电极。

在交流驱动时，正半周的发光机制与直流驱动完全一样，而负半周电压来到时，积累在界面的多余电子和空穴则改变运动方向，朝着相反的方向运动，相对地消耗了界面上积累的多余电子和空穴，从而消弱了由正半周的多余载流子在 OLED 内部形成的内建电场，增强了下一个正半周的载流子注入与复合，有利于提高复合效率。

另外，负半周的反向偏压要以“烧断(burn out)”某些局部导通的微观小通道“细丝(filaments)”这对于延长器件的使用寿命是相当重要的。由此可见，交流驱动较之直流驱动有着更多优势，更适合于 OLED 的发光机制。

一些研究表明，交流驱动较之直流驱动有着许多无可比拟的优势，也更适合于 OLED 的发光机制。目前制备较好的 OLED 器件一般为双层或多层结构。我们以图 3.2 所示的 3 层结构为例分析其驱动特性。

空穴和电子分别由电极注入到 HTL 和 ETL，最后在 EML 层复合发光。在正向直流驱动时(ITO 接正电压，Al 接负电压)，空穴和电子的传输方向是固定不变的，未参与复合发光的部分空穴和电子不可能再返回复合，空余的空穴(或电子)或者积累在 HTL/EML 和 EML/ETL 界面或者越过势垒流入电极。

直流反向偏置驱动时，鉴于势垒高度太大，所以电子和空穴运动到 EML 发生复合发光的几率十分微小，故直流反向偏置的驱动一般不发光(除非特种结构)，或十分微弱。

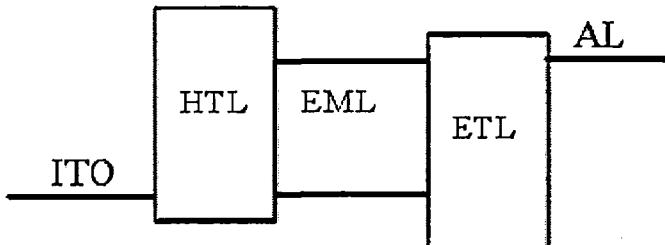


图 3.2 三层结构 OLED 意示图^[1]

交流驱动时，正半周的发光机制与正向直流驱动一样，但是交流驱动的负半周却有着十分重要的作用。

正半周过后在 EML/ETL 和(或)EML/HTL 界面处积累的大量电子或空穴，当负半周来到时，电子和空穴则改变运动方向，朝着相反的方向运动，这样就形成了第 2 次的发光复合，同时由于消耗了这些空余的电子和空穴，减弱了 OLED 的内建电场，增强了下一个正半周的载流子注入及复合，从而最终提高复合效率。从文献及有关报道也证实，交流驱动比直流驱动在发光强度上有所提高，在发光效率上则显著提高。

3.3 有源驱动

有源矩阵 OLED(AM-OLED)采用的是薄膜晶体管阵列，利用类似于 AMLCD 的制造技术，在玻璃衬底上制作 CMOS 多晶硅 TPY，发光层制作在 TPY 之上。驱动电路完成两个功能，一是提供受控电流以驱动 OLED，其次，在寻址期之后继续提供电流以保证各像素连续发光。

和 PM-OLED 不同的是，AM-OLED 的各个像素是同时发光的，这样单个像素的发光亮度的要求就降低了，电压也得到了相应的下降。这就意味着 AM-OLED 的功耗比 PM-OLED 要低得多，适合于大面积显示。

PM-OLED 与 AM-OLED 的性能比较表明，前者具有结构简单、成本低等优点，因此在信息量低的简单显示中主要采用 PM-OLED，但用于大信息量的显示中 AM-OLED 占优势。以分辨率为例，VGA 的 PM-OLED 显示平均亮度为 $300\text{cd}/\text{m}^2$ 时，选通像素瞬间亮度要求达到 $144000\text{cd}/\text{m}^2$ ，其结果瞬间电流很大，功耗也大，影响使用寿命，因此难以实现高亮度、高分辨率显示。

而在 AM-OLED 情况下输入信号存储在存储电容器上，使在帧周期内像素保持选通态，因而不需要瞬态高亮度，克服了 PM-OLED 的缺点，同时 AM-OLED 不受占空比限制，可实现大信息容量显示，因此 AM-OLED 技术引起人们的重视。

Kodak 公司采用双晶体管电路完成上述功能，缺点是无法克服水平像素之间的串扰问题。现在，精工爱普生、三洋电机等公司展出的 17 英寸 OLED 采用的就是有源矩阵方式。

可以预见，有源矩阵驱动技术将是今后 OLED 发展普遍采用的方式。

有源方式驱动是解决 OLED 显示屏的大屏幕，显示效果和克服交叉效应的另外一种更为有效的方案。其实造成有机 EL 器件亮度不均匀的原因，就是像素与像素间施加的电压不同，导致 EL 像素工作的电流不同。有源方式驱动有机 EL 器件，即是给每一个像素配备一个恒流源，这样有机 EL 器件发光的不均匀性就解决了。

在有源驱动中，由于放弃了线一次脉冲式地发光的方式，而采用整个显示器连续发光的类似于 TFT-LCD 的驱动技术，容易实现大屏幕显示。有源有机 EL 要求在每一个发光单元都制作一套有源器件，所以对这种器件的驱动，实际上是对每个发光单元上有源器件的驱动。因此，有源驱动的成本比无源驱动高，且需要利用低温多晶硅 TFT 技术或非晶硅 TFT 技术。

无源驱动方式和有源驱动方式的 OLED 比较，如下表，表 3.1 所列

	无源方式(PMOLED)	有源方式(AMOLED)
高亮度高精细化	随着行线的增加，亮度下降，不宜高精细化	与行线的增加无关，可以高亮度高精细化
驱动方法	动态驱动，瞬间高亮度发光能力	静态驱动，可连续发光
显色能力	单色或多彩	全彩
耗电量	高压驱动，耗电量大	低压驱动，耗电量小
器件结构	单纯矩阵 + 有机EL	LTPS+a-Si TFT+有机EL
相对优点	构造简单 因不需要到TFT 工艺，可利用强力清洗方式，大幅减少因异物导致的缺陷 材料及生产成本较低 设计相当容易 灰度控制容易	驱动电压和消耗功率低 适合向大画面高分辨率发展 亮度提高容易 发光寿命较长 高反应速度
相对缺点	不宜高精细化 耗电量大	生产技术难度较高(配合LTPS 或 a-SiTFT-LCD 技术) 易受TFT 工艺误差影响造成亮度 材料及生产成本高

OLED 的有源驱动有两种解决方案：非晶硅 TFT 技术和低温多晶硅(LTPS)TFT 技术。

3.3.1 非晶硅 TFT 技术

非晶硅薄膜晶体管(a-Si TFT)技术是 T. PBMay 博士等人于 70 年代提出的。经过各国科学家的努力，如今第四代 a-Si TFT 液晶显示器(LCD)生产线已全部实现自动化，工业生

产技术相当成熟。

a-Si TFT LCD 已成为当今世界液晶显示器的主流产品，未来发展的目标是更大的屏幕尺寸和更低的生产成本。虽然 a-Si TFT 也被使用在一些中小尺寸的显示面板上，但由于分辨率不够高以及响应速度较慢等缺点，无法完全满足终端应用系统的性能要求。所以 a-Si TFT 最主要的应用仍停留在以 PC 显示器为主的大尺寸显示设备上。

而随着液晶显示器向大容量、高亮度和高清晰度方向的不断发展，像素尺寸越来越小，单元像素充电时间也越来越短，这就要求 TFT 具有更大的开态电流。另外，为了解决高密度引线的困难，显示区域与周边驱动电路必须实现一体化，这些都是传统 a-Si 工艺无法实现的。

非晶硅 TFT 在驱动 OLED 时遇到了以下困难：

- (1) 随着 OLED 显示器的发展，像素尺寸越来越小，单元像素充电时间也越来越短，这就要求 TFT 具有更大的开态电流。这时高迁移率就很重要，而非晶硅的电子迁移率只有 $0.5\text{-}1.0\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。
- (2) 为了防止 OLED 开启电压的变化导致电流变化，通常使用工作在饱和状态下的 p 沟器件来驱动 OLED。因为 p 沟器件的栅电压和源电压可以直接通过栅级和数据线分配上去，而使用 n 沟 TFT，源电压将依赖于有机层上的电压。由于非晶硅技术不能制造出合适的 p 沟 TFT，因此，即使在两管驱动、电流很小的场合，非晶硅技术仍然不是一个很好的方案。
- (3) 非晶硅技术存在着过高的光敏感性问题。

Lee Y K 等人对驱动 OLED 的非晶硅 TFT 和多晶硅 TFT 进行了比较，他们的结论是：这两种技术都可用于 OLED 显示器，但要达到 OLED 的显示要求，非晶硅 TFT 的宽长比至少要达到 50，寻址 TFT 的关态电流不能超过 $10\text{-}12\text{A}$ 。这是一个相当“苛刻”的要求。

但是，非晶硅 TFT 技术经过 20 多年的发展，工业生产已相当成熟。驱动 LCD 的技术稍加改进即可驱动 OLED，工艺流程不需做太大的改动，可以节约成本，所以还是有人致力于非晶硅 TFT 驱动 OLED 的研究。例如 He Yi 等人设计了几种基于非晶硅的、能够提供恒定输出电流、并可以补偿阈值电压变化的四管驱动像素电路，并制作了非晶硅 TFT 驱动的 OLED 显示屏，分辨率达 300ppi。

3.3.2 多晶硅 TFT 技术

低温多晶硅(Low Temperature Poly-Si, LTPS)TFT 技术则可完全解决上述问题。LTPS TFT 很早就被视为下一代 LCD 必备的技术，不过由于中小尺寸面板市场增长缓慢，市场规模太小，使得早期投入开发的动力并不大。直到 2000 年以后，由于 a-Si TFT 产能过剩，日、韩、台厂商积极投入 LTPS TFT，才使 LTPS TFT 在未来数年内有了更多的发展机会。

与非晶硅 TFT 相比，LTPS TFT 具有很大的优势，具体表现在：

- (1) 速度快

poly-Si 分子结构的排列状况是整齐而有方向性的，与非晶硅杂乱的排列方式不同，因此电子可以以较高的速度移动。a-Si 的电子迁移率为 $0.5\text{-}1.0\text{cm}^2/\text{V.s}$ ，而 poly-Si 的电子迁移率高，多晶硅的电子迁移率高达几百 $\text{cm}^2/\text{V.s}$ 。所以 LTPS TFT 的速度快得多。

(2)产品轻薄

由于 poly-Si 也可做驱动电路，因此可将周边驱动电路制作在玻璃基板上，而 a-Si 不行。故 LTPS TFT 更适合使用在便携式产品上。

(3)成本低

由于 LTPS TFT 可将驱动电路集成在面板内，因此可降低成本。下一阶段在技术成熟后，还可将内存、数模转换器也集成到面板上，成本的降低将更为明显。

(4)耗电省

LTPS-TFT 体积小，因此可以提升开口率。

(5)分辨率高

LTPS-TFT 体积较小，因此同尺寸产品可制造出更高分辨率的面板。

(6)高可靠性

LTPS 周边驱动电路的接脚较少，故接线的连接点较少，使其产生缺陷的机率减小，增加了产品的可靠性。以 12 英寸 XGA 面板为例，采用 a-SiTFT 约需 10-12 块驱动 IC，PIN 脚接点数高达 4000 点。如果采用 LTPS 面板，则仅需 200 个接脚，因此可大幅降低因 PIN 脚接触不良而产生的故障。

表 3.2 为两种 12 英寸 XGA TFT-LCD 的特性比较，更直观地展现了 LTPS TFT 的优越性能。

表 3.2 12 英寸 XGA TFT-LCD 特性比较

	a-Si TFT-LCD	LTPS TFT-LCD
电子迁移率	$0.3\text{-}0.7\text{cm}^2/\text{V.s}$	$>100\text{cm}^2/\text{V.s}$
TFT 元件面积	1	约 1/2
耐冲撞强度	180 克	300 克
耐扭强度	约 1000	>10000
周边接点数	4000 个	<200 个
电路零件数	270	195
驱动 IC 数	15 块	1 块

LTPS TFT 技术的发展经历了第一代 LTPS TFT 仅仅将驱动 IC 与 PA 转换器内建于玻璃上，是过渡时期的作法。第二代 LTPS TFT 则整合了数字界面和其它外围芯片。第三代 LTPS TFT 的定义是将除 CPU 以外的所有芯片，如影像控制器和 RAM 等都内建于玻璃上。

为了实现上述目标，若干技术必须达到一定的指标，如电子迁移率，需从第一代的

100cm²/V.s 进展至第二代的 150-300cm²/V.s，以及第三代的 200-350cm²/V.s 同时，线宽也要从 4 μm 降至 1 μm。虽然现在已开发出相当于第三代的迁移率指标，但要达到大规模生产，仍需数年的时间。现阶段开发的重点在第二代。

目前 LTPS TFT 技术的研究前沿是：

- (1)制作高性能的 TFT；
- (2)在柔性衬底上制作 LTPS TFT；
- (3)驱动有机发光器件(OLED)的 TFT；
- (4)LTPS TFT 的新应用。

所谓高性能的 LTPS TFT，指的是 TFT 不仅特性好，而且可靠性要高，尺寸还要小。最终目标是使 TFT 达到和单晶硅晶体管一样的性能。这主要涉及到 poly-Si 薄膜的制备和 TFT 的结构优化。

poly-Si TFT 的制作关键是制备性能优良的 poly-Si 薄膜。获得 poly-Si 薄膜的方法有直接和间接两类方法。主要的直接方法有低压化学汽相淀积(LPCVD)和催化化学汽相淀积(catalytic-CVD, cat-CVD)。间接方法是使非晶硅薄膜再晶化，其晶化方法主要有固相晶化(SPC)、快速热退火(RTA)、金属感应侧向诱导(MILC)、微波晶化和激光晶化(LC)以及两种方法的结合。激光晶化在晶化时间、晶粒尺寸、晶化温度等方面非常适合于 LTPS-TFT，是目前晶化方法中的主流技术，但其成品率还不理想。

改进 TFT 性能的方法有：轻掺杂漏极(LDD)结构、短栅多栅结构、薄栅结构、偏移(offset)结构、部分非晶硅沟道结构等。还可采用在玻璃上淀积一层 SiO₂，减小沟道宽度和有源层厚度等方法来减小漏电流。

缩小 TFT 的尺寸对获得高性能 TFT 也是很重要的。到目前为止，还没有能在不平的大面积玻璃衬底上进行亚微米光刻的成熟技术。

LTPS 技术能将 OLED 速度快、产品轻薄等优势发挥出来，LTPS-TFT 技术几乎是 OLED 有源驱动惟一的选择。OLED 结合 LTPS-TFT 驱动技术是平板显示未来发展的主要方向[3]。

OLED 的有源驱动不同于 LCD 的有源驱动，OLED 亮度和其驱动电流成正比，为了得到均匀的亮度，分配到每个像素的电流应该是一样的，而驱动 LCD 只是分配电压。

由于多晶硅生长的特点，每个 TFT 的阈值电压、载流子迁移率和串联电阻并不一致，这就导致 LTPS-TFT 的输出特性具有很大的分散性。因此，OLED 显示屏的 LTPS-TFT 驱动，重点要解决的是亮度的均匀性和灰度的精确性问题。这涉及到单元电路的设计及工艺上需要采取措施。

为了克服多晶硅 TFT 输出特性的分散性，在工艺上常采用的方法有：

- (1)采用快速热退火(RTA)或金属诱导横向结晶(MILC)晶化，以得到均匀的多晶硅微结构，从而减小阈值电压、载流子迁移率的波动。
- (2)采用硅化工艺减小 TFT 的串联电阻：先淀积一层 Ni，然后在 400℃下真空退火 10min

以在源、漏、栅上形成 NiSi，经硅化工艺后源区和漏区的方块电阻由 $8000\Omega/\square$ 降至 $200\Omega/\square$ ，栅电阻可降至 $1/40$ 。

