

TFT-LCD

原理与设计

马群刚◎著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

内 容 简 介

本书基于 TFT-LCD 工厂生产的实践、科学原理和工程应用,简要介绍了 TFT-LCD 的发展和基本概念,以色彩学、TFT 器件、液晶显示为重点详细介绍了彩色 TFT-LCD 的基本知识,帮助读者初步建立起 TFT-LCD 的概念,并介绍了 TFT-LCD 的组成及工艺;详细介绍了 TFT-LCD 产品的设计;最后列举了高品质、低成本的设计理念和设计方法,以低温多晶硅 LTPS 工艺为例,介绍了中小尺寸,特别是便携式 TFT-LCD 产品的发展。

本书对从事液晶显示研究的学者及工程技术人员具有重要的参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

TFT-LCD 原理与设计 / 马群刚著. —北京: 电子工业出版社, 2011. 12

ISBN 978-7-121-14594-0

I. ①T… II. ①马… III. ①薄膜晶体管—液晶显示器 IV. ①TN321②TN141.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 186730 号

责任编辑: 赵 娜 特约编辑: 逯春晖

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 29.25 字数: 749 千字

印 次: 2011 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 59.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

世界 TFT-LCD 产业正处在中日韩鼎立的“三国”时代。日本最早将 TFT-LCD 推向产业化,韩国继日本之后成为世界上最大的 TFT-LCD 生产国,现在中国的 TFT-LCD 产量已跃居世界首位。在中国,台湾地区最先进入 TFT-LCD 行业,随后上海、北京、江苏、广东、安徽、湖北和四川等省市先后建立了 4.5 代以上的 TFT-LCD 生产线。中国的 TFT-LCD 产业格局进入了典型的“战国”时代。

TFT-LCD 是资金和技术密集型的产业。每个 TFT-LCD 工厂都需要大量懂技术和有经验的工程师在一线担负起维护工厂运行,开发有竞争力产品等重任。面对目前 TFT-LCD 行业缺少学习资料的现实,作者把多年来在 TFT-LCD 行业学习和工作的笔记进行了整理,编写了此书。

TFT-LCD 涉及的学科很多,本书基于 TFT-LCD 的生产实践,科学原理与工程应用相结合,全面系统地阐述了 TFT-LCD 的原理与设计。在第 1 章简要介绍了 TFT-LCD 的发展和基本概念,帮助读者初步建立起 TFT-LCD 的概念。第 2 章以色彩学、TFT 器件和液晶显示为重点详细介绍了彩色 TFT-LCD 的三大基石,为后续 TFT-LCD 原理与设计的展开奠定了基础。第 3 章介绍了 TFT-LCD 的材料技术,说明了材料设计对产品品质、合格率和成本等的影响。第 4 章通过介绍工艺对 TFT-LCD 产品品质、合格率等的影响,提供了 TFT-LCD 设计面向工艺时所要注意事项。第 5~9 章完整介绍了 TFT-LCD 产品在显示屏、驱动、结构三个方面的原理与设计。显示屏的设计又按显示模式的不同,先后介绍了 TN、IPS 和 VA 三种模式显示屏的原理与设计。针对市场化的产品设计,第 10 章列举了高品质、低成本的设计理念与方法,介绍了高性价比 TFT-LCD 产品的设计。最后在第 11 章围绕中小尺寸,特别是便携式 TFT-LCD 的发展,介绍了低温多晶硅 LTPS 的工艺与电路集成设计,以及 LTPS 技术重点应用的半透过型 TFT-LCD 的原理与设计。

作者亲身经历过半导体集成电路的发展,也经历了 TFT-LCD 的兴起。这些技术密集型的产业没有创新就谈不上发展,创新离不开技术的积累。真诚地希望此书能够对 TFT-LCD 行业相关人员的学习与工作有所帮助。此书的撰写得到了许多同事与朋友的帮助,特别感谢苏世虎在第 9 章撰写过程中给予的帮助,感谢中电熊猫液晶显示科技有限公司常务副总经理朱立锋博士和京东方科技集团副总裁董友梅教授为本书顺利出版给予的支持。此书的撰写几乎耗尽了作者两年多的业余时间,非常感谢家人在撰写过程中给予的理解、关心与支持。

限于作者的水平,难免有不妥和谬误之处,恳请各位专家和读者批评指正。

马群刚
2010 年 11 月 6 日

目 录

第 1 章 TFT-LCD 概述	1
1.1 TFT-LCD 的发展	1
1.1.1 TFT-LCD 发展简史	1
1.1.2 TFT-LCD 的竞争与发展趋势	4
1.2 TFT-LCD 的基本概念	7
1.2.1 产品相关的概念	7
1.2.2 光学相关的概念	10
1.3 TFT-LCD 的结构与功能	12
第 2 章 彩色 TFT-LCD 基础	16
2.1 色彩学基础	16
2.1.1 光的颜色	16
2.1.2 光的亮度	19
2.1.3 色的坐标	21
2.1.4 色的温度	25
2.1.5 TFT-LCD 的彩色显示	27
2.2 TFT 器件基础	31
2.2.1 TFT 器件原理	31
2.2.2 TFT 开关特性的要求	36
2.2.3 TFT 开关特性的工艺设计	38
2.2.4 TFT 开关特性的结构设计	43
2.3 液晶显示基础	49
2.3.1 液晶的基本结构与特性	49
2.3.2 液晶光学	51
2.3.3 液晶电学	54
2.3.4 液晶力学	57
2.3.5 液晶显示模式	59
第 3 章 TFT-LCD 材料技术	63
3.1 玻璃基板	63
3.1.1 玻璃基板的制造技术与发展	63
3.1.2 玻璃基板的使用要求	66
3.2 ITO 薄膜	68
3.2.1 ITO 薄膜的基本特性	69
3.2.2 ITO 薄膜的特性要求	69



3.3	配向膜	71
3.3.1	配向膜的材料技术	71
3.3.2	配向膜的特性要求	72
3.4	液晶材料	75
3.4.1	液晶的物理特性与分子结构设计	75
3.4.2	液晶材料的特性要求	77
3.5	Seal 材	79
3.5.1	Seal 的材料技术	79
3.5.2	Seal 的特性要求	80
3.6	微粒子(Spacer)	81
3.6.1	球状 Spacer	81
3.6.2	纤维状 Spacer 和金球 Spacer	83
3.7	CF 基板	84
3.7.1	CF 的材料技术	84
3.7.2	CF 的特性要求	87
3.7.3	CF 的制造技术	90
3.8	偏光板	93
3.8.1	偏光板概述	93
3.8.2	相位差板	96
3.8.3	宽视角补偿膜	99
3.9	电路元件	101
3.9.1	电学元器件	101
3.9.2	PCB 基板	102
3.9.3	驱动 IC 封装方式	103
3.10	背光源	104
3.10.1	光源	104
3.10.2	光学膜片	107
3.10.3	导光板	112
第 4 章	TFT-LCD 工艺技术	114
4.1	阵列工艺技术	114
4.1.1	阵列工艺流程	114
4.1.2	洗净工艺	119
4.1.3	Sputter 成膜工艺	120
4.1.4	CVD 成膜工艺	123
4.1.5	PR 工艺	125
4.1.6	曝光工艺	128
4.1.7	湿刻工艺	132
4.1.8	干刻工艺	135
4.1.9	阵列检查工程	136



4.2	成盒工艺技术	139
4.2.1	配向膜印刷与配向	139
4.2.2	Spacer 散布与固着	142
4.2.3	Seal 与银浆涂布	143
4.2.4	液晶滴下(或注入)	145
4.2.5	真空贴合	147
4.2.6	Seal 硬化	148
4.2.7	玻璃切断	151
4.2.8	偏光板贴付	153
4.2.9	成盒工程检查	154
4.3	模块工艺技术	156
4.3.1	OLB 工程	156
4.3.2	PCB 压接技术	159
4.3.3	模块组装	161
4.3.4	老化实验	162
4.3.5	模块工程检查	162
第 5 章	TN 显示原理与设计	164
5.1	TN 显示原理	164
5.1.1	TN 显示的光透过率	164
5.1.2	TN 显示的光学原理	168
5.1.3	TN 显示的电学原理	170
5.2	TN 像素工作原理	172
5.2.1	TN 像素基本结构	173
5.2.2	像素中的电容效应	175
5.2.3	配线延迟效应	177
5.2.4	灰阶电压写入与保持	181
5.2.5	TN 显示的综合效应	183
5.3	15XGA 的显示屏设计	185
5.3.1	预设计	186
5.3.2	TFT 侧像素设计	190
5.3.3	彩膜侧像素设计	194
5.3.4	显示屏周边设计	198
5.3.5	显示屏用 Mark 设计	204
5.4	15XGA 的基板相关设计	207
5.4.1	基板用 TEG 与 Mark 设计	207
5.4.2	UV Mask 和 UV Sheet 设计	210
5.4.3	配向膜印刷版设计	212
第 6 章	IPS 显示原理与设计	216
6.1	IPS 显示原理	216



6.1.1	IPS 显示的光透过率	216
6.1.2	IPS 显示的光学原理	218
6.1.3	IPS 显示的电学原理	221
6.2	IPS 技术的发展	223
6.2.1	从单畴结构到多畴结构	223
6.2.2	有机膜 IPS 技术	225
6.3	32HD 显示屏设计	227
6.3.1	S-IPS 像素的原理与设计	227
6.3.2	SA-IPS 像素的原理与设计	230
6.3.3	32HD 像素设计	232
6.3.4	32HD 显示屏设计	236
6.4	FFS 显示原理与设计	238
6.4.1	FFS 的显示原理	238
6.4.2	FFS 技术的发展	240
6.4.3	32HD 显示屏用 AFS 像素设计	242
6.5	IPS 残像的机理与对策	244
6.5.1	IPS 残像的机理	244
6.5.2	离子型不纯物分析	247
6.5.3	残留 DC 分析	251
6.5.4	线残像的机理与对策	255
第 7 章	VA 显示原理与设计	256
7.1	VA 显示原理	256
7.1.1	VA 显示的光透过率	256
7.1.2	VA 显示的光学原理	257
7.1.3	VA 显示的电学原理	259
7.2	不同 VA 技术的原理与发展	261
7.2.1	MVA 技术的原理与发展	261
7.2.2	PVA 技术的原理与进展	264
7.2.3	CPA 技术的原理与发展	266
7.2.4	新型 VA 显示技术	272
7.3	VA 的色偏机理与对策	275
7.3.1	VA 的色偏机理与评价	275
7.3.2	色偏的 8 畴改善技术	278
7.3.3	色偏的其他改善技术	282
7.4	46FHD 显示屏设计	283
7.4.1	46FHD 像素的初步设计	284
7.4.2	46FHD 像素的详细设计	286
7.4.3	46FHD 显示屏设计	290
7.4.4	46FHD 显示屏拼接曝光设计	292