(3) ITO 和漏极之间的接触采用低电阻图形。

(4) 在制作 OLED 之前使用 SOG(Spin on glasses)技术使表面光滑均匀。

3.4 现有的 OLED 驱动芯片的状况

目前韩国三星和 LG 公司已实现 AM-OLED 量产化。由于 AM-OLED 的驱动芯片和模块里 GOA 以及像素结构相关，所以目前 AM-OLED 的驱动芯片大都为订制化芯片，极少有通用型 IC。台湾的 HIMAX 以及 NOVATEK 有少数几颗公开的 AM-OLED 驱动芯片。本节中的图 3-7~3-9 均出自 HIMAX HX8358 芯片的 SPEC。

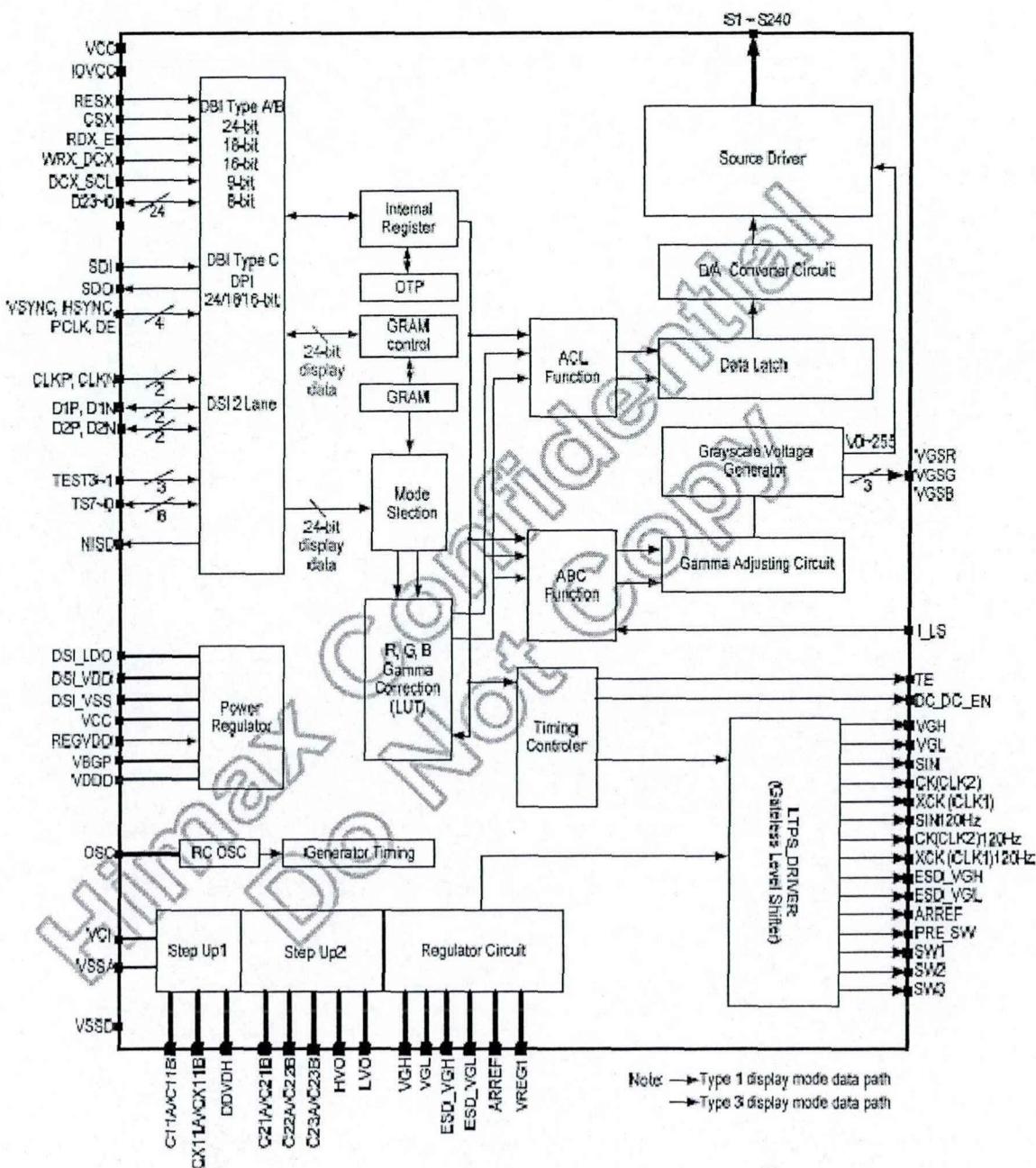


图 3.7 240 (RGB) X320 驱动 IC 系统原理图【HX8358 芯片的 SPEC】

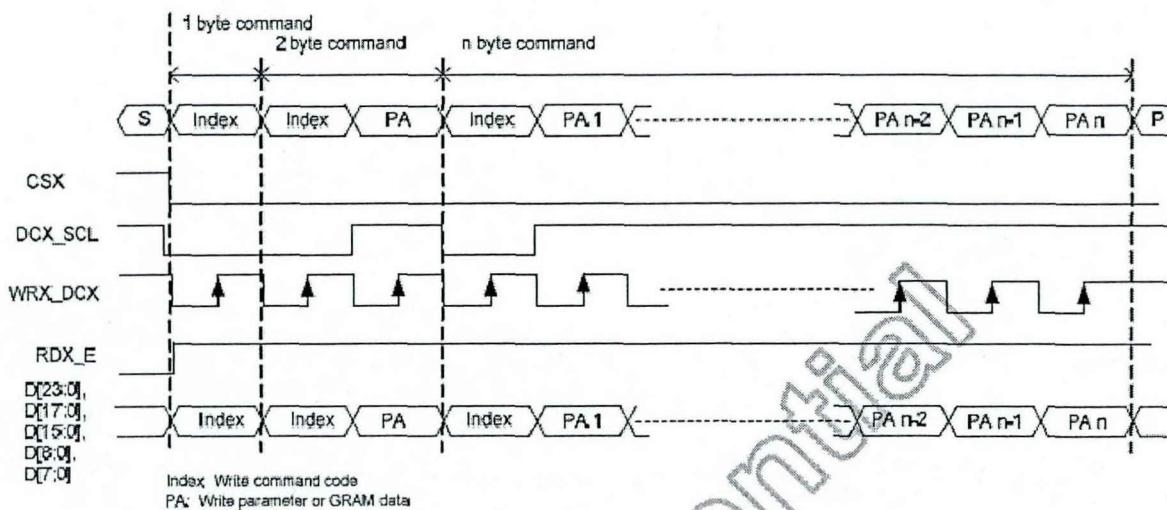


图 3.8 接口并行传输时序图

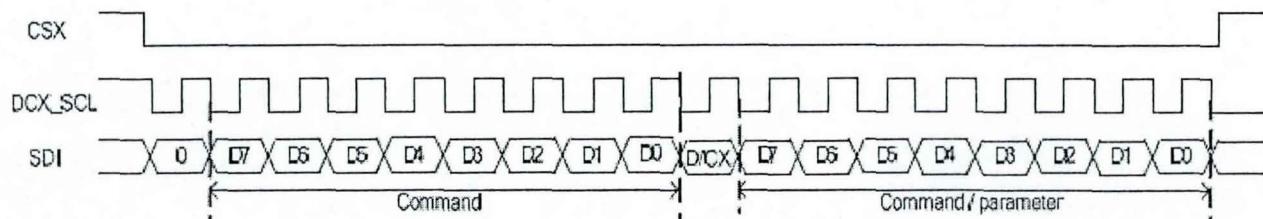


图 3.9 接口串行传输时序图

3.5 GOA 电路的研究

从降低成本方面考虑，在LTPS AM-OLED 模块上用 GOA 电路（也有称为移位寄存器电路）替代 gate 驱动 IC 是必要的，那么针对 GOA 电路进行研究找到适合自己工艺并能实现产业化的 GOA 电路也是尤为必要。

在此我们提出了一种用于显示器件扫描器的移位寄存器电路：每一级移位寄存器电路的输入连接上一级移位寄存器的输出；每一级移位寄存器电路有 7 个 TFT 晶体管和 1 个电容组成，并受两个极性相反的时钟控制。这一电路采用正反馈的工作原理加速内部节点的充放电速度，与现有其它结构的电路相比，具有功耗小，反应速度快，成本低的优点。

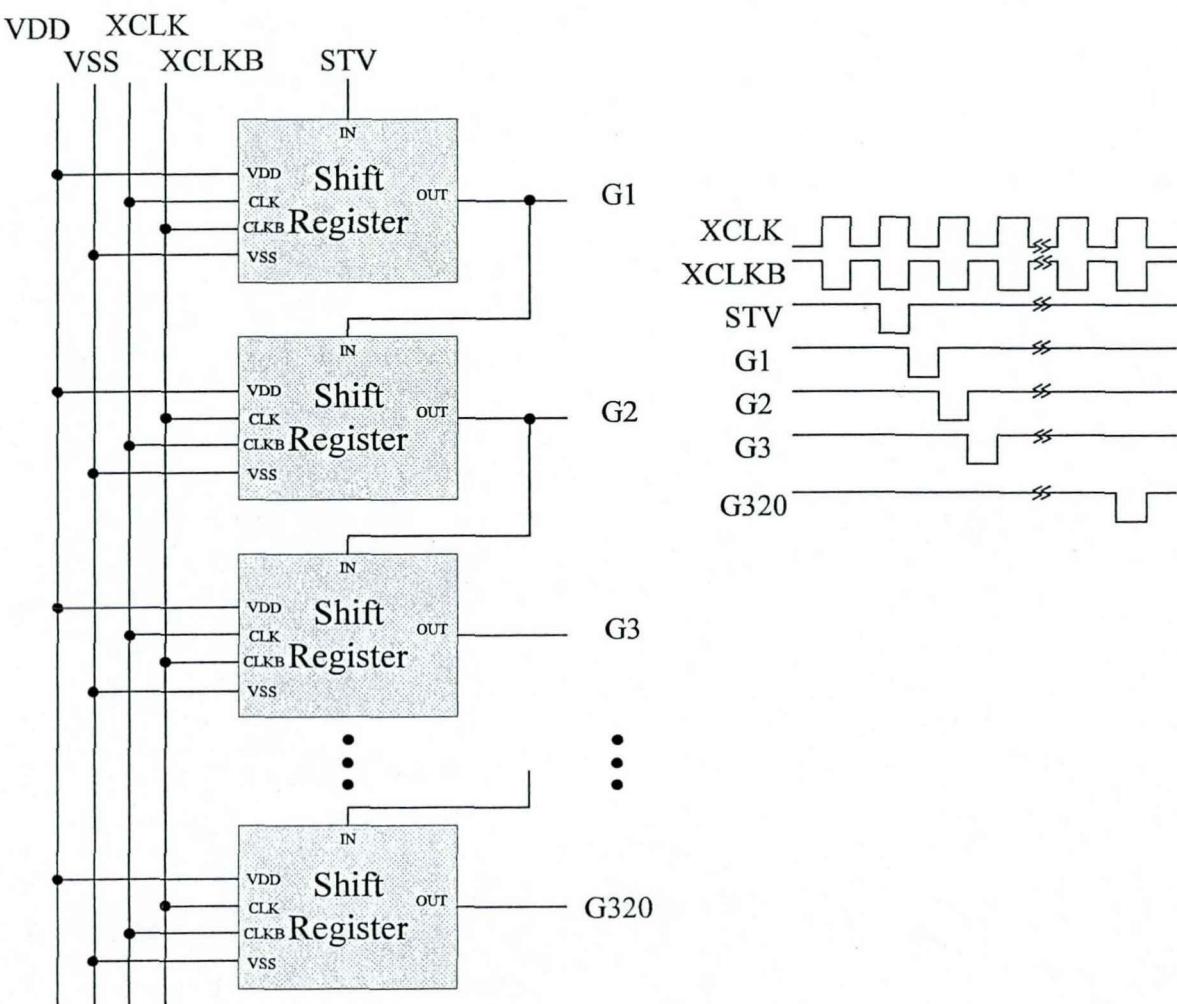


图 3.10 行扫描器移位寄存器整体结构

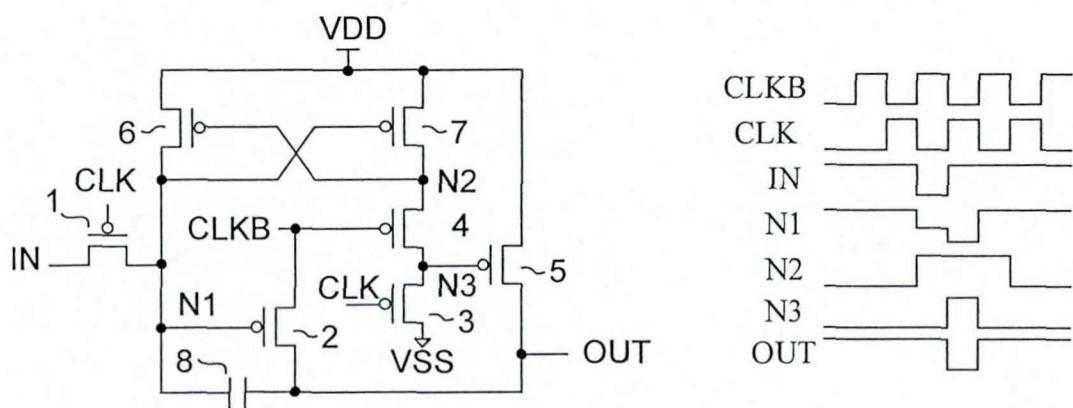


图 3.11 GOA 电路图及仿真效果图

其中每一级的移位寄存器电路图及时序如图 3.11 所示。图中晶体管 1~7 都为低电平开启，高电平关断。

初始状态下 CLK 和 CLKB 都为低电平，输入 IN 为高电平，则晶体管 1、3、4、5、6 开启，晶体管 2、7 关断，内部节点 N1 为高电平，N2、N3 为低电平，输出高电平。

当 CLK 为低，CLKB 为高，IN 为高时，晶体管 1、3、5、6 开启，晶体管 2、4、7

关断，内部节点 N1 为高电平，N2、N3 为低电平，输出高电平。

当 CLK 为高，CLKB 为低，IN 为高时，晶体管 4、5、6 开启，晶体管 1、2、3、7 关断，内部节点 N1 为高电平，N2、N3 为低电平，输出高电平。

当 CLK 为低，CLKB 为高，IN 为低时，是移位寄存器的预冲阶段，此时晶体管 1 开启，传输低电平到 N1 点，对电容 8 充电，此时晶体管 2 导通，传输 CLKB 高电平到输出端，同时晶体管 7 导通使得 N2 点变高，关断晶体管 6，与此同时晶体管 3 被 CLK 导通，进而开启晶体管 5，传输高电平到输出端。由于晶体管 4 被 CLKB 关断，不存在由 VDD 到 VSS 的直流通路。

当 CLK 为高，CLKB 为低，IN 为高时，是移位寄存器的求值阶段，此时晶体管 1 关断，由于晶体管 6 仍关断，所以 N1 点浮空，此时 CLKB 变低，在预冲阶段储存在电容 8 上的两端电压差使得节点 N1 电压下降，使晶体管 2 完全导通，传输低电平而没有阈值损失。与此同时，CLKB 变低后，N2 点的高电平快速传到 N3 点，关断晶体管 5，切断来自 VDD 的直流通路。

接下来当 CLK 为低，CLKB 为高，IN 为高时，是移位寄存器的复位阶段，此时晶体管 1 导通，N1 点被充电至高电平，关断晶体管 2 和 7，晶体管 4 也被 CLKB 关断，而 N2 仍维持上一周期的高电平从而关断晶体管 6，这样仅有晶体管 3 和 5 导通，对 OUT 充电，同样不存在漏电的通路。

最后当 CLK 为高，CLKB 为低，IN 为高时，晶体管 4 导通，N2 点被拉低，晶体管 6 导通，进一步拉高 N1 点，关断晶体管 2 和 7，同时晶体管 1 和 3 都被 CLK 关断，而 N3 点维持低电平，导通晶体管 5，输出维持为高。

该方案主要特点是增加了晶体管 6 和 7 使控制驱动求值晶体管 2 的 N1 点和控制复位晶体管 5 的 N2 点构成一个正反馈，即当 N1 点开始下降时，导致 N2 点升高，而 N2 点的升高又进一步加速了 N1 点的下降，反之依然，这样使得内部节点电压能够快速复位，在 N1 点或者 N2 点电位刚发生变化的初期就触发正反馈，加速两点电压的落位，及时切断瞬态直流通路，而不像传统设计中以输出状态的变化作为反馈触发原因。此外晶体管 4 隔离了 N3 和 N2 点，避免了从 VDD 通过晶体管 7 和 3 到 VSS 产生的漏电通路。

第四章 灰度调制技术概述

4.1 灰度调制简介

为显示白色和黑色以外的中间灰度的某些图像，以及用红(R)、绿(G)、蓝(B)的三基色显示各种颜色，叫做中间灰度显示。灰度级主要有 8 级、16 级、64 级、256 级。作为 OLED 的显示屏，希望它能显示更生动逼真的图像，灰度的表达就显得极为重要了。

有源驱动的 OLED(AM-OLED)和有源驱动的液晶显示器(AM-LCD)是不同的。OLED 的亮度和流过它的电流成正比，为了得到均匀的亮度，分配到每个像素的电流应该是一样的，而驱动 LCD 只是分配电压。

由于多晶硅生长的特点，每个薄膜晶体管(TFT)的阈值电压、载流子迁移率和串联电阻并不一致，这就导致 TFT 的输出特性具有很大的分散性。因此，OLED 显示屏的有源驱动重点要解决的是亮度的均匀性问题和灰度的精确性问题。

OLED 显示屏是可以用传统的模拟电压控制法来实现灰度的。问题在于，亮度和数据电压之间呈非线性关系，缺少一个渐变的易于控制的线性区间。单色 OLED 显示就要求驱动电压具有很高的控制精度，彩色 OLED 显示如要同时精确地控制 RGB 三基色的灰度，实现起来难度更大。

因此，采用模拟电压法调节发光强度，难以精确、有效地实现 OLED 的灰度级显示，现在总的的趋势是使用数字驱动电路。

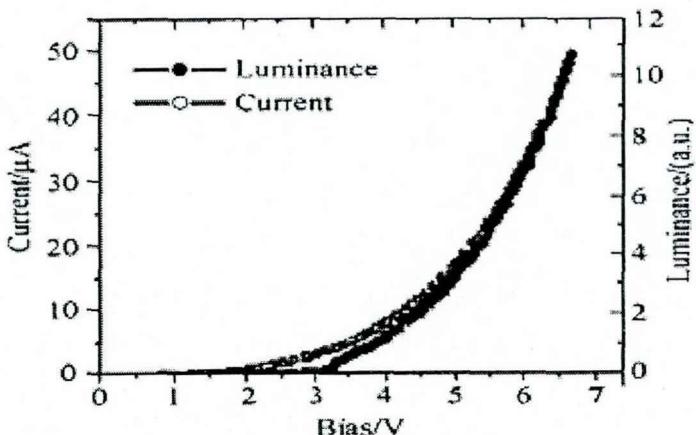
对于数字驱动同时能显示的颜色取决于数据信号的比特数。数据信号的比特数和灰度级以及彩色数之间的关系见表 4.1

表 4.1 信号的比特数和灰度级以及彩色显示数之间的关系

数据比特数	灰度级	彩色显示数
3	8 级灰度	512 色
4	16 级灰度	4096 色
5	32 级灰度	32000 色
6	64 级灰度	26 万色
7	128 级灰度	200 万色
8	256 级灰度	1670 万色

4.2 模拟驱动方式

OLED 由不同功能层构成异质结，具有类似于无机 LED 的、由注入载流子的辐射复合发光的发光原理，其典型的二极管 I-V 特性曲线如图 4.1 所示，即：在正向偏置时因有载流子注入而发光，反向偏置时则不发光，而 OLED 发光亮度的电压特性曲线具有与图 4-1 相似的曲线关系。

图 4.1 OLED 的 I/V 特性曲线^[4]

即其发光强度随电压变化是非线性的，光强与电压之间缺少一个渐变的易于控制的线性区间。对于单色 OLED 显示，如果采用传统的模拟电压控制的方法来实现亮度级别区分，则需要驱动电压有很高的控制精度。

对有源选址显示，要求像素单元中提供驱动电压的驱动管也要有很好的线性特性，而且整屏的各个像素的驱动管特性也要均匀一致。对彩色 OLED 显示，更需要同时精确地控制 RGB 三基色的灰度级别，若每个子像素用 8 位二进制数据表示，则能显示共 $2^8=256$ 级灰度，因此一个像素共计有 $256^3=16M$ 种色彩。如此大的高精度数据量对驱动器的设计提出了很高的要求，实现起来难度很大。

因此，采用模拟电压法来调节控制发光强度难于准确、有效地实现 OLED 的灰度级显示。

将模拟视频信号进行量化后，得到量化的灰度级别，量化的精度决定着灰度级别数目。将 OLED 全亮度显示时所对应的电压值按 1: 2: 4: 8…比例分成若干个子电压，子电压的数目由需要实现的灰度级别数决定。最小的子电压为基电压，其他子电压是基电压的 2 的整次幂倍。

子电压由外部电源提供。这些子电压的总和就是 OLED 全亮度显示时所对应的电压值。利用组合子电压的方法，可以得到精度范围内任意级别灰度显示所对应的电压值。

采用这种方法虽可以将模拟的连续电压控制转变为由量化电压的组合实现，但仍然需要 OLED 和驱动管工作在线性区间，而且在有源选址下还要求全屏范围内各像素驱动管的线性特性均匀一致，这在工艺上实现起来仍然是很困难的。

4.3 数字驱动方式

在模拟驱动方案中，灰度可以用电流调制或电压调制来实现，而在数字驱动方案中，TFT 仅仅作为模拟开关使用，虽然这减轻了阈值电压不一致带来的影响，但是灰度也必须采用数字方法实现。

数字灰度方法包括两类：面积比率灰度(ARG)和时间比率灰度(TRG)。当然，它们也可结合起来使用。数字灰度调制如下几种方法：面积灰度调制，子场调制方式和脉冲宽度调制方式。

面积比率灰度(ARG)是把每个像素分成若干个子像素，那么每个像素的亮度由被点亮的子像素的数目决定。

时间比率灰度(TRG)的基本原理则是像素的亮度由该像素被点亮的时间决定，包括有子场调制方式和脉冲宽度调制方式。

4.3.1 面积灰度(ARG)原理

面积比率灰度的基本原理是：把每个像素分成若干个子像素，那么每个像素的亮度由被点亮的子像素的数目决定。

面积灰度调制的方法是将OLED上的一个单元定义成许多可独立控制的子单元的集合，比如 3×3 个子单元。当该单元中不同数量的子单元被选通时，从适当距离观察获得表现的相应灰度等级，从图中可以看出由不同选通数量的“子像素”组成的显示像素就会因“子像素”的空间混合而呈不同的灰度级别，图4.2中可以有10个灰度级别。

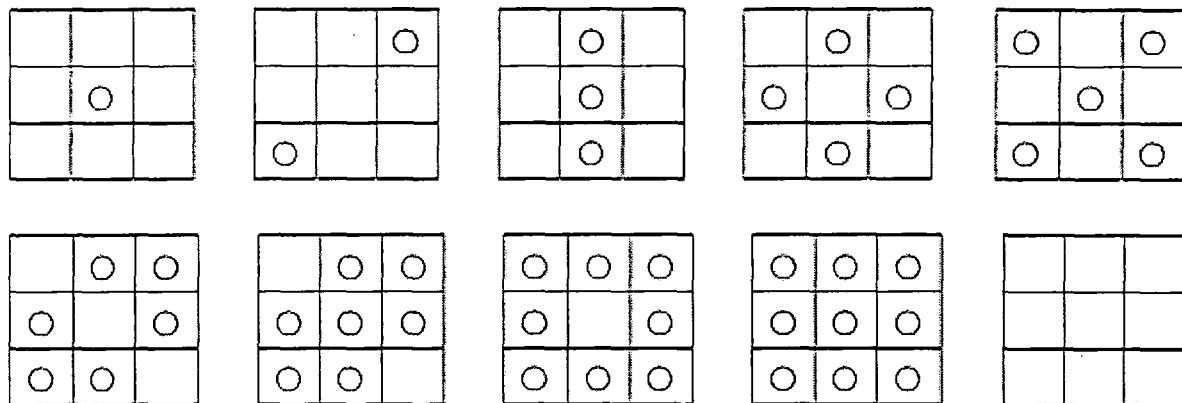


图 4.2 面积灰度(ARG)原理^[16]

这种方法，不需要特殊的驱动、控制技巧，这是它的优点，但是它却有着不可克服的缺点。其一是它不可能将显示像素分割成很多“子像素”因此它不可能有很多灰度级别。其次是它的灰度级别是用增加微细加工的成本和降低分辨率换取的。即若保持原有的分辨率就必须将原有显示像素再分割加工成更小的“子像素”，这在已经很小的显示像素的基础上将是十分困难的，而且大量增加的“子像素”，还需要大量的驱动、控制电路。这样造成成本增加也是不可以容忍的。

若以原有显示像素作为“子像素”，组成显示像素，其加工成本可以不必增加，但是显示像素面积扩大很多，其分辨率的降低也变得无法容忍。

总之，面积灰度调制的方法是以加大显示单元和驱动电路的数量，降低分辨率的代价来实现灰度显示的，同时制作更小的子单元会随着灰度级的增加而变得非常困难^[18]。

4.3.2 时间灰度(TRG)原理

在较短的时间内，人眼对亮度感觉不仅取决于发光体的发光强度，还与发光体点亮的时间有关。在一定时间范围内，点亮时间越长，人眼感觉的发光强度就越强。人眼的亮度感觉在这个时间内呈现出类似于积分的效果。因而，可以根据人眼视觉的“暂留”特性，利用发光体的点亮时间来区分亮度，实现灰度级。

时间比率灰度的基本原理则是像素的亮度由该像素被点亮的时间决定。脉宽调制、分场、逆变器等数字灰度方案都是基于时间比率灰度的。

脉宽调制法是把行寻址周期的时段再分段，在每个子段上根据灰度要求由列电极按比例加上导通或断开的电压。根据断开和导通时间的长短就可以得到不同的灰度显示。在每个子段的时间很小的时候，就可以实现多级灰度的显示了。

分场方式即，帧分解调制，其基本方法是把一帧灰度图像分解几个帧或者更多帧的黑白子图像，在通常一帧的时间之内显示几帧的图像。若某像素点在这几个帧都选通，则是最高亮度的；若这几个帧中都不选通，则是最低亮度的；如果该像素单元在有的帧显示，有的帧不显示，则由它显示帧数的多少决定了该像素点的灰度级别。当这几个帧图像在原来一帧的时间内显示出来，由于人的视觉暂留，图像的灰度级别就显示出来了。帧分解法是要把一帧的图像分解成许多帧，而显示屏的数据传输的速率要求比较高^[18]。

一. 子场方式

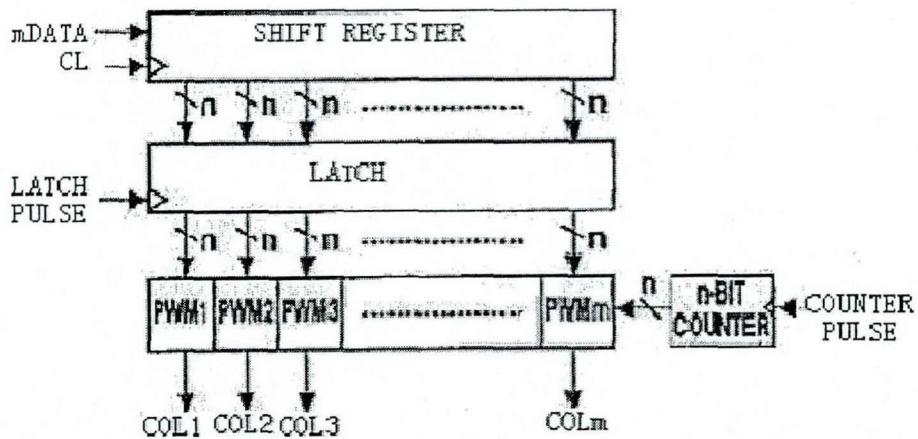
将 OLED 的发光单元看成只存在熄灭和发光两种状态。将输入视频信号 1 场的显示时间按 1: 2: 4: 8…的比例分割成若干子场，利用子场的组合可以得到精度范围内任意级别灰度显示所对应的像素发光时间，从而实现 OLED 的灰度级显示。对于彩色 OLED 屏，只需将三色像素各自以单色方式驱动，而后在屏上进行合成即可。

与模拟方法相比，利用子场技术可实现 OLED 灰度级显示，发光器件仅工作在发光或熄灭状态，无需考虑线性区问题，尤其对有源选址模式，对 OLED 驱动电压精度的要求和驱动管均匀一致性的要求都大大降低了，因而大大减低了对工艺的要求。

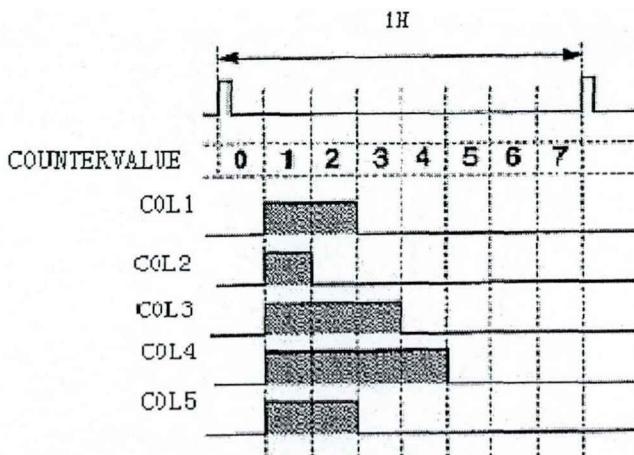
本论文中采用的就是四分场数字灰度方案：将一个场周期分为 4 个子场，4 个子场的发光时间比例为 1: 2: 4: 8。由于显示过程中不同子场所加的电压是相同的，使驱动 TFT 工作在输出特性靠近饱和区的线性区，OLED 工作在亮度饱和区，那么，OLED 在 4 个子场的发光有效亮度比例也为 1: 2: 4: 8，从而实现了 16 级灰度^[18]。

二. 脉宽调制(PWM)方式

脉宽调制法是把行寻址周期的时段再分段，例如分解成 16 个子段，在每个子段上根据灰度要求由列电极按比例加上导通或断开的电压。全部子段上都加上导通电压(即选通)，该单元具有最高亮度；都加上断开电压(即非选通)，该单元具有最低亮度；一部分子段导通，一部分断开，根据断开和导通时间的长短就可以得到不同的灰度显示。在每个子段的时间很小的时候，就可以实现多级灰度的显示了，如下图所示。

图 4.3 列驱动单元的框图^[18]

列驱动单元的框图结构如图 4.3 所示。列驱动单元包括一个移位寄存器在移位时钟 CL 的驱动下, 对每列输入的 n-bit 灰度数据 mDATA 移位输出; 锁存电路的输入信号是移位寄存器的输出信号, 由锁存脉冲信号锁存数据; n-bit 计数器是灰度数据时钟, m 脉宽调制电路是比较锁存电路给每列输出的 n-bit 灰度数据和 n-bit 计数器的数据, 并且输出与灰度数据成比例的脉冲列驱动信号 COL1, COL2, COL3, …, COLm。图 4.4 是脉宽调制电路的输出波形。