第 8 章 TFT-LCD 驱动技术与设计	296
8.1 TFT-LCD 驱动原理	296
8.1.1 驱动原理简介	296
8.1.2 驱动方式	299
8.1.3 灰阶增强技术	302
8.2 TFT-LCD 电路技术	305
8.2.1 接口电路	305
8.2.2 电源电路	311
8.2.3 时序控制电路	315
8.2.4 数据驱动电路	320
8.2.5 扫描驱动电路	327
8.3 TFT-LCD 电路设计	332
8.3.1 电路设计概要	332
8.3.2 电路原理图设计	334
8.3.3 PCB 版图设计	339
8.3.4 COF 设计	344
8.3.5 伽马设计与调节	345
第 9 章 TFT-LCD 结构技术与设计	348
9.1 结构技术与设计概要	348
9.1.1 结构技术概要	348
9.1.2 结构设计概要	351
9.2 模组的结构设计	354
9.2.1 Open Cell 结构设计	354
9.2.2 胶框设计	357
9.2.3 导光板设计	359
9.2.4 光学膜片设计	361
9.2.5 CCFL 光源的结构设计	362
9.2.6 LED 光源的结构设计	367
9.3 背光源的光学设计	369
9.3.1 光学设计基础	369
9.3.2 亮度设计	371
9.3.3 亮度均匀性设计	372
9.3.4 光学品质设计	374
9.4 模组的力学设计	375
9.4.1 强度设计	375
9.4.2 散热设计	380
9.4.3 防尘设计	381
9.5 模组的电学设计	382
9.5.1 EMI 设计	382



9.5.2 绝缘耐压设计	383
9.6 模组的其他设计	383
9.6.1 组装设计	384
9.6.2 安全性设计	384
第 10 章 高品质和低成本设计	386
10.1 面向光学规格的高品质设计	386
10.1.1 高亮度设计	386
10.1.2 高对比度设计	386
10.1.3 高响应速度设计	390
10.2 面向特殊画质的高品质设计	393
10.2.1 闪烁机理与设计对策	394
10.2.2 串扰机理与设计对策	396
10.2.3 显示不均机理与设计对策	400
10.3 高合格率设计	404
10.3.1 工程检查及相关设计	404
10.3.2 ESD 改善设计	405
10.3.3 点缺陷修复设计	409
10.3.4 线缺陷修复设计	413
10.4 低成本设计	417
10.4.1 4MASK 设计	417
10.4.2 省 UV MASK 设计	419
10.4.3 低材料成本设计	420
第 11 章 LTPS TFT-LCD 原理与设计	425
11.1 LTPS TFT 工艺与设计	425
11.1.1 LTPS TFT 器件基础	425
11.1.2 LTPS TFT 特性设计	429
11.1.3 LTPS TFT 工艺技术	432
11.2 LTPS TFT-LCD 周边电路的集成设计	437
11.2.1 模拟输入的电路集成设计	438
11.2.2 DAC 内置电路集成设计	440
11.2.3 Memory 内置电路集成设计	444
11.3 半透过型 TFT-LCD 原理与设计	446
11.3.1 反射型 TFT-LCD 原理	446
11.3.2 半透过型 TFT-LCD 原理	448
11.3.3 半透过型 TFT-LCD 的反射光学设计	450
11.3.4 半透过型 TFT-LCD 的偏光光学设计	453
参考文献	458

第 1 章 TFT-LCD 概述

显示是把电信号(数据信息)转变为可视光(视觉信息)的过程,完成显示的设备即人机界面(Man-Machine Interface,MMI),图 1-1 所示的笔记本电脑就是其中的一种显示设备。平板显示器(Flat Panel Display,FPD)是目前最为流行的一类显示设备。液晶显示器(Liquid Crystal Display,LCD)是 FPD 中最早被开发出来,并被商品化的产品。目前,薄膜晶体管液晶显示器(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display,TFT-LCD)已经成为 LCD 应用中的主流产品。

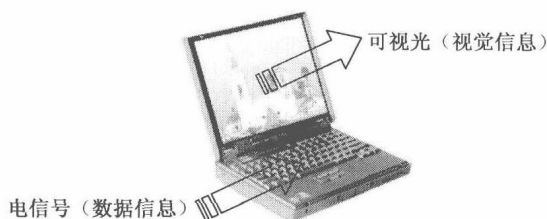


图 1-1 显示设备的显示过程

1.1 TFT-LCD 的发展

TFT-LCD 的发展经历了漫长的基础研究阶段,在实现大生产、商业化之后,TFT-LCD 产品以其轻薄、环保、高性能等优点,尺寸越做越大,应用越来越广。无论是小尺寸的手机屏、还是大尺寸的笔记本电脑(Notebook PC)或监视器(Monitor),以及大型化的液晶电视(LCD TV),到处可见 TFT-LCD 的应用。