图 4.4 灰度脉宽调制输出波形^[18]

n bit 计数器的计数值, 如图 4.4 所示, 假设在 n=3 时, 在一个水平扫描周期(1H)中, 计数值从“0”, “1”, … “7”依次增加列驱动信号 COL1, COL2, COL3, …, COLm 在计数值为“1”是同时开始输出, 相应的像素点的灰度数据在脉冲宽度期间保持高电平。这样, 一行像素点 PX1, PX2, PX3, …, PXm 在图 4.4 所示的脉冲宽度期间发光, 发光时间的长短决定了它们的灰度, 这种方式的缺点是时序复杂, 电路开销大。【改调制方法引用文献 18】

第五章 AM-OLED 模块的测试方法及测试电路设计

5.1 灰度的实现原理

在较短的时间内，人眼对亮度感觉不仅取决于发光体的发光强度，还与发光体点亮的时间有关。在一定时间范围内，点亮时间越长，人眼感觉的发光强度就越强。人眼的亮度感觉在这个时间内呈现出类似于积分的效果。

因而，可以根据人眼视觉的“暂留”特性，将显示时间分割为多个时间段，每部分的维持时间不同，通过控制显示单元在每部分时间段的发光与否，即可组合出不同的亮度来。利用发光体的点亮时间来区分亮度，实现灰度级。子场技术属于时间灰度(TRG)调制之一，时间比率灰度的基本原理就是像素的亮度由该像素被点亮的时间决定。图 5.1 是具有 16 级灰度的 OLED 维持时间的分布图，在图中，亮度信息用 4bit 二进制数据来表示，亮度比值为 $b_4: b_3: b_2: b_1 = 8: 4: 2: 1$ ，四位二进制数所代表的亮度可以组合出 16 级灰度。

如果 $b_4b_3b_2b_1 = 0000$ ，则 OLED 在 4 个时间段内都不发光，如果 $b_4b_3b_2b_1 = 0001$ ，则亮度为 1 级，OLED 只在第一个时间段发光；如果 $b_4b_3b_2b_1 = 0010$ ，表示亮度为 2 级，OLED 只在第二个时间段发光，以此类推，如果 $b_4b_3b_2b_1 = 0111$ ，表示亮度为 7 级，OLED 在 3 个时间段都发光，如果 $b_4b_3b_2b_1 = 1111$ ，表示亮度为 15 级。以上所说的时间段，可定义为子场，则图 5.1 就表示了 4 个子场。利用子场技术可实现 OLED 灰度级显示，与模拟方法相比，发光器件仅工作在发光或熄灭状态，无需考虑线性区问题，尤其对有源选址模式，对 OLED 驱动电压精度的要求和驱动管均匀一致性的要求都大大降低了，因而大大减低了对工艺的要求。因此我们认为，子场技术是解决有源 OLED 灰度级显示行之有效的方法。

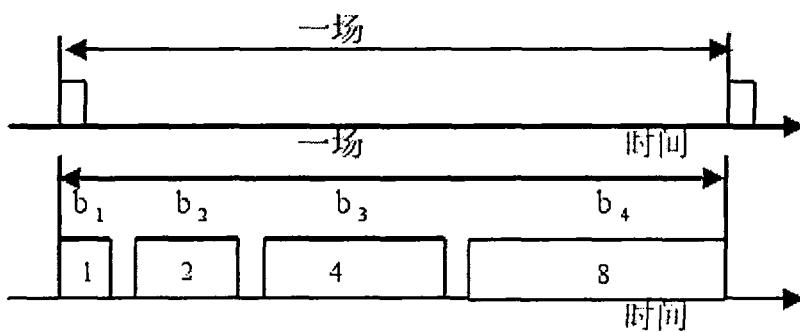


图 5.14 子场原理图

以单色 OLED 显示为例。设输入视频信号的帧频为 $1/T$ (T 为帧周期)灰度级别的数目为 N ，并且 $\log_2^L = n$, ($n \in N$)，每个发光单元的在 i 个子场中的状态变量设为 S_i , S_i 只有 0, 1 状态。将 1 帧显示的时间按 $1: 2: 4: 8 \dots$ 的比例分割成 n 个子场，则每个子场的显示时间为

$$\frac{2^{i-1}}{2^n - 1} T \quad (\text{式 5-1})$$

其中, n 为子场的数目, 它与所要选择的灰度级(N)满足 $N=2n$ 的关系; i 是第 i 个子场的序号, 为从 1 到 n 的自然数。此时, 任一发光单元在 1 帧内发光的时间为各子场显示时间之和, 即:

$$\left\{ s_1 \frac{2^0}{2^n - 1} T + s_2 \frac{2^1}{2^n - 1} T + s_3 \frac{2^2}{2^n - 1} T + \dots + s_n \frac{2^{n-1}}{2^n - 1} T \right\} = \sum_{i=1}^n s_i \frac{2^{i-1}}{2^n - 1} T \quad (\text{式 5-2})$$

【以上公式引用文献 15】

其中 s_i 尺寸应输入视频信号的量化值的第 i 位。可以看出, 当显示灰度级按 2 的幂指数增加时, 所带来的电路复杂度仅按线性增加。由(5-2)式可得出, 每个发光单元发光时间可以区分出 N 个级别, 其最小值为 0, 最大值为 T 。子场显示模式是将一场的时间分成若干个子场, 在每个子场的时间内分别把对应的图像信号写入显示屏, 并依次显示, 利用人眼的视觉“暂留”特性实现灰度图像的显示, 在子场显示模式下各个子场时间内显示屏显示的都是单色图像信息, 而在一整场的时间 T 中每个子场分别显示一次, 但我们看到的仍然是一幅灰度图像。

如果想显示出更加逼真的图像来, 就必须增加子场的数目。一般, 8 个子场就可以完全满足视觉感知的需要。也就是说, 将模拟图像信号进行 A/D 转换, 红、绿、蓝三种颜色都, 转换为八位二进制数字图像信号, 分别用 R0-R7、G0-G7、B0-B7 表示, 则每种颜色可显示出 $2^8=256$ 级灰度。

一帧彩色图像可以分解为 R、G、B 单色图像, 即将 R、G、B 单色图像分别同时传送分别驱动对应像素的红、绿、蓝 OLED 发光管, 并按相同的场频进行刷新, 由于人眼的空间分辨率有限, 由空间混色原理可实现彩色。同时对应位上的单位亮度的单色二值图像在时间上叠加, 利用人眼在时间上分辨力有限, 再由时间混色原理使得 3 种颜色的组合共可显示出 $256^3=16.7M$ 种颜色来。

5.2 系统的构成和功能描述

依据子场灰度显示原理, 我们要把一场灰度图像信息分成单色信息在相应的子场时间内写入显示屏上, 显示控制器要把单色数据写入缓冲存储器, 然后在每个子场对应的像素扫描寻址的相应时间内把显示数据从缓冲存储器读出送到显示屏的数据输入端口进行显示。待显示的数据信号在严格的时钟控制下被送到 OLED 面板, 像素在 OLED 上面是按照矩阵的形式二维排列的, 而像素在帧存中的存放形式是一维的按照一定的顺序存放在连续的地址空间中。在 OLED 显示中, 在一帧的显示周期里, OLED 对所有的帧存空间进行一遍扫描, 从而将帧存存储中的一维数据映射成 OLED 上的二维图像。

OLED 的驱动控制系统由两部分构成, 一部分由现场可编程门阵列(FPGA)构成控制系统, 控制系统主要有控制单元、存储单元两部分构成, 控制单元产生, 读写地址信号和

相应的控制信号。存储单元是将数据信息保存以用于扫描显示。所有的控制逻辑都是通过 VHDL 程序设计而成的，利用 MAX+PLUS II 进行系统设计和仿真，另一部分由功率器件构成显示驱动系统，驱动 OLED 显示屏进行显示。

5.2.1 FPGA 简介

FPGA(Field Programmable Gates Array，现场可编程门阵列)，是在 PAL、GAL 等逻辑器件的基础上发展起来的，适合于规模比较大的时序、组合等逻辑电路应用场合的芯片。

这种芯片具有可编程性和实现方案容易改动的特点。由于芯片内部硬件连接关系的描述可以存放在磁盘、ROM、PROM 或 EPROM 中，因而可以在可编程门阵列芯片及外围电路保持不动的情况下，换一块 EPROM 就能实现一种新的功能。FPGA 是一种半定制专用集成电路(ASIC)，它的出现既解决了全定制 IC 的不足，又克服了原有 PLD 电路数有限的缺点。

可以利用 FPGA 做 ASIC 前端设计的标准流程，或在很多应用中直接取代 ASIC。而目前系统级 FPGA 的大量使用使得整个系统都可以用 FPGA 作为实验平台，甚至直接用 FPGA 实现。使用 FPGA 来开发 OLED 驱动电路，具有用 FPGA 来开发产品的一贯优点，其成果可以很方便低成本的转化应用于实际中。

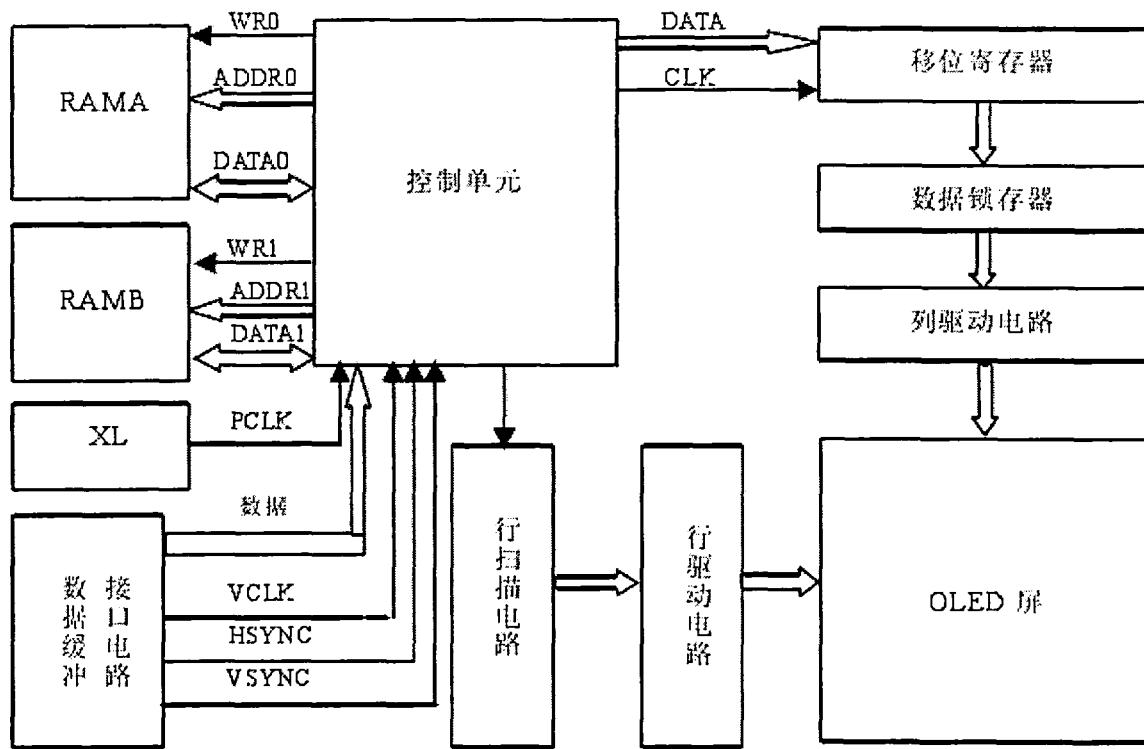
本文将提出基于 FPGA 平台的设计方法与具体实现，研究利用子场方式实现 OLED 的驱动电路。从资源、性能等方面，结合 OLED 本身的特点，仿真实验平台的 FPGA 选用 ALTERA 公司的 EP1K50 芯片来构成。EP1K50 芯片是 ALTERA 公司的 ACEXIK 系列的 FPGA。

ACEXIK 系列器件是 ALTERA 公司推出的新型 FPGA 产品。该器件基于 SRAM，结合查找表(LUT)和嵌入式阵列块(EAB)提供了高密度结构，因此，ACEXIK 器件可用来实现许多逻辑复杂、信息量大的系统。

ACEX 系列芯片内部集成有 CMOS SRAM 存储其配置信息。FPGA 在按照用户定义的方式工作前需要先对其进行配置，即将设计文件生成的配置信息下载到片内。ACEX 芯片内部使用的是 SRAM 来存储配置信息，掉电后需要对其重新配置^[7]。

5.2.2 系统的构成

显示系统有由两部分构成，由现场可编程门阵列(FPGA)构成的控制系统，和由功率器件构成的显示驱动系统，整个显示系统的框图如图 5.2 所示。

图 5.2 系统构成框图^[7]

控制系统主要有控制部分、存储器两部分构成。控制部分产生存储器的切换和读写地址信号，以及产生扫描和时序信号。存储器单元是将信号保存以用于显示扫描。采用 A、B 两组，帧存储器分别用于图像的扫描和图像数据接收。它们是交替进行工作的，这样可以防止在扫描过程中丢失新的数据。

其中，控制逻辑的关键是 2 块 RAM 的切换。系统启动后，FPGA 将得到的数据写入 RAMA，同时从 RAMB 中读出数据进行显示。尽管这时 RAMB 中的数据是一堆随机数字，但很快 RAMA 被填满了。当 1 块 RAM 中的数据被更新填满后，立即进行切换显示，如此往复。这个切换可以由信号源的场同步信号 VS 边沿驱动。

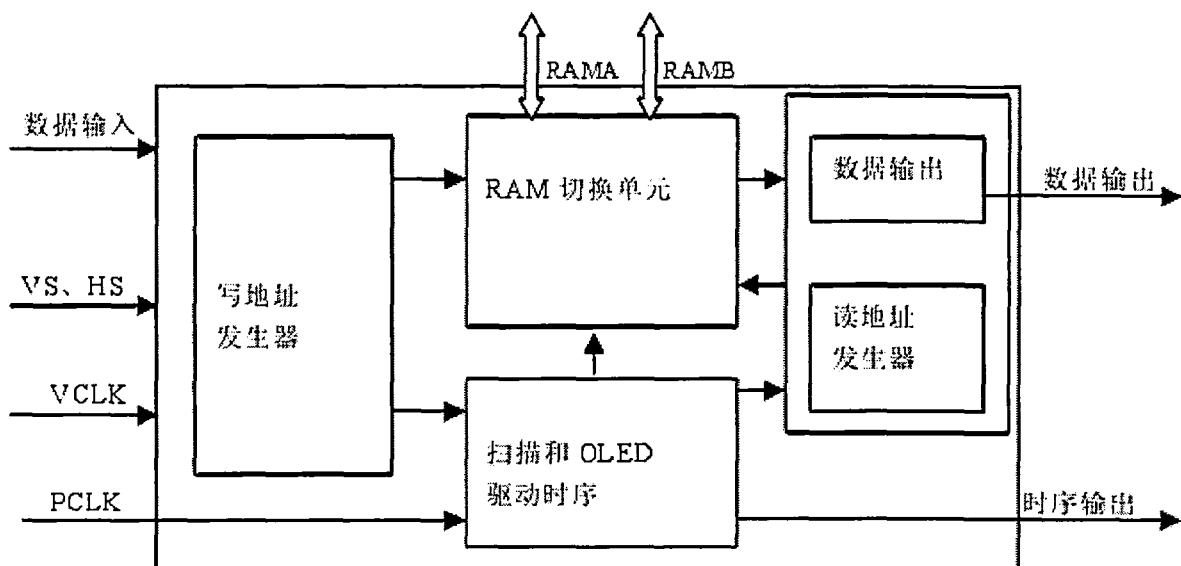
显示控制器系统电路可以简单地由 4 个功能模块来表示，如图 5.3 所示。

数据写入单元电路把输入视频数据存入存储器，同时产生存储器的写地址。

RAM 切换单元电路的作用是完成 RAMA 和 RAMB 读写状态的切换，当向 RAMA 写入数据时，RAMB 的数据被读出送到显示屏，RAMA 和 RAMB 交替进行读写操作其地址线和数据线的传输方向由 RAM 切换单元电路根据场的同步信号来控制。

扫描和 OLED 驱动时序单元电路产生各子场同步信号及扫描时钟信号，同时产生驱动 OLED 显示的时序信号。

数据输出单元电路根据时序发生电路产生的子场扫描寻址信号，给出存储器的读地址，完成显示数据的输出。控制单元的内部框图如下：

图 5.3 控制单元的内部框图^[15]

系统采用块切换法进行存储控制，也就是两组 RAM、两组地址线和数据线轮流进行读写。这种方法的关键在于精确规定帧存储器中的数据存放地址与屏幕上象素点的位置的对应关系，这取决于写地址发生器和读地址发生器的设计。

在控制 OLED 屏幕显示时，有三种不同的控制信号频率需要考虑：象素显示频率、行扫描频率和整屏图像刷新频率。它们一般称为点频、行频和帧频。点频是视频子系统显示象素的频率，也称视频宽度，行频就是每秒显示的扫描线数，用点频除以每条扫描线的象素数，就得到行频。帧频是每秒屏幕刷新的次数，在每个刷新周期内显示规定的扫描线数，也就决定了帧频，把行频除以每帧的扫描线数就得到了帧频。

对于一个 160×120 的系统，以场频 60Hz 为例，场周期为 16.7ms，其中 0.1ms 为场使能信号剩下的用于显示，若采用四个子场方案，四个子场的显示时间比例为 1: 2: 4: 8，则每个子场的显示时间为 1.11ms, 2.21ms, 4.23ms, 8.85ms，要在 1.11ms 的时间内写入 120 行，则行频为 108kHz 对于单色 160 列则系统的时钟点频为 $108\text{kHz} \times 160 = 17.3\text{M}$ ，若对于 640×480 分辨率的 VGA 信号采用四分场的 16 级灰度方案系统的时钟将会提高到上百 M，要显示 SVGA 或 XGA 这样高分辨率的视频信号几乎变的非常困难，可以看出数字驱动电路的困难在于工作频率比较高。

为了得到更高的分辨率，和更高刷新频率，系统的时钟频率将会变的非常高，由于驱动电路要以很高的频率工作，这样电路中的电磁干扰 EMI 将会变的不容忽视，而且变的更重要。解决的办法有采用降低电磁干扰的一些路上的措施，同时在显示系统的结构上可以采用分成几块屏显示的方法，虽然增加了系统的控制难度，但可以有效的降低时钟点频，从而降低系统的 EMI 电磁干扰。

5.2.3 单元电路的功能介绍

为了方便说明问题,系统仿真试验中采用的是 4×4 分辨率16级灰度的OLED显示屏,采用四分场的方式实现灰度等级,系统使用两组 16×4 位的存储器,每组存储器分成4个存储空间,分别对应4个子场的图像(一帧)。利用子场扫描方法,完成整个数据的重新组合,重现多灰度图像显示。系统分两部分来介绍,一部分是扫描和驱动时序产生电路,另一部分是存储器的读写地址产生电路和切换电路。

(1)扫描和驱动时序电路部分包括产生行扫描信号以及时序产生单元电路的设计。

一场图像显示开始后,产生扫描和行、场同步信号,行扫描由行计数器和译码器组成。外部时钟(PCLK)经过分频,产生的行时钟(CLK)是行列单元的记数时钟。记数时钟作为行计数器的输入时钟脉冲,上升沿触发记数。行单元的记数值经过一个译码器,在时钟的上升沿触发下,产生逐行扫描信号。

列计数器的输入脉冲也是行时钟,上升沿触发记数。列计数器的记数48值是RAM的地址输入信号,用于产生RAM的读地址。

驱动时序信号产生模块,产生精确的同步信号来驱动显示器。用计数器精确计时,输出行同步信号DHS和场同步信号DVS。

(2)存储器的控制电路部分的设计包括有存储器切换,存储器写地址和读地址产生。

存储单元是将信号保存以用于显示扫描。采用A、B两组帧存储器分别用于图像的扫描和图像数据接收。它们是交替进行工作的,这样可以防止在扫描过程中丢失新的数据。

RAM切换单元电路的功能是控制两组RAM之间读写的切换,仿真试验中采用的是 4×4 分辨率16级灰度的OLED显示屏,我们使用两组 16×4 位的存储器,每组存储器分成4个存储空间,分别对应4个子场的图像(一帧)。由视频信号源的场同步信号VS产生一个场标志信号SEL,作为两组RAM读写切换的控制信号。

结合WR0(写RAMA)和WR1(写RAMB)信号,在第一组RAM处于写状态时,其地址总线与写地址发生器相连,数据总线与数据输出总线相连,在写地址发生器的控制下分别把4个子场的图像数据写入RAM的相应单元地址。

在下一个场标志信号SEL信号到来,第一组RAM被切换为读状态,第二组RAM为写状态。这样有利于在高速读出RAM时采用连续地址。RAM切换单元电路的I/O接口包括地址发生器的接口、数据输入输出、RAMA和RAMB接口及场标志输入信号。

RAM写入控制模块的作用是系统完成两组RAM交替读写,在写地址发生器中,利用外部接口输出的时钟(VCLK),行同步信号(HSYNC),场同步信号(VSYNC),产生写地址以及写控制信号。

RAM读出控制模块的作用是当RAM处于读状态时,利用列计数器的记数值经过转换

作为 RAM 的地址输入信号，用于产生 RAM 的读地址。

本系统将不同像素的同权位组合在一起，存放在地址连续的存储体中，RAM 中的数据被分成四部分，分别存储了 4 个子场的数据，然后利用子场扫描方法，完成整个数据的重新组合，重现多灰度图像显示。

读地址信号被加在 RAM 上，将对应 RAM 中的内容读出，经过锁存，驱动送到 OLED 屏上。读地址发生电路是实现 OLED 子场方式显示的关键，它主要完成各子场的时间分配，子场灰度产生方法是将存储器中第一，第二，第三，第四子场的数据扫描所需的时间按 1: 2: 4: 8 完成，可以有 49 多种显示顺序。

仿真实验中采用两种顺序。方式一是按顺序显示第 1, 2, 3, 4 子场一次，第 2, 3, 4 子场一次，第 3, 4 子场两次，第 4 子场四次。方式二是按顺序显示第 1 子场一次，第 2 子场两次，第 3 子场四次，第 4 子场八次。

由于显示一次子场的时间相同都是四个行时钟周期，所以存储器中第一，第二，第三，第四子场的数据扫描所需的时间比就是 1: 2: 4: 8，从而形成了灰度等级。在下一个场同步信号到来时，扫描和 OLED 驱动时序单元电路复位，开始下一场图像的显示。

5.3 系统的设计实现

子场灰度显示控制器是数字逻辑电路系统，可以用硬件描述语言 VHDL 或 Verilog HDL 来设计。本文使用 VHDL 进行设计，VHDL 已被接受为描述，验证和设计电子线路最重要的标准语言之一。目前，许多高技术公司以 VHDL 作为数字系统的描述语言。VHDL 作为电路硬件设计的语言，具有以下的特点设计技术齐全、方便灵活、支持广泛系统硬件描述能力强，可以实现与工艺无关编程，VHDL 语言标准、规范易于共享和互用。用 VHDL 代码，而不是用原理图，是一种新的设计方法。

VHDL 语言描述能力强，覆盖面广，抽象能力强，用 VHDL 语言作为硬件模型建模很合适。设计者的原始描述是非常简练的硬件描述，经过 EDA 工具综合处理，最终生成付诸生产的电路描述或版图参数描述的工艺文件。

通过编写对各单元电路进行以行为级描述的 VHDL 代码，再用 EDA 工具对 VHDL 代码进行功能仿真和逻辑综合。经过验证的设计方案可以将综合器的输出转化成为 FPGA 工具能够接受的逻辑网表文件，直接下载到 FPGA 芯片完成设计。也可以与其他后端 CAD 工具进行衔接，进一步实现专用芯片物理结构的 Layout 设计。

在编写 VHDL 程序之前，需要讨论一下 VHDL 语言的编写方式。用 VHDL 语言编写的程序要经过综合软件综合成可实现的电路，因为现在的综合器还不能把所有的 VHDL 语言表述完全翻译成具体电路，所以在编写面向可以综合的 VHDL 语言时，必须尽量按照电路的具体构成来组织硬件描述代码。这里就要用到自顶向下的设计思想，将整个功能分成由若干个子模块组成，分别完成每个模块的功能设计，然后将它们连接起来。并且在

每个模块的设计过程中，尽量使用已经存在的数字模块和已知的能够被综合器综合的语法。

控制系统所有的这些控制逻辑都是通过 VHDL 程序设计而成的，利用 MAX+PLUS II 进行系统设计和仿真。控制系统主要有控制单元、存储单元两部分构成^[14]。

5.3.1 行扫描和 OLED 驱动时序产生单元的设计

(1)行列记数器和行扫描输出单元：

仿真试验中采用的是 4×4 分辨率的 OLED 显示屏，行扫描由行计数器和译码器组成，外部时钟(CLK)经过分频，产生的行时钟(ROW_CLK)是行列单元的记数时钟。行计数器 CNT_ROW 的输入脉冲是行时钟 CLK，上升沿触发记数，行单元的记数值经过一个 2-4 译码器，在时钟的上升沿触发下，产生如图 5-4 所示的逐行选通的扫描信号。

列计数器 CNT_COL(4BITS)的输入脉冲也是行时钟(ROW_CLK)，上升沿触发记数。列计数器的记数值是 RAM 的地址输入信号，用于产生 RAM 的读地址。这部分源代码见附录，仿真结果如下图 5.4 所示。

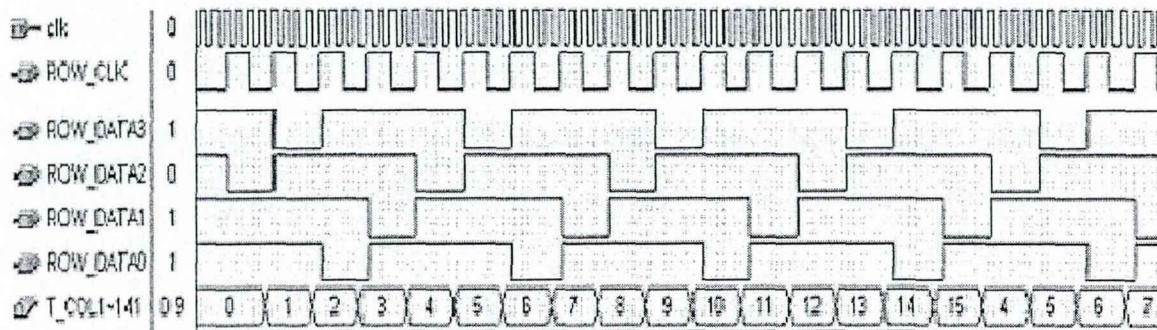


图 5.4 行扫描输出的仿真波形

(2)产生同步信号模块

同步信号模块产生精确的同步信号来驱动显示器，为此必须理清所有的时序关系，用计数器精确计时，输出行同步信号 DHS 和场同步信号 DVS。

本仿真试验中采用的是 4×4 分辨率的 OLED 显示屏，产生过程是这样的，首先设置一个像素点时钟的计数器，当计满 4 个后，产生行同步信号 DHS，可以做为锁存脉冲，将数据锁存显示，同时用另一个计数器对行同步信号 DHS 计数。

一整场包含了四个子场，显示次数为第 1 子场一次，第 2 子场两次，第 3 子场四次，第 4 子场八次，显示一次子场的时间相同都是四个行时钟周期，即一个行时钟，所以当行时钟计数器计到 15 的时候就可以显示完整的一场的数据。这部分源代码见附录，仿真结果如下图 5.5 所示。

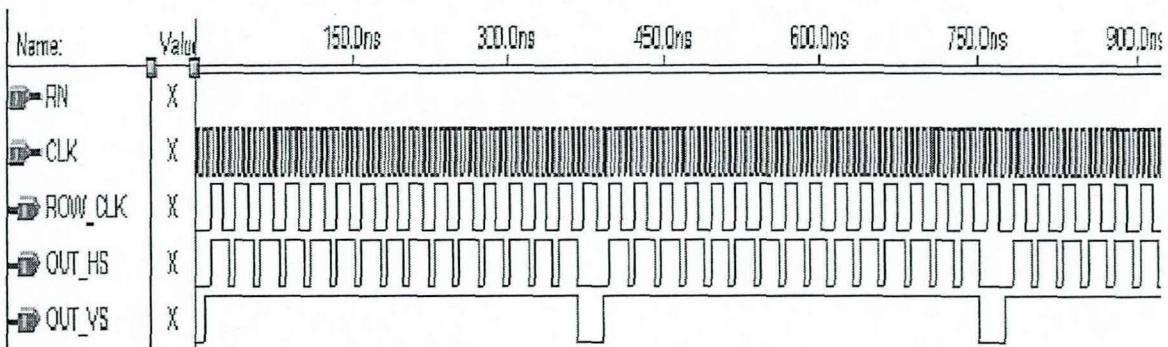


图 5.5 输出 DHS 和 DVS 的仿真波形

5.3.2 存储器模块的设计

ACEX 系列器件内部有丰富 EAB 资源，可以用来实现 RAM。本文用 MAXPLUS 提供的库函数 lpm_ram_dq 来生成 RAM。对库函数的具体述可以参考 MAXPLUS2 的帮助文档。

存储器模块单元，通过调用 MAX-plus II 的 LPM_RAM 单元实现，R 的地址线是 2 位，数据线是 4 位。在时钟的上升沿触发下输出 4 位显示数据。

LPM (Library of Parameterized Modules) 是已经预设计好的模块，程序中只需要对它进行调用，并且根据自己的需求更改相关参数，以符设计的要求。RAM 中的数据以 .MIF 为后缀的文件存放在硬盘中，仿真的时候 MAX-plus II 自动调用，在 MAX-plus II 的仿真环境下可以对数据文件进行修改存档。

(1) 存储器单元，存储器模块需要两组 $4 \times 16\text{bit}$ 宽的 RAM，通过调 MAX-plus II 的 LPM_RAM 单元实现，RAM 中的数据以.mif 为后缀的文存放在硬盘中，程序如下：

```
RAM_EXAMPLE: LPM_RAM_DQ--配置 RAM
  GENERIC MAP(LPM_WIDTH=>4,
              LPM_WIDTHAD=>4,
              LPM_INDATA=>"REGISTERED"
              LPM_ADDRESS=>"REGISTERED"
              LPM_OUTPUT=>"USE_EAB=ON")
              LPM_HINT=>"USE_EAB=ON")
              --初始化 RAM 数据文件
              LPM_FILE=>"O: \EXAMPLE.mif");
```

RAM 的地址线是 2 位，数据线是 4 位。在 CLK 的上升沿触发下输出显示数据 4 位列数据 COL_DATA。

使用 lpm_ram_dq 函数生成的 RAM 的工作方式有“Registered”和“Unregistered”两种，即是否对数据进行一次寄存。后者更高效但对地址与数据的同步要求较高，难于控制。为

了方便和稳定，本文使用了前者。

在“Registered”状态下，RAM 输出的有效数据延迟了一个时钟周期，即：在第 n 个时钟进行有效的读取操作时，有效数据在第 n+2 个时钟前才会出现在数据线上。当连续读一组数据时，该数据块整体上有一个时钟的延迟，但数据传输率不变，故对模块不会产生影响。

(2)RAM 写入控制单元

系统利用两组 RAM，两组 RAM 交替读写，在写地址发生器中，利用外部接口输出的时钟(VCLK)，行同步信号(HSYNC)，场同步信号(VSYNC)，产生写地址以及写控制信号。写的时候行计数器的输入为计算机的行同步信号，这部分源代码见附录，图 5.6 是 RAM 数据写入的仿真波形。