1.1.1 TFT-LCD 发展简史

LCD 可以用光寻址驱动,也可以用热寻址驱动,但应用最普遍的是电场驱动方式。如表 1-1 所示,电场驱动方式分为无源矩阵(Passive Matrix,PM)驱动方式、有源矩阵(Active Matrix,AM)驱动方式和静态驱动方式。最早的 LCD 属于 PM 型 LCD,PM 型 LCD 和 AM 型 LCD 在各自的发展中相互竞争,最后 AM 型 LCD,特别是 TFT-LCD 脱颖而出,成为 LCD 应用领域的主宰。下面以 LCD 的发展为脉络,简要介绍 PM 型 LCD 和 AM 型 LCD 的发展。

1. PM 型 LCD 的发展

自 1888 年奥地利植物学家 F. Reinitzer(莱尼茨尔)发现液晶,并在 1889 被德国物理学家 O. Lehmann(莱曼)通过实验验证开始,在近一百年的时间里,液晶一直没有被很好地利用。直到 1968 年,才有美国 RCA 公司的 G. H. Heilmeyer(海尔梅尔)发明了基于动态散射(Dynamic Scattering,DS)模式的 LCD 显示装置。一般,把 1888 年称为液晶元年,把 1968 年称为 LCD 元年。两个元年之间漫长的 80 年称为液晶材料性能与应用的研究时期。



表 1-1 电场驱动方式的 LCD 显示技术

电场驱动方式	无源矩阵驱动方式	扭曲向列型(Twisted Nematic, TN)	
		超扭曲向列型(Super Twisted Nematic, STN)	
		铁电型(Ferroelectric Liquid Crystal, FLC)	
	有源矩阵驱动方式	二端子方式	变阻器(非线性电阻)
			金属-绝缘体-金属二极管(Metal Insulator Metal, MIM)
			薄膜二极管(Thin Film Diode, TFD)
		三端子方式	MSI(氮化硅)二极管
			金属氧化物半导体场效应管(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, MOS FET)
		薄膜晶体管(Thin Film Transistor, TFT)	
	等离子体寻址方式(Plasma Addressed Liquid Crystal, PALC)		
静态驱动方式	...		

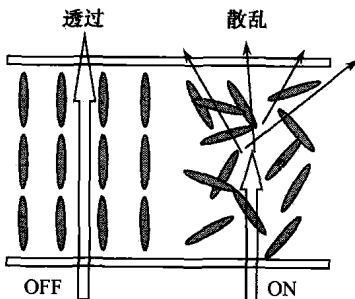


图 1-2 DS 型 LCD 的工作原理

DS 型 LCD 是世界上第一代液晶显示器件,采用掺有离子型有机导电材料的液晶。DS 型 LCD 的电光特性属于电流效应,且不需要偏光板结构,具体工作原理如图 1-2 所示。在不加电的 OFF 状态,液晶分子有序排列,液晶盒呈透明状态。当施加低频交流电压后,约从 10V 开始,在液晶层内形成一种因离子型有机导电材料的运动而产生的涡流状态,对透过的光产生强烈的散射,液晶盒呈乳白色。DS 型 LCD 的出现,标志着 LCD 技术进入了实用化阶段。但是,由于 DS 型 LCD 的产品存在驱动电压高、电流大、对比度低、响应速

度慢、液晶易分解、寿命短等问题,很快就被淘汰了。导致这种技术昙花一现的症结就是电流效应的电光特性。

1971 年,瑞士的 M. Schadt(谢德特)等发表了扭曲向列(Twisted Nematic, TN)型 LCD 显示技术。1973 年,日本精工推出了基于 TN 型 LCD 的电子手表,标志着 LCD 显示技术进入了第二代。TN 型 LCD 是最常见的一种液晶显示器件,液晶分子的长轴在上下玻璃基板之间被连续扭曲 90°(具体工作原理可以参考后面章节的介绍)。早期的 TN 型 LCD 属于无源型 LCD,在点阵显示方式下交叉效应严重,加上电光特性曲线平缓、响应速度慢、阈值效应不明显等问题,一般只用于静态或低阶的动态段式显示,如电子手表、计算器、数字仪表等低档电子产品。

从 TN 型 LCD 开始,实用化的 LCD 技术基本都采用了电压效应的电光特性,并使用偏光板。1984 年瑞士的 T. Scheffer(谢弗)等发表了超双折射/超扭曲向列(Super Birefringence Effect/Super Twisted Nematic, SBE/STN)型 LCD 显示技术。1985 年,瑞士 Brown Boveri 公司试制出扫描线数量达到 135 条的 STN 型 LCD,标志着 LCD 显示技术进入了第三代。STN 型 LCD 在液晶中掺入了一定比例的手性旋光材料,使液晶分子扭曲成 180°~270°,电光特性

曲线变陡。TN 型 LCD 和 STN 型 LCD 的电光特性曲线比较如图 1-3 所示。电光特性曲线变陡,可以实现更多路的动态显示,增加信息量的同时,提升了画质。STN 型 LCD 在初期的笔记本电脑、手机、高档仪表、电子翻译机等领域获得了广泛应用。