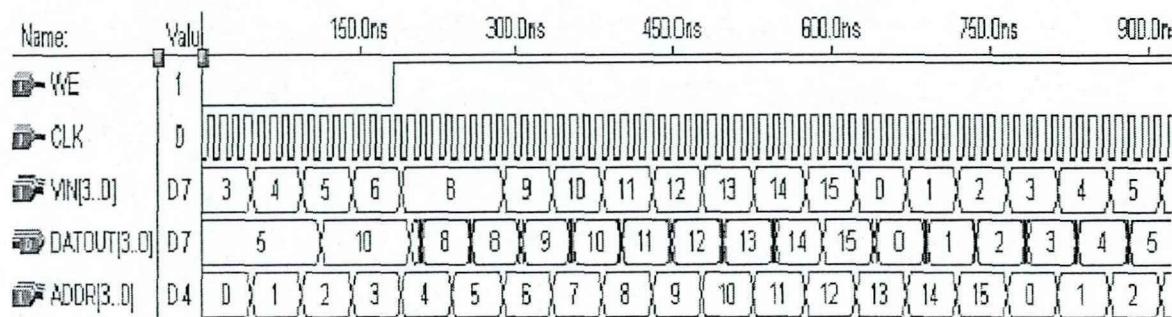


图 5.6 RAM 的数据写入的仿真波形

(3)RAM 切换控制单元

存储器控制信号包括片选信号，及读写信号控制信号。读写控制信号的可以由以下程序产生，在整个读期间/OE0 为低电平，写控制信号/WE 采用系统时钟控制，在写期间，系统时钟的低电平写入，高电平禁止。

仿真结果见下图，图 5.7 是 RAM 切换的仿真波形。RAM 数据方向如表 5.1 所示。

表 5.1 RAM 数据方向列表

Sel	RAM(A) 数据方向	RAM(B) 数据方向
0	DATAIN --> DRA	DRB --> DATAOUT
1	DRA --> DATAOUT	DATAIN --> DRB

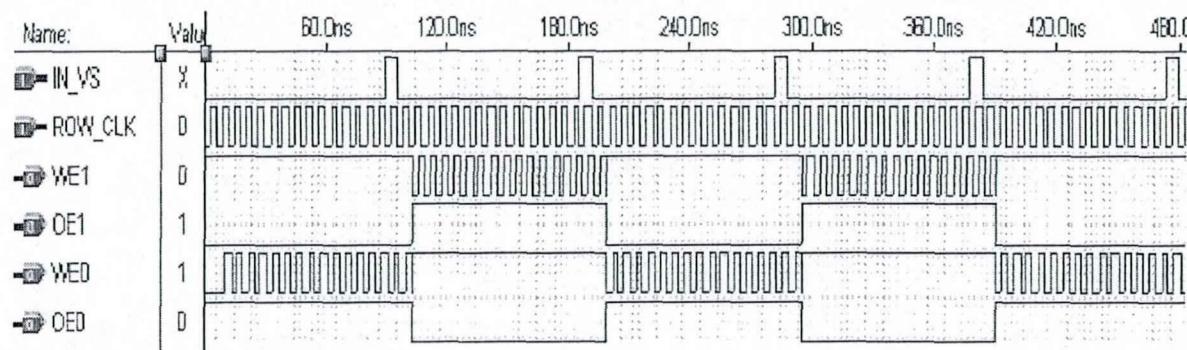


图 5.7 RAM 切换的仿真波形

(4)RAM 读出控制单元和子场显示的灰度产生模块

读出控制是当 RAM 处于读状态时，利用列计数器的记数值经过转换作为 RAM 的地址输入信号，用于产生 RAM 的读地址。将读地址信号加在 RAM 上，将对应 RAM 中的内容读出，经过锁存，驱动送到 OLED 屏上。

读地址发生电路是实现 OLED 子场方式的灰度显示的关键，它主要完成各子场的时间分配，子场灰度产生方法是将存储器中第一，第二，第三，第四子场的数据扫描所需的时间按 1: 2: 4: 8 完成。

显示屏上要显示的数据值如下表所示。表 5.2 是代表了一个 4×4 像素的显示屏，每个像素点的灰度级是 16 级，所以每个像素点的数据是 4 位。

表 5.2 RAM 中 16 级灰度的 RAM 数据列表

1000	1001	1110	1111
1100	1101	1110	0111
1111	1110	1101	1100
0011	1010	1001	1000

像素的存储可以有两种方法：

一种是，组合像素法(packed pixel method)，即每个像素的所有位都集中放在一起，按地址循序存放。另一种是(bit plane method)：即每个像素的同权位各自存放在的连续存储体中。

本系统采用的是第二种方法，将不同像素的同权位组合在一起，存放在地址连续的存储体中，然后利用子场扫描方法，完成整个数据的重新组合，重现多灰度图像。RAM 中的数据被分成四部分，分别存储 4 个子场的数据，如下图 5.8 所示。

<table border="1"><tbody><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></tbody></table>	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	<table border="1"><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></tbody></table>	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	<table border="1"><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></tbody></table>	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	<table border="1"><tbody><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></tbody></table>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
0	1	0	1																																																																
0	1	0	1																																																																
1	0	1	0																																																																
1	0	1	0																																																																
0	0	1	1																																																																
0	0	1	1																																																																
1	1	0	0																																																																
1	1	0	0																																																																
0	0	1	1																																																																
1	1	1	1																																																																
1	1	1	1																																																																
0	0	0	0																																																																
1	1	1	1																																																																
1	1	1	0																																																																
1	1	1	1																																																																
0	1	1	1																																																																
第一子场	第二子场	第三子场	第四子场																																																																

图 5.8 分解成的四个无灰度的场

ACEX 系列器件内部有丰富的 EAB 资源，可以用来实现 RAM。每个 EAB 有固定的容量 EP1K50 的 EAB 为 4096bit。一个 EAB 只能构成一个 RAM，但该 RAM 的宽度是可变的，可以是 1, 2, 4, 8, 16(bit)。其深度根据宽度的不同而不同，总的容量(RAM 宽度 \times RAM 深度)是不变的。若模块只使用宽度为 16bit 以下的 RAM，则可以很方便地用一个

EAB 来构成。

存储器模块需要两组 $4 \times 16\text{bit}$ 宽的 RAM，RAM 读出控制单元和子场显示的灰度产生主要集中在 RAM 的控制上。RAM 中的数据以.mif 为后缀的文件存放在硬盘中，仿真时候 MAX-plus II 自动调用，在 MAX-plus II 的仿真环境下可以对数据文件进行修改存档。MAP_LPM_RAM.MIF 文件中的数据内容如下：

```
WIDTH=4;
DEPTH=16;
ADDRESS_RADIX=DEC;
DATA_RADIX=BIN;
CONTENT BEGIN
0: 0101; 1: 0101; 2: 1010; 3: 1010;
4: 0011; 5: 0011; 6: 1100; 7: 1100;
8: 0011; 9: 1111; 10: 1111; 11: 0000;
12: 1111; 13: 1110; 14: 1111; 15: 0111;
END
```

地址 0—3 为第一子场数据，在一整场中被扫描的次数为 1 次

地址 4—7 为第二子场数据，在一整场中被扫描的次数为 2 次

地址 8—11 为第三子场数据，在一整场中被扫描的次数为 4 次

地址 12—15 为第四子场数据，在一整场中被扫描的次数为 8 次

可以得出第一子场的起始地址为“0000B”，第二子场的起始地址为“0100B”，第三子场的起始地址为“1000B”，第四子场的起始地址为“1100B”。

在图像的扫描显示时，读地址发生器指向 RAM 中第一子场数据存放区的首地址，在像素时钟的控制下，把第一子场数据写入 OLED 芯片，点亮 OLED。把读地址指向 RAM 中第二子场数据存放区的首地址，则在第二子场场同步信号的下降沿开始第二子场数据的写屏过程。同样方法可以显示第三和第四子场的数据。

子场灰度产生的关键是将存储器中第一，第二，第三，第四子场的数据扫描所需的时间按 1: 2: 4: 8 完成，由于显示一次子场的时间相同，都是四个行时钟周期，所以只要将第 1 子场显示一次，第 2 子场显示两次，第 3 子场显示四次，第 4 子场显示八次即可。可以有多种显示顺序。以下是两种子场显示顺序控制。

方式一：

按顺序显示第 1, 2, 3, 4 子场一次，第 2, 3, 4 子场一次，第 3, 4 子场两次，第 4 子场四次。图 5-9 为方式一，仿真波形图。

PROCESS(CLK)

BEGIN

```

IF CLK='1'AND CLK'EVENT THEN
  CASE CNT_COL IS
    --CNT_COL 列计数器的记数值
    WHEN 15|27|35|43|47|51|55|59=>CNT_COL1<="1111";
      --CNT_COL1 为处理后的读地址
    WHEN 14|26|34|42|46|50|54|58=>CNT_COL1<="1110";
    WHEN 13|25|33|41|45|49|53|57=>CNT_COL1<="1101";
    WHEN 12|24|32|40|44|48|52|56=>CNT_COL1<="1100";
    WHEN 11|23|31|39=>CNT_COL1<="1011";
    WHEN 10|22|30|38=>CNT_COL1<="1010";
    WHEN 9|21|29|37=>CNT_COL1<="1001";
    WHEN 8|20|28|36=>CNT_COL1<="1000";
    WHEN 7|19=>CNT_COL1<="0111";
    WHEN 6|18=>CNT_COL1<="0110";
    WHEN 5|17=>CNT_COL1<="0101";
    WHEN 4|16=>CNT_COL1<="0100";
    WHEN 3=>CNT_COL1<="0011";
    WHEN 2=>CNT_COL1<="0010";
    WHEN 1=>CNT_COL1<="0001";
    WHEN 0=>CNT_COL1<="0000";
    WHEN OTHERS=>NULL;
  END CASE;
END IF;
END PROCESS;
ADDR_R<=CNT_COL1;
  --ADDR_R 为 RAM 的地址

```

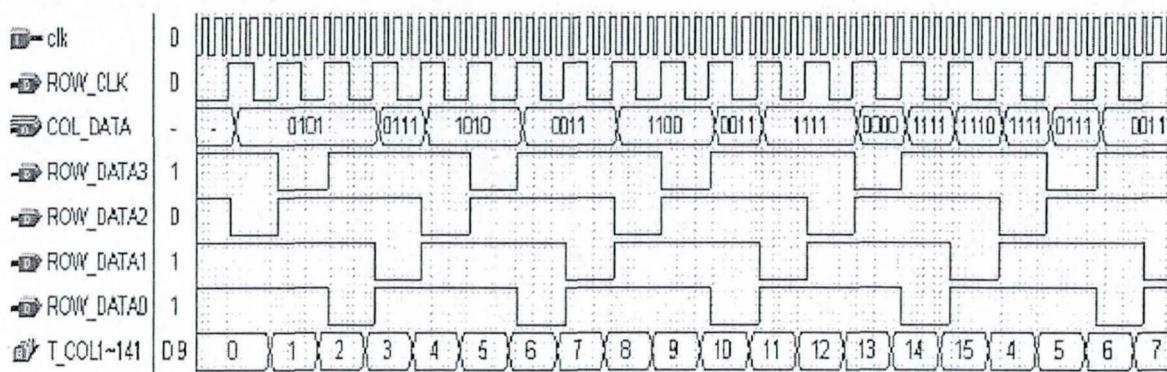


图 5.9 方式一仿真波形

图 5.9 是仿真波形图，图中 COL_DATA 列数据输出，其波形是子场调制的输出波形。从仿真结果来看，输出的行列波形已达到预期效果。

方式二：

按顺序显示第 1 子场一次，第 2 子场两次，第 3 子场四次，第 4 子场八次。

PROCESS(CLK)--子场产生顺序

BEGIN

IF CLK='1'AND CLK'EVENT THEN

CASE CNT_COL IS

WHEN 31|35|39|43|47|51|55|59=>CNT_COL1<="1111";

WHEN 30|34|38|42|46|50|54|58=>CNT_COL1<="1110";

WHEN 29|33|37|41|45|49|53|57=>CNT_COL1<="1101";

WHEN 28|32|36|40|44|48|52|56=>CNT_COL1<="1100";

--第 4 子场八次的显示

WHEN 15|19|23|27=>CNT_COL1<="1011";

WHEN 14|18|22|26=>CNT_COL1<="1010";

WHEN 13|17|21|25=>CNT_COL1<="1001";

WHEN 12|16|20|24=>CNT_COL1<="1000";

--第 3 子场四次的显示

WHEN 7|11=>CNT_COL1<="0111";

WHEN 6|10=>CNT_COL1<="0110";

WHEN 5|9=>CNT_COL1<="0101";

WHEN 4|8=>CNT_COL1<="0100";

--第 2 子场两次的显示

WHEN 3=>CNT_COL1<="0011";

WHEN 2=>CNT_COL1<="0010";

WHEN 1=>CNT_COL1<="0001";

WHEN 0=>CNT_COL1<="0000";

WHEN OTHERS=>NULL;

END CASE;

END IF;

END PROCESS;

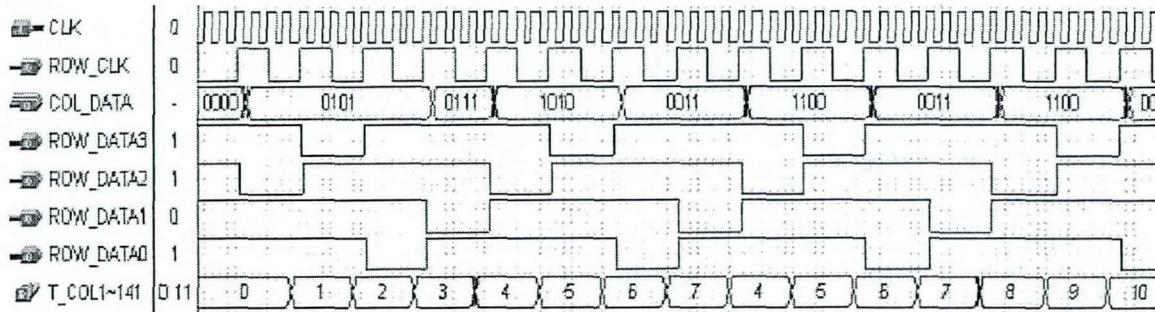


图 5.10 方式二仿真波形

图 5.10 是仿真波形图, 图中 COL_DATA 列数据输出, 其波形是子场调制的输出波形。从仿真结果来看, 输出的行列波形已达到预期效果。

针对 OLED 的器件特性, 提出了子场驱动的设计方案, 并设计了子场驱动调制输出的解决方法。本文介绍的设计方法由于采用了 VHDL 语言设计输入方式, 具有很大的设计灵活性。限于实验条件, 只作了控制芯片的软件设计和波形仿真以及驱动电路的原理设计。该控制电路可用于有源选址的 OLED 显示。

5.4 一种 AM-OLED 模块驱动设计应用方法

在有源矩阵有机发光二极管显示 (Active Matrix OLED, AM-OLED) 中, 如果采用 N 型晶体管作为驱动管。那么 TFT 的栅极 (gate) 线开启电压为正极性, 相反 gate 线关闭电压为负极性。在显示时, 第一级 TFT 的 gate 线逐行扫描, 工作波形如图 5.11 所示。关于数据 (data) 线, 它们是用来驱动下一级 TFT, 通过控制 TFT 的 gate 端的电压, 进而控制流过发光二极管的电流, 以达到控制亮度的作用, 所以需要驱动芯片输入的 data 线驱动波形, 波形如图 5.12 所示, 当扫描脉冲到来时, 根据要显示的灰阶数据线上有不同的电压, 并且电压不翻转。对于 TFT-LCD 驱动芯片, 按公共 (COMMON) 电压的交流和直流分成两种, 当可能适用的 COMMON 电压为交流的情况时, 驱动芯片输出波形如图 5.13 所示。由于 LCD 的液晶有极化现象, 所以 LCD 驱动芯片的数据线上需要有电压翻转, 通常有帧翻转、行翻转、点翻转等, 图 5.13 示出了帧翻转的情况, 各灰阶电压随着 COMMON 电压发生翻转。由于 AM-OLED 的特定驱动芯片稀缺, 可将 TFT-LCD 驱动芯片应用到 AM-OLED 中, 但由于 TFT-LCD 驱动芯片输出的数据线电压具有翻转特性, 而 AM-OLED 显示驱动数据线电压不具有翻转特性, 因此, TFT-LCD 驱动芯片输出的数据线电压不能更改的翻转特性与 AM-OLED 显示驱动数据线电压不翻转的兼容是亟待解决的问题。

5.4.1 要解决的技术问题

本研究要解决的技术问题是: 如何使 TFT-LCD 驱动芯片输出的数据线电压不能更改的翻转特性兼容 AM-OLED 显示驱动数据线电压不翻转的特性, 使得 TFT-LCD 驱动芯片用于驱动 AM-OLED 显示设备。

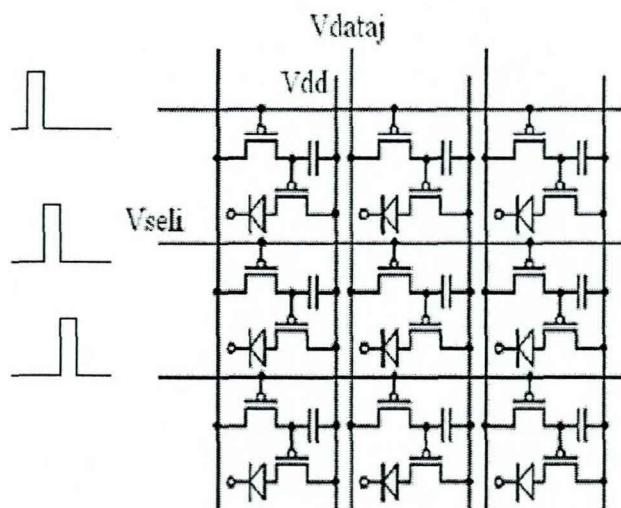


图 5.11【AM-OLED 像素原理图】

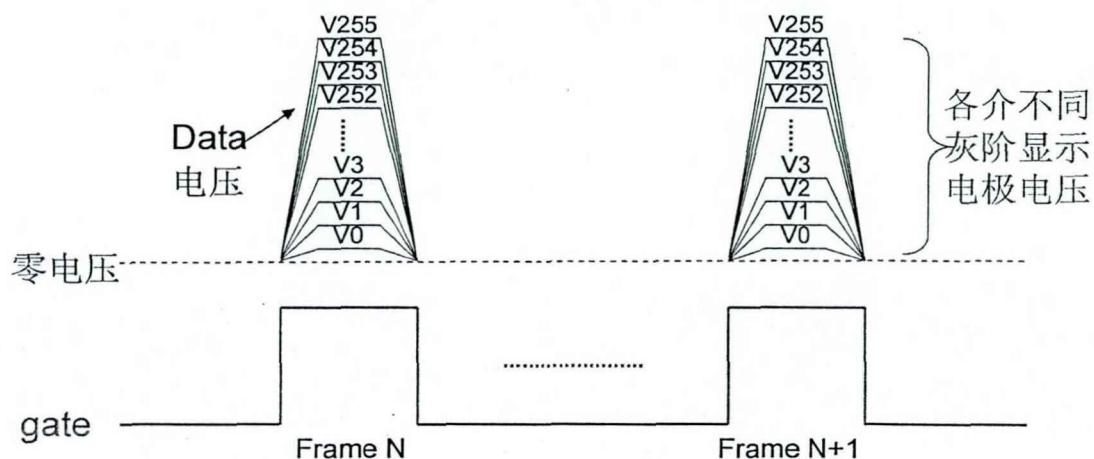


图 5.12【AM-OLED 驱动示意图】

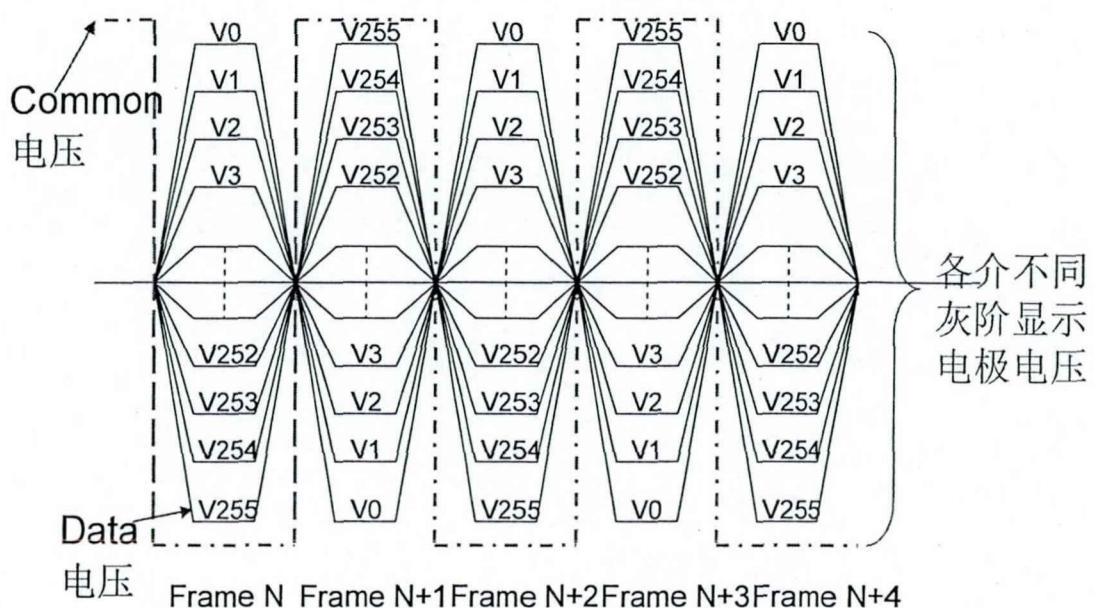


图 5.13【TFT-LCD 驱动 IC 驱动示意图】

5.4.2 技术方案

为解决上述技术问题，本研究提供了一种AM-OLED驱动装置，包括：TFT-LCD驱动芯片和与所述TFT-LCD驱动芯片连接的数据电压转换器（如图5.14）。

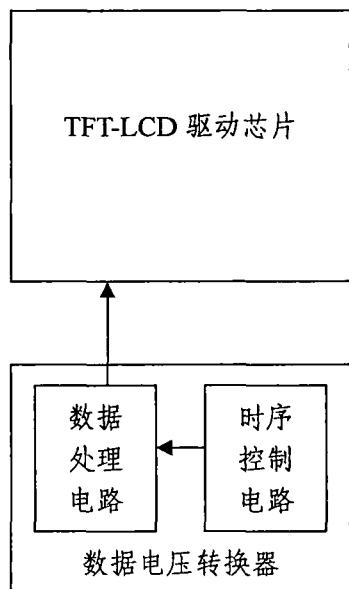


图 5.14 【电路基本示意图】

所述数据电压转换器包括：

时序控制电路，用于监测所述TFT-LCD驱动芯片的公共电压高低电平变化的时序；

数据处理电路，用于根据所述时序控制电路监测到的公共电压电平变化及当前输入数据对应的驱动电压，将所述输入数据替换成公共电压电平变化前后所述驱动电压对应的TFT-LCD显示数据，并将所述TFT-LCD显示数据传输给所述TFT-LCD驱动芯片。

其中，所述数据处理电路为：

真值表查找电路，用于根据所述时序控制电路监测到的公共电压电平变化及当前输入数据对应的驱动电压，在TFT-LCD驱动芯片的真值表中查找公共电压电平变化前的第一TFT-LCD显示数据和公共电压电平变化后的第二TFT-LCD显示数据，并将所述第一TFT-LCD显示数据或第二TFT-LCD显示数据传输给所述TFT-LCD驱动芯片，在所述真值表中，所述第一TFT-LCD显示数据和第二TFT-LCD显示数据对应的TFT-LCD显示电压值与所述驱动电压最接近，如图5.15和5.16所示。

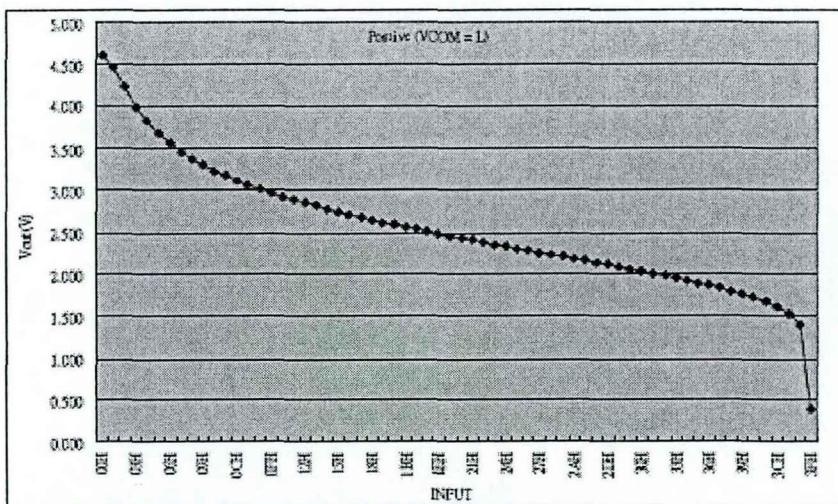


图 5.15 【正极性时 DATA 线输出对应关系】

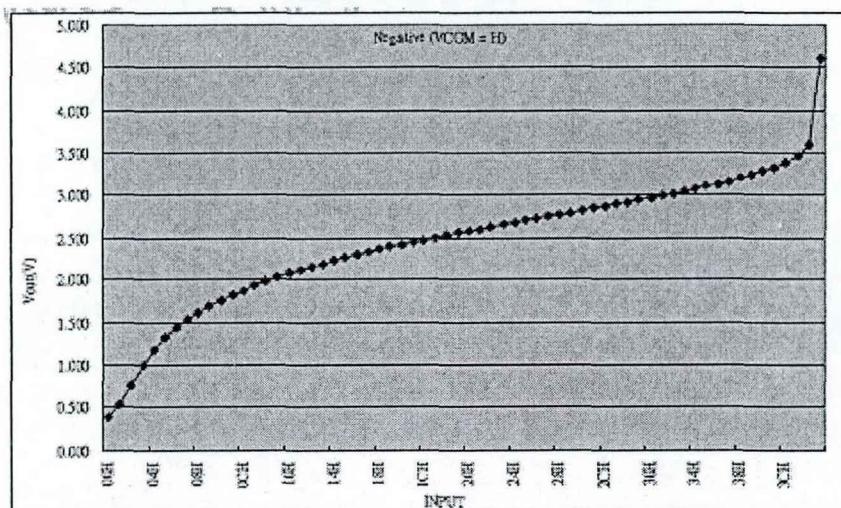


图 5.16 【正极性时 DATA 线输出对应关系】

其中，所述数据处理电路为：

灰度等级计算电路，用于根据所述时序控制电路监测到的公共电压电平变化及当前输入数据对应的驱动电压，利用 TFT-LCD 驱动芯片的灰度等级公式计算公共电压电平变化前的第一 TFT-LCD 显示数据和公共电压电平变化后的第二 TFT-LCD 显示数据，并将所述第一 TFT-LCD 显示数据或第二 TFT-LCD 显示数据传输给所述 TFT-LCD 驱动芯片，所述第一 TFT-LCD 显示数据和第二 TFT-LCD 显示数据对应的 TFT-LCD 显示电压是计算所得的与所述驱动电压最接近的电压。

其中，所述数据电压转换器为：FPGA 或 CPLD。

本研究还提供了一种利用上述 AM-OLED 驱动装置的 AM-OLED 驱动方法，包括以下步骤如图 5.17：

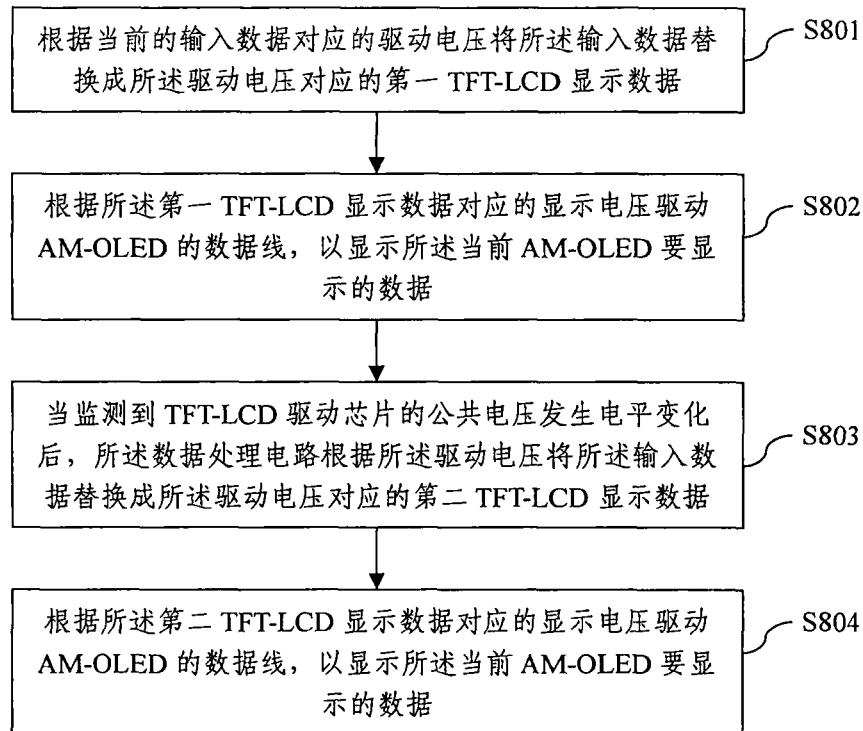


图 5.17【应用流程图】

S1：根据当前的输入数据对应的驱动电压将所述输入数据替换成所述驱动电压对应的第一 TFT-LCD 显示数据；

S2：根据所述第一 TFT-LCD 显示数据对应的显示电压驱动 AM-OLED 的数据线，以显示所述当前 AM-OLED 要显示的数据；

S3：当监测到 TFT-LCD 驱动芯片的公共电压发生电平变化后，所述数据处理电路根据所述驱动电压将所述输入数据替换成所述驱动电压对应的第二 TFT-LCD 显示数据；

S4：根据所述第二 TFT-LCD 显示数据对应的显示电压驱动 AM-OLED 的数据线，以显示所述当前 AM-OLED 要显示的数据。

其中，所述步骤 S1 中，替换的方式为：

根据所述驱动电压，在 TFT-LCD 驱动芯片的真值表中查找公共电压电平变化前的第一 TFT-LCD 显示数据，在所述真值表中，所述第一 TFT-LCD 显示数据对应的 TFT-LCD 显示电压值与所述驱动电压最接近，或根据所述驱动电压，利用 TFT-LCD 驱动芯片的灰度等级公式计算公共电压电平变化前的第一 TFT-LCD 显示数据，所述第一 TFT-LCD 显示数据对应的 TFT-LCD 显示电压是计算所得的与所述驱动电压最接近的电压。

其中，所述步骤 S3 中，替换的方式为：

根据所述驱动电压，在 TFT-LCD 驱动芯片的真值表中查找公共电压电平变化后的第二 TFT-LCD 显示数据，在所述真值表中，所述第二 TFT-LCD 显示数据对应的 TFT-LCD 显示电压值与所述驱动电压最接近，或

根据所述驱动电压，利用 TFT-LCD 驱动芯片的灰度等级公式计算公共电压电平变化

后的第二 TFT-LCD 显示数据，所述第二 TFT-LCD 显示数据对应的 TFT-LCD 显示电压是计算所得的与所述驱动电压最接近的电压。

其中，所述步骤 S1 和 S3 中，所述数据处理电路通过 RGB 接口向所述 TFT-LCD 驱动芯片输入数据。

其中，所述步骤 S3 中，所述时序控制电路通过外部输入的与所述公共电压相同的信号来判断公共电压的高低电压变化。

本研究还提供了一种AM-OLED显示设备，所述AM-OLED显示设备的驱动装置为上述任一的AM-OLED驱动装置。

5.4.3 具体实施方法

对于公共（COMMON）电压为交流的TFT-LCD驱动芯片输出的数据线输出电压虽然翻转，但是输出的电压均为正极性，这是符合N型晶体管的AM-OLED驱动的关键。为了更好的说明，现在把图5-13中的驱动电压量化：设置COMMON电压的低电平为-1V，高电平为9V。那么假设在某点显示某一亮度的液晶上下两极需要的电压为6V，那么在COMMON为低电平 -1V的那一帧该数据线电压应为5V，而在COMMON为高电平9V的下一帧该数据线电压会翻转为3V。但是在这个过程中驱动芯片在显示信息输入的数据是不变的。例如：对于256灰阶的显示信息输入数据的范围是0x00-0xff，假如在COMMON为低电平-1V的情况下使输出数据线电压为5V时显示信息输入数据为0x1f；那么在COMMON为高电平9V的时候显示信息数据0x1f时所输出的电压会翻转为3V。