从 DS 到 STN 的短短 20 年左右的时间,LCD 显示技术得到了快速发展。除了常用的 TN 型和 STN 型 LCD 外,还产生了其他众多的液晶显示技术。表 1-2 罗列了这些显示技术的相关信息。1972 年,F. Kahn 还提出了热效应显示技术。因为需要改变液晶温度,所以很少使用。在 PM 型 LCD 的后期发展中,基于 STN 型 LCD 又形成了双层 STN 型 LCD(DSTN-LCD)、黑白 STN 型 LCD(FSTN-LCD)、彩色 STN 型 LCD(CSTN-LCD)等显示器件。

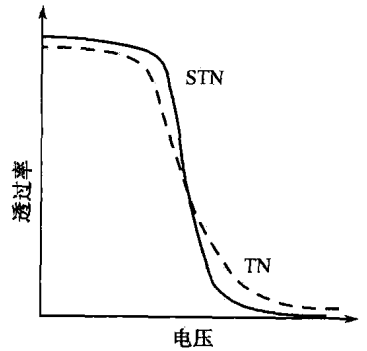


图 1-3 TN 型和 STN 型 LCD 的电光特性曲线比较

表 1-2 早期液晶显示技术概览

电光特性	显示技术	年份	发表者
电流效应	动态散射(DS)型	1968 年	G. H. Heilmeier 等(美国)
电场效应	宾-主(Guest-Host, GH)型	1968 年	G. H. Heilmeier 等(美国)
	相变(Phase Change, PC)型	1968 年	J. Wysocki 等(美国)
	扭曲向列(TN)型	1971 年	M. Schadt 等(瑞士)
	双折射控制(Electrically Controlled Birefringence, ECB)型	1971 年	M. Schiekel 等(西德)
	面内开关(In-plane Switching, IPS)型	1974 年	R. Soref(美国)
	铁电(Ferroelectric Liquid Crystal, FLC)型	1975 年	R. Meyer 等(法国)
	超双折射/超扭曲向列(SBE/STN)型	1984 年	T. Scheffer 等(瑞士)
	高分子散射(Polymer Dispersed, PD)型	1985 年	J. Fergason 等(美国)

20 世纪七八十年代产生的各种液晶显示技术基本上都采用如图 1-4 所示的 PM 驱动结构:扫描(行)电极和数据(列)电极分别位于上下两块玻璃基板上,中间隔着一层液晶,通过同时选通一行扫描电极和一系列数据电极,确定交叉位置上像素的工作状态。这种 PM 驱动结构下的每个像素作为一个电容,当一个像素被选通时,上下左右相连的像素都处于半选通状态。这种干扰的存在,使得 PM 型 LCD 很难满足对多路、视频运动图像的显示要求。正是这个瓶颈的存在,催生了 AM 型 LCD 的快速发展。

2. AM 型 LCD 的发展

AM 型 LCD 是在每个像素上设计一个非线性的有源器件,使每个像素可以被独立控制,从而消除了 PM 型 LCD 的“交叉效应”。AM 型 LCD 常用的有源器件种类分为二端子方式和三端子方式,二端子方式以 MIM 二极管为主,三端子方式以 TFT 为主。二端子方式驱动的 LCD 结构如图 1-5 所示,三端子方式驱动的 LCD 结构将在后续章节详细介绍。在三端子方式驱动的 LCD 结构中,基于 TFT 驱动的 LCD 具有最佳的应用价值。

TFT-LCD 的发展源自 TFT 器件和材料的研究开发。TFT 的半导体材料可以是硒化镉(CdSe)、碲(Tellurium, Te)、非晶硅(Amorphous Silicon, a-Si)、多晶硅(Poly Silicon, p-Si)等,

a-Si TFT 的应用最为普遍,而多晶硅 TFT 的应用最具潜力。在 1961 年,美国人 P. Weimer (威玛)发明了基于多结晶硫化镉(CdS)的 TFT 器件。1972 年,美国人 A. Fisher(费舍尔)等发表了 TN 型 TFT-LCD 彩色 TV 的构想。到 1980 年,英国人 A. Snell(斯内尔)等进行了基于非晶硅 TFT 的 LCD 试作。基于大量的科学研究,TFT-LCD 产品呼之欲出。

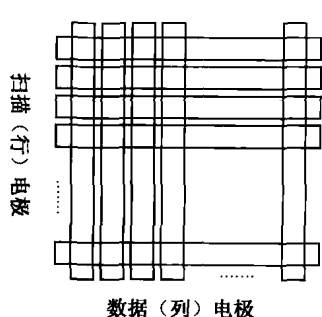


图 1-4 PM 驱动的 LCD 结构示意图

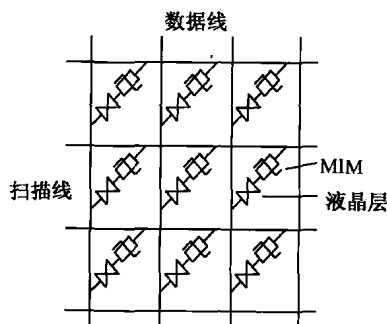


图 1-5 二端子方式驱动的 LCD 结构示意图

1983 年,日本精工进行了基于多晶硅 TFT 的 2.1 寸彩色液晶 TV 试作,三洋电机进行了基于非晶硅 TFT 的 5 寸彩色液晶 TV 试作。1984 年,2.1 寸 TFT-LCD 彩色液晶电视开始面世销售。但在接下来的 10 年左右时间里,TFT-LCD 由于技术不成熟和成本高等原因,一直没有得到充分的应用。在 TFT-LCD 的发展过程中,TN、STN 等 PM 型 LCD 也在蓬勃发展。最初的电子表、计算器、掌上游戏机等,都采用了 PM 型 LCD 技术。到 20 世纪 80 年代末,STN-LCD 的商业化迅速成长,LCD 工业开始快速发展。到 20 世纪 90 年代初期,TN、STN 等 PM 型 LCD 遇到尺寸难以做大的瓶颈。1993 年前后,日本掌握了 TFT-LCD 的大规模生产技术,克服了 TFT-LCD 的技术瓶颈,且完善了画质,在笔记本电脑的应用中崭露头角。与此同时,作为替代 CRT 的新技术,在平板显示技术中确立了不可动摇的地位,TFT-LCD 进入了商业化发展的轨道。

早期商用的 TFT-LCD 产品基本采用了 TN 显示模式,其最大问题是视角不够大。随着 TFT-LCD 产品尺寸的增加,特别是 TFT-LCD 在 TV 领域的应用,具有广视野角特点的面内开关(In-Plane Switching, IPS)显示模式、垂直取向(Vertical Alignment, VA)显示模式依次被开发出来并加以应用。IPS 显示模式最早由美国人 R. Soref(索里夫)在 1974 年的论文上发表,并由德国人 G. Baur(鲍尔)提出把 IPS 作为广视角技术应用于 TFT-LCD 中。1995 年,日本的日立公司开发出了世界首款 13.3 寸 IPS 模式的广视野角 TFT-LCD 产品。1997 年,日本的富士通公司提出了多畴垂直取向(Multi-Domain Vertical Alignment, MVA)显示模式的专利申请。此后,日本的夏普公司开发了连续焰火状排列(Continuous Pinwheel Alignment, CPA)显示模式,韩国的三星公司开发了垂直取向构型(Patterned Vertical Alignment, PVA)显示模式,韩国的现代公司在 IPS 的基础上开发了边缘电场开关(Fringe Field Switching, FFS)显示模式,日本松下公司开发了光学补偿双折射(Optical Compensated Birefringence, OCB)显示模式。这些广视角的显示模式在各自领域都有所应用,后续章节将做详细介绍。

1.1.2 TFT-LCD 的竞争与发展趋势

显示器作为人机交流的界面,承载着大量信息传递的功能。表 1-3 罗列了一些常见的显



示器类型。在直视型显示器中,分为主动发光型和非主动发光型两大类。主动发光型是利用信息(电压)来调制各发光点的亮度和颜色,进行直接显示;非主动发光型本身不发光,而是利用信息(电压)控制专用光源在每个发光点上的透过亮度,使其达到显示的目的。LCD 属于非主动发光型显示器。此外,LCD 还可用做反射型显示器和投影型显示器。

表 1-3 各种显示器类型

显示器	直视型	主动发光型	等离子体显示器(Plasma Display Panel,PDP)
			电致发光显示器(Electro - Luminescence Display, ELD/Organic Light Emitting Diode,OLED)
			发光二极管显示器(Light Emitting Diode,LED)
			冷阴极电子发射型显示器(Field Emission Display,FED)
			阴极射线管显示器(Cathode Ray Tube,CRT)
			真空荧光显示器(Vacuum Fluorescent Display,VFD)
	非主动发光型	液晶显示器(Liquid Crystal Display,LCD)	
		电致变色显示器(Electrochromic Display Device,ECD)	
	反射型	数字微镜显示器(Digital Micromirror Device,DMD)	
		液晶显示器(Liquid Crystal Display,LCD)	
	投影型	数字微镜显示器(Digital Micromirror Device,DMD)	
液晶显示器(Liquid Crystal Display,LCD)			
阴极射线管显示器(Cathode Ray Tube,CRT)			

1. TFT-LCD 的应用与竞争

应用价值高的显示器必须满足信息量、品质、实用性和经济性等方面的要求。信息量方面要求能显示数字、文字、图表、图像等可能的信息形态,足够多的显示要素的数量,足够高的显示精细度,一定水平的灰阶显示、动画显示、记忆显示等功能;显示品质的要求包括亮度、对比度、清晰度、无闪烁、无串扰、无反光等;实用性包括对话功能、可操纵性、体积小、重量轻、安全可靠、经久耐用等;经济性要求功耗低、设备成本和使用成本低等。表 1-4 比较了常见的直视型显示器的一些基本性能,综合而言,LCD 是最佳的平板显示器。

表 1-4 直视型显示器的比较

比较项目	LCD	CRT	PDP	VFD	LED	ELD
轻便性	◎	×	△	△	△	△
功耗	◎	×	△	△	○	○
显示信息量	◎	◎	○	×	×	×
画质	○	◎	○	△	△	△
大型化	○	○	◎	×	×	×

◎表示很好;○表示良好;△表示一般;×表示差

LCD 在中小尺寸(10 寸以下)的市场上已经确立了不可动摇的地位,在大尺寸(10.4 寸以上)的显示器市场,也是所向披靡。不过,在 TV 市场上还存在着 CRT 和 PDP 的强有力竞争。

表 1-5 比较了 LCD 和 CRT、PDP 的一些基本性能。通过比较,说明 LCD 和 PDP 替代 CRT 是必然的趋势,而 LCD 和 PDP 在品质上各有千秋,价格成了 LCD 和 PDP 竞争的重要因素。