但对应于AM-OLED的数据线电压不翻转的特性，假设需要数据线电压为4V，那么在COMMON为低电平时需要输入显示数据为0x1f，在COMMON为高电平时可以通过变化显示数据（TFT-LCD的显示数据）来获得不变的数据线4V电压。

本研究尤其适用于帧翻转，由于行翻转或点翻转的COMMON电压是直流电压，数据线电压以COMMON电压为基础做翻转，同一点相邻两帧的数据线电压范围不同。不可能通过调节输入数据达到相同的输出电压。

实施例1

基于上述原理，本发明的AM-OLED驱动装置结构如图5.13所示，包括：TFT-LCD驱动芯片和与TFT-LCD驱动芯片连接的数据电压转换器，当然，通常是通过柔性电路板FPC连接，数据电压转换器包括：

时序控制电路，用于监测所述 TFT-LCD 驱动芯片的公共电压高低电平变化的时序。可通过外接的与公共电压电平相同的信号来实现监控，并将监控的公共电压的变化时序通知给数据处理电路。

数据处理电路，用于根据所述时序控制电路监测到的公共电压电平变化及当前输入数据对应的驱动电压，将所述输入数据替换成公共电压电平变化前后所述驱动电压对应的

TFT-LCD 显示数据，并将所述 TFT-LCD 显示数据传输给所述 TFT-LCD 驱动芯片。TFT-LCD 显示数据包括：公共电压电平变化前的第一 TFT-LCD 显示数据和公共电压电平变化后的第二 TFT-LCD 显示数据。

数据电压转换器具体可用 FPGA、CPLD 或其它可编程的芯片编程实现，即在 FPGA 或 CPLD 中通过编程实现具体的时序控制电路和数据处理电路。

其中，数据处理电路为：真值表查找电路，利用 TFT-LCD 驱动芯片的真值表来获取第一 TFT-LCD 显示数据或第二 TFT-LCD 显示数据的具体方式如下：

在真值表查找 AM-OLED 要显示数据的输出电压，并将该电压对应的 TFT-LCD 显示数据作为第一 TFT-LCD 显示数据输入给 TFT-LCD 驱动芯片。公共电压变化后，数据处理电路在 TFT-LCD 驱动芯片的真值表中查找与所述驱动电压最接近（最好是相等，显示效果更好）的电压对应的数据作为公共电压变化后的下一帧图像的输入数据（第一 TFT-LCD 显示数据）输入给 TFT-LCD 驱动芯片。如图 5.13 所示，可见经过图 5.14 的装置后的 TFT-LCD 驱动芯片的公共电压变化前后其输出的数据线电压保持一致。

例如：下表为 TFT-LCD 驱动芯片真值表的一部分。左右的表格分别为 TFT-LCD 要显示相同数据时，在公共电压变化前后该数据对应的数据线电压。

数据	公共电压 (高)	数据线 电压	数据	公共电压 (低)	数据线 电压
.....	11H	VDDA X	0.576
.....
2DH	VDDA X	0.578	2DH	VDDA X	0.422

若 AM-OLED 要显示的数据为 A，显示该数据对应的电压需要 $0.578 \times VDDA$ ，则将 $0.578 \times VDDA$ 对应的数据 2DH（第一 TFT-LCD 显示数据）输入给 TFT-LCD 驱动芯片，使 TFT-LCD 驱动芯片输出的电压为 $0.578 \times VDDA$ ，从而能在 AM-OLED 中显示 A。由于 TFT-LCD 驱动芯片输出的数据线电压会随着公共电压的电平变化而翻转，若翻转后仍输入 2DH，则 TFT-LCD 驱动芯片输出的电压为 $0.422 \times VDDA$ ，进而 AM-OLED 不会显示 A。为了在公共电压的电平变化后，AM-OLED 还能正确显示，则在右边的表中查找与 $0.578 \times VDDA$ 最接近的电压 $0.576 \times VDDA$ ，将 $0.576 \times VDDA$ 对应的数据 11H（第二 TFT-LCD 显示数据）输入给 TFT-LCD 驱动芯片，使 TFT-LCD 驱动芯片输出的电压接近 $0.578 \times VDDA$ ，从而能在 AM-OLED 中显示 A。

若将输出的数据线电压的翻转看成是奇偶帧的交替，那么如图 5.15 和图 5.16 所示，一个不变的电压 必然能找到两个不同的数据，即在奇数和偶数帧时分别给两个不同的数据使 TFT-LCD 驱动芯片输出电压不变即可。

实施例2

与实施例1不同的是，数据处理电路为：灰度等级计算电路，用于根据所述时序控制电路监测到的公共电压电平变化及当前输入数据对应的驱动电压，利用TFT-LCD驱动芯片的灰度等级公式（gamma公式）计算公共电压电平变化前的第一TFT-LCD显示数据和公共电压电平变化后的第二TFT-LCD显示数据，并将所述第一TFT-LCD显示数据或第二TFT-LCD显示数据传输给所述TFT-LCD驱动芯片，所述第一TFT-LCD显示数据和第二TFT-LCD显示数据对应的TFT-LCD显示电压是计算所得的与所述驱动电压最接近的电压。

各个不同厂家或不同TFT-LCD的驱动芯片里的公式不一样。其本质就是真值表。

例如：通常先确定两个电压VA、VB，那么中间的灰阶电压V1~V15都是以这两个电压为基础得出数据01h-0Fh对应的数据线电压依次是V1~V15：

第N帧时：（后面系数是驱动芯片厂家固定给出，不同的厂家芯片有不同的系数）。

$$V1=VA+(VB-VA) \times 0.8/12.8$$

$$V2=VA+(VB-VA) \times 1.6/12.8$$

$$V3=VA+(VB-VA) \times 2.4/12.8$$

$$V4=VA+(VB-VA) \times 3.2/12.8$$

$$V5=VA+(V17-VA) \times 4/12.8$$

$$V6=VA+(VB-VA) \times 4.8/12.8$$

$$V7=VA+(VB-VA) \times 5.6/12.8$$

$$V8=VA+(VB-VA) \times 6.4/12.8$$

$$V9=VA+(VB-VA) \times 7.2/12.8$$

$$V10=VA+(VB-VA) \times 8/12.8$$

$$V11=VA+(VB-VA) \times 8.8/12.8$$

$$V12=VA+(VB-VA) \times 9.6/12.8$$

$$V13=VA+(VB-VA) \times 10.4/12.8$$

$$V14=VA+(VB-VA) \times 11.2/12.8$$

$$V15=VA+(VB-VA) \times 12/12.8$$

第N+1帧时：

$$V1=VA+(VB-VA) \times 12/12.8$$

$$V2=VA+(VB-VA) \times 11.2/12.8$$

$$V3=VA+(VB-VA) \times 10.4/12.8$$

$$V4=VA+(VB-VA) \times 9.6/12.8$$

$$V5=VA+(V17-VA) \times 8.8/12.8$$

$$V6=VA+(VB-VA) \times 8/12.8$$

$$V7=VA+(VB-VA) \times 7.2/12.8$$

$$V8 = VA + (VB - VA) \times 6.4 / 12.8$$

$$V9 = VA + (VB - VA) \times 5.6 / 12.8$$

$$V10 = VA + (VB - VA) \times 4.8 / 12.8$$

$$V11 = VA + (VB - VA) \times 4 / 12.8$$

$$V12 = VA + (VB - VA) \times 3.2 / 12.8$$

$$V13 = VA + (VB - VA) \times 2.4 / 12.8$$

$$V14 = VA + (VB - VA) \times 1.6 / 12.8$$

$$V15 = VA + (VB - VA) \times 0.8 / 12.8$$

可以看出第N帧的某个数据（例如：03h）对应的电压V3在第N+1帧时可找到数据0Dh对应的电压V13与其相等。

实施例3

如图5.17所示，为利用实施例1中的装置实现AM-OLED驱动的流程图，包括：

步骤 S801，根据当前输入数据对应的驱动电压将所述输入数据替换成所述驱动电压对应的第一 TFT-LCD 显示数据。具体替换方式为：数据处理电路根据当前输入数据对应的驱动电压在 TFT-LCD 驱动芯片的真值表中查找或通过 gamma 公式计算与所述驱动电压对应的第一 TFT-LCD 显示数据，并将所述第一 TFT-LCD 显示数据输入所述 TFT-LCD 驱动芯片，具体地，通过 RGB 接口输入。所述输入数据为当前 AM-OLED 要显示的数据。

步骤 S802，所述 TFT-LCD 驱动芯片根据所述第一 TFT-LCD 显示数据对应的显示电压驱动 AM-OLED 的数据线，以显示所述当前 AM-OLED 要显示的数据。

步骤 S803，当所述时序控制电路根据与所述公共电压相同的外部输入信号监测到 TFT-LCD 驱动芯片的公共电压发生高低电压变化后，所述数据处理电路在 TFT-LCD 驱动芯片的真值表中查找或通过 gamma 公式计算与所述驱动电压对应的数据作为公共电压变化后的第二 TFT-LCD 显示数据，并将所述第二 TFT-LCD 显示数据输入所述 TFT-LCD 驱动芯片，具体地，通过 RGB 接口输入。

步骤 S804，所述 TFT-LCD 驱动芯片根据所述第二 TFT-LCD 显示数据对应的显示电压驱动 AM-OLED 的数据线，以显示所述当前 AM-OLED 要显示的数据。

所述第一 TFT-LCD 显示数据和第二 TFT-LCD 显示数据对应的 TFT-LCD 显示电压为 TFT-LCD 驱动芯片真值表中或通过 gamma 公式计算所得的与所述驱动电压最接近的电压，若相等会得到更好的显示效果，上述步骤中的具体实现方式在实施例 1 和 2 中分别有描述。

5.4.4 有益效果

本研究通过变换TFT-LCD的显示数据来保持其驱动芯片的输出电压不变的方式，使得输出电压能够满足AM-OLED的数据线电压不翻转的特性，从而实现了对AM-OLED的驱动，而无需等待定制IC，大量减少了金钱成本和时间成本。

第六章 总结和展望

本文对有机电致发光驱动芯片及驱动电路，特别是对有源 OLED 驱动进行了研究和设计，总结如下：

1. 对 OLED 的无源驱动方式和有源驱动方式进行了分析和比较，说明了 OLED 显示器已接近屏幕尺寸和分辨率的极限，要想进一步提高 OLED 屏幕尺寸和显示效果，需要使用有源驱动技术。
2. 对有源 OLED 显示屏的驱动电路需要的元件非晶硅(a-Si)和低温多晶硅(LTPS)TFT 的材料、工艺都作了比较详细的分析和介绍，对现有的单个象素的驱动电路也进行了分析和研究。说明为了克服多晶硅 TFT 输出特性的分散性，像素单元电路将越来越复杂，所用的 TFT 数量越来越多。
3. 比较了模拟驱动方式和数字驱动方式的灰度调制方式，表明模拟驱动方式实现灰度等级的困难，说明了使用数字驱动电路是目前的发展趋势。
4. 对数字驱动方法实现灰度等级的几种方法和面积灰度法和时间灰度方法 PWM 和子场方式都做了详细的比较和分析。
5. 独立设计了子场方式的灰度调制的软件。该软件的设计实现了 OLED 的 16 级灰度显示，使用了两种顺序的扫描方式实现，对 OLED 实现了灵活的驱动控制。
6. 独立设计了子场方式显示的系统结构，控制电路，并用对各个模块用 VHDL 进行了可以综合的设计。

子场方式的显示控制器是 OLED 实现灰度显示的一种有效的方法。本文介绍的设计方法由于采用了 VHDL 语言设计输入方式，具有很大的设计灵活性。经过验证的设计方案，可以直接下载到 FPGA 组成实用系统，本设计通过 ALTERA 公司的芯片的验证，从仿真结果来看，输出的仿真波形已达到预期效果，功能都得到了实现。另外采用硬件描述语言实现的设计方案，可以方便地根据具体的工艺条件，移植到后端的 CAD 工具，再进行芯片的物理层的设计，做成专用的集成电路。

OLED 的技术正在以越来越快的速度发展，作为下一代显示技术的研究重点，我们的研究工作和世界水平差距还很大。

关于 OLED 驱动芯片我们应该提高集成电路的设计水平，实现驱动芯片的模数混合设计，对彩色 OLED 的驱动电路也要加以研究。

参考文献

- [1]程帅, 沈亮等, 2 英寸全彩色 AM-OLED 显示屏的驱动方案[J], 现代显示, 2003, 3
- [2]赵东, 熊绍珍等, 用 FPGA 实现灰度级显示[J], 光电子·激光 Jun.1999 Vol.10 No.3
- [3]伊盛, 沈亮等, 有机电致发光器件的驱动技术[J], 液晶与显示, Jun.2003.VOL.18.No.2
- [4]伊盛, 沈亮等, 基于 FPGA 的全彩色 AM-OLED 显示屏的数字灰度方案[J], 电子技术应用, Jun.2003.VOL.29.No.5
- [5]郭斌, PM-OLED 驱动中的分场显示问题的研究[J], 液晶与显示, Jun.2002.VOL.17.No.3
- [6]谢伟良, 熊绍珍, 有机发光二极管矩阵显示屏的驱动电路的研究[J], 光电子·激光 Jun.1999 Vol.10 No.3
- [7]林民, 基于 FPGA 的数字图像显示系统[J], 单片机与嵌入式系统应用, June, 2001 45
- [8]张步新, 张志林等, 有机发光二极管矩阵显示技术的研究[J], 半导体光电, 2000 6 Vol.21 No.3
- [9]石松庆, 有机电致发光显示[J], 现代显示, 1998, 3
- [10]李文连, OLED 显示开发的最新进展[J], 液晶与显示, Jun.2000.VOL.15.No.2
- [11]李向东, 杨家德, 有机电致发光显示器件的研制及产品开发现状[J], 半导体光电, June, 2000Vol.21 No.3
- [12]陈文彬, 有机电致发光器件设计与制作[D], 成都电子科技大学 2002
- [13]VHDL 数字控制系统设计范例[S].北京: 电子工业出版社, 2003
- [14]数字电路设计与 VHDL[S].北京: 人民邮电出版社, 2000
- [15]电子显示[S]. 北京: 清华大学出版社, 2001
- [16]平板显示技术[S]. 北京: 人民邮电出版社, 2002
- [17]高丽, 张步新, 等用液晶显示控制驱动器实现 OLED 的矩阵字符显示[J], 光电子·激光 Jun.2002 Vol.103No.2
- [18]液晶显示技术应用[S]. 北京: 电子工业出版社, 2000

致谢

首先我要感谢我的导师吴晓京教授！他渊博的知识、严谨的态度、精益求精的工作作风，让我很敬佩，是我一生学习的榜样，并将成为我今后工作学习的动力。

感谢京东方科技集团研发中心龙春平博士和开发组的同事对我的帮助。他们在本论文的完成过程中给予的启迪、支持和帮助。再次向他们表示真挚的感谢。

最后，衷心感谢为评阅本论文而付出辛勤劳动的各位专家。

论文独创性声明

本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。论文中除了特别加以标注和致谢的地方外，不包含其他人或其它机构已经发表或撰写过的研究成果。其他同志对本研究的启发和所做的贡献均已在论文中作了明确的声明并表示了谢意。

作者签名: 戴基华 日期: 2011.11.20

论文使用授权声明

本人完全了解复旦大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其它复制手段保存论文。保密的论文在解密后遵守此规定。

作者签名: 戴基华 导师签名: 朱晓文 日期: 2011.11.20