表 1-5 LCD 和 CRT、PDP 的性能比较

比较项目	显示信息量		画质					轻便性		
	分辨率	大型化	高精细化	亮度	灰阶数	对比度	视野角	体积	重量	功耗
CRT	⊙	×	○	⊙	⊙	⊙	⊙	×	×	△
LCD	⊙	○	⊙	○	⊙	○	○	⊙	⊙	⊙
PDP	○	⊙	○	○	⊙	○	⊙	⊙	○	△

TFT-LCD 能够在大中小平板显示领域占据不可动摇的地位,得益于 TFT-LCD 的以下一些特点:①低压低功耗;②平板型结构;③被动显示(无眩光,不刺激人眼,不会引起眼睛疲劳);④显示信息量大;⑤易于彩色化(在色谱上可以非常准确的复现);⑥无电磁辐射(对人体安全,利于信息保密);⑦使用寿命长等。TFT-LCD 的用途非常广,可以应用于计算器、手表、掌上游戏机、手机、计步器、电子词典等携带机器;同时可以应用于文字处理机、笔记本电脑、监视器、复印机、传真机等 OA 机器;也可以应用于液晶电视、数码相机、摄像机、多功能电话、可视电话等家用电器;另外,可以应用于车载仪表类、GPS、液晶电视等;也可以应用于温度计、血压计、自动售货机等其他产品。

2. TFT-LCD 的发展趋势

随着 TFT-LCD 工艺技术、设备技术、材料技术等不断发展,尺寸越做越大,成本越做越低,品质越做越高。现在,TFT-LCD 视角特性与主动式发光显示相比并不逊色。且 TFT-LCD 在紧凑性、轻量化等方面均有改进。今后,TFT-LCD 的发展会呈多方向拓展。采用低温加工技术,TFT-LCD 用塑料衬底取代玻璃衬底,使得 TFT-LCD 更薄(屏厚度小于 $0.2\mu\text{m}$)、更轻、易弯折、不易破碎。TFT-LCD 塑料屏现在已应用于手提电话显示器。采用低温多晶硅技术(Low Temperature Polysilicon, LTPS)形成 TFT 器件,迁移率提高两个数量级,实现大面积周边电路集成在 TFT-LCD 显示屏上。具有节能效果的反射式 TFT-LCD、具有便捷操控性的触控式 TFT-LCD、具有画面立体效果的三维(3D)TFT-LCD 等都将成 TFT-LCD 未来的发展趋势。

基于 LTPS 技术,TFT-LCD 将进一步发展成 TFT-OLED(也称为 AMOLED)。图 1-6 所示是 AMOLED 显示器的实物图。相比 TFT-LCD,AMOLED 显示器件用发光型材料代替液晶材料,依然采用 TFT 作为开关控制每个发光点,但已经不属于液晶显示的范畴。AMOLED 具有主动发光、厚度薄、重量轻、亮度高、对比度大、快速动态显示、超宽视角等优点。AMOLED 的单个像素可以做得相当小,易获得极高的分辨率,适合应用在微显示设备中。如果选用柔性基板,还能做成可弯曲的柔性显示器。AMOLED 的全固态结构,抗震性能好,可以适应较大加速度和剧烈震动等恶劣环境。且工作温度范围大于液晶材料,在 -40°C 也能正常显示。在单色、多色小屏幕显示领域,AMOLED 已广泛应用于手机、MP3 等设备;在色彩质量要求不高的全彩显示领域,AMOLED 可应用于数码相机、PDA 等设备;在色纯度和稳定性要求很高的显示领域,AMOLED 已经开始应用于显示器、电视机等设备。

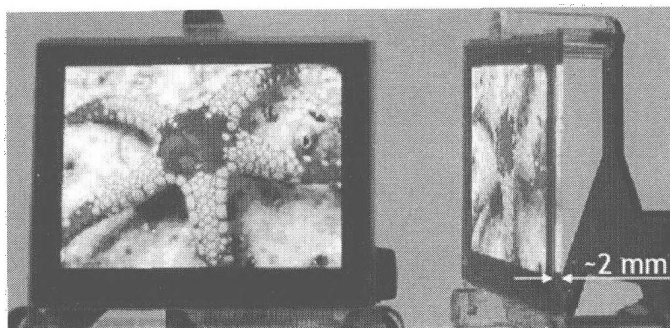


图 1-6 AMOLED 显示器(图片来源:Kodak/Sanyo AMOLED QVGA Display)

1.2 TFT-LCD 的基本概念

关于 TFT-LCD 的概念很多,本节主要从使用者都会面对的两个方面介绍 TFT-LCD 的基本概念:产品相关的概念和光学相关的概念。产品相关的概念涉及产品整体的概念,光学相关的概念涉及使用者视觉感受的概念。

1.2.1 产品相关的概念

TFT-LCD 产品相关的概念主要用来确认产品的外观、功耗、寿命等硬件信息。根据生产厂家、产品用途等的不同,这些硬件信息的规格会有所不同。本小节主要介绍具有通用性的几个项目的概念。

(1) 显示尺寸(Display Size):如图 1-7 所示,TFT-LCD 的显示尺寸是指实际可视区域的对角线长度,单位为英寸,简称寸(1 英寸=2.54 厘米)。早期 CRT(Cathode Ray Tube)的尺寸是指显像管的对角线长度,但是 CRT 显示设备的外壳要包住一定的显示范围,使得 CRT 实际的可视尺寸比标注尺寸要小。一般,17 寸 CRT 的可视尺寸在 15.6~15.9 寸之间,而 17 寸的 TFT-LCD 可视尺寸就是 17 寸。

(2) 长宽比(Aspect Ratio):长宽比就是 TFT-LCD 可视区域的长度和宽度之比,也叫纵横比或屏幕比例。TFT-LCD 的长宽比主要有 4:3,5:4,16:10,16:9 四种。早期影视画面比例都是标准的 1.33:1(即 4:3),所以最适合用 4:3 的屏幕(如图 1-8(a))来观看。而 16:9 的比例(如图 1-8(b))更接近黄金分割比,人眼观看更舒服。因为长宽比也叫纵横比,所以在 TFT-LCD 产品设计时,一般用 H(Horizontal)表示长度,V(Vertical)表示宽度。

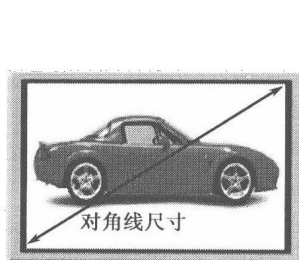


图 1-7 TFT-LCD 的尺寸定义

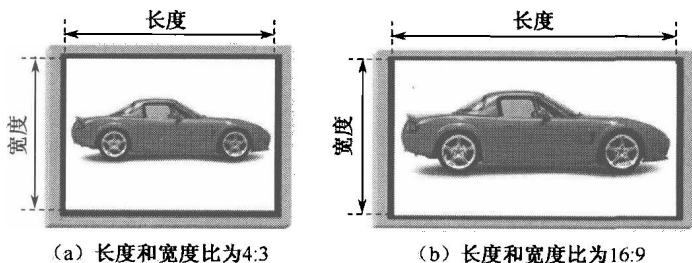


图 1-8 TFT-LCD 的长宽比定义

(3) 有效显示区域(Active Display Area):有效显示区域指 TFT-LCD 可显示画面的总面积,对应于图 1-7 用于定义 TFT-LCD 对角线的所有白色区域。知道了 TFT-LCD 的显示尺寸和长宽比,利用勾股定理可以计算出有效显示区域的具体长度和宽度。对于相同显示尺寸的 TFT-LCD,长宽比为 16:10 的 TFT-LCD 有效显示区域比 5:4 的有效显示区域要小。这样,在同样大小的玻璃基板上,可以切割更多的 16:10 的 TFT-LCD 宽屏。如在 1100mm×1300mm 的玻璃基板上,只能切割 9 片 5:4 的 19 寸显示屏,却能切出 12 片 16:10 的 19 寸宽屏。

(4) 分辨率(Number of Pixels):TFT-LCD 的分辨率表示有效显示区域内可以用做画面显示的发光点数目,TFT-LCD 中的发光点称为像素(Pixel)。分辨率一般以乘法形式表现,如 1024×768 的分辨率,其中 1024 表示有效显示区域水平方向显示的像素数,768 表示垂直方向显示的像素数。分辨率体现的是有效显示区域的像素总数,分辨率越高,画面的解析度(Resolution)也就越高。一般,人眼对垂直方向的像素数更敏感。拥有更高的垂直方向分辨率,画面的清晰度就更高。表 1-6 罗列了一些基本的标准化分辨率规格。在实际使用时,显卡输出的分辨率(屏幕分辨率)和该 TFT-LCD 面板的固有分辨率(物理分辨率)相同时,显示效果最好,即所谓的“点对点”显示。在表 1-6 中,公用中间分辨率格式(Common Intermediate Format, CIF)的分辨率为 352×288。i 是隔行扫描的英文 interlace 的第一个字母,p 是逐行扫描的英文 progressive 的首字母。

表 1-6 标准化显示规格

用途	显示规格	分辨率	像素数	长宽比
手机	QCIF(Quarter CIF)	176×144	25344	11:9
	QCIF+	220×176	38720	5:4
	QVGA(Quarter VGA)	320×240	76800	4:3
PC	VGA(Video Graphics Array)	640×480	307200	4:3
	WVGA(Wide VGA)	800×480	384000	16:9, 6
	SVGA(Super VGA)	800×600	480000	4:3
	XGA(Extended Graphics Array)	1024×768	786432	4:3
	WXGA(Wide VGA)	1280×768	983040	16:9, 6
	SXGA(Super XGA)	1280×1024	1310720	5:4
	SXGA+	1400×1050	1470000	4:3
	UXGA(Ultra XGA)	1600×1200	1920000	4:3
	WUXGA(Wide Ultra XGA)	1920×1200	2304000	16:10
	QXGA(Quarter XGA)	2048×1536	3145728	4:3
	QSXGA(Quarter Super XGA)	2560×2048	5242880	5:4
	QUXGA(Quarter Ultra XGA)	3200×2400	7680000	4:3
TV	480i/480p	720×480	345600	4:3/16:9
	720p	1280×720	921600	16:9
	HD(High Definition)	1366×768	1049088	16:9
	1080p /1080i	1920×1080	2073600	16:9
	UHD(Ultra HD)	7680×4320	33177600	16:9