


◆ 廖燕平 宋勇志 邵喜斌 等著
◆ 张希清 张建华 审校

薄膜晶体管 液晶显示器 显示原理与设计

*Thin Film Transistor
Liquid Crystal Display*



 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

薄膜晶体管液晶显示器 显示原理与设计

廖燕平 宋勇志 邵喜斌 刘磊 陈东川 著

张希清 张建华 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书基于薄膜晶体管液晶显示器的生产和设计实践,首先介绍了薄膜晶体管液晶显示器的基本概念和器件原理,然后以产品开发的视角从面板设计与驱动、液晶盒颜色设计、液晶光学设计、电路设计和机构光学设计方面的基础内容进行了详细介绍,接着介绍了显示器的性能测试方法,最后再介绍了阵列、彩膜、液晶盒和模组四大工艺制程。

本书对从事液晶显示器生产、开发和研究的工程技术人员,以及学校、研究所的学生和研究学者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

薄膜晶体管液晶显示器显示原理与设计 / 廖燕平等著. —北京: 电子工业出版社, 2016.3
ISBN 978-7-121-28340-6

I. ①薄… II. ①廖… III. ①薄膜晶体管—液晶显示器 IV. ①TN321 ②TN141.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 050134 号

责任编辑: 刘海艳

印 刷: 北京顺诚彩色印刷有限公司

装 订: 北京顺诚彩色印刷有限公司

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: 720×1 000 1/16 印张: 27.5 字数: 523.6 千字

版 次: 2016 年 3 月第 1 版

印 次: 2016 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 118.00 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, 88258888。

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。

本书咨询联系方式: lhy@phei.com.cn。

序

互联网正像水和空气一样，日益成为人们工作、生活不可或缺的媒介，其与各行各业的融合，正深刻地改变着人类社会及其生态，其背后推动力量之一就是显示技术的进步。

CRT 技术推动了人类历史上第一次显示革命，拓展了人类社会信息传递、交流的范围和形式。以 TFT-LCD 技术为代表的新型显示技术，推动了显示领域的第二次革命，在实现信息传递方式多样性、显示品质高质化的同时，让任何时间、地点、人、设备、网络、数据的交互成为现实，催生了互联网时代的到来。TFT-LCD 等新型显示技术的共同基础是半导体技术，我前些年提出将 TFT-LCD、AMOLED、柔性显示、立体显示、虚拟实境等新型显示技术统称为“半导体显示技术”。半导体显示技术和产品可以持续改善用户体验，其新技术、新材料、新工艺的不断进化，还可为系统产品提供集成和创新平台，从而改变信息产业生态和商业模式。正因为如此，日、韩等国家和我国台湾地区将该产业定位为国家/地区重要战略产业；美欧国家仍在核心材料、装备及下一代延伸技术方面给予了战略性关注和投入。

这场显示革命对中国影响巨大。20 世纪 80 年代，国家将 CRT 作为发展电子信息产业的重要突破口，并取得重大成功；但在 TFT-LCD 取代 CRT 的第二次革命过程中，我们比其他国家起步晚了近十年，经历了“缺芯少屏”之痛。可喜的是，自 2003 年以来，京东方、天马、龙腾、华星光电、中电熊猫等中国显示器件制造企业，历经磨难，奋斗拼搏，成功进入了半导体显示产业领域，拥有了 4.5 代、5 代、6 代和 8.5 代 TFT-LCD 生产线，5.5 代 AMOLED 的产线也已经建成投产，年新增专利申请数量也位居全球前列。上游材料和设备的本地化配套快速进展，改善了下游整机企业关键部件的本地化配套环境。我国显示产业的全球影响力和竞争力不断上升，已经成为全球半导体显示产业领域的一支重要力量。

中国半导体显示产业发展初期，产业基础薄弱，加上过山车般周期影响，价格大起大落，日子艰难。在这一阶段，为了能生存下去，我在 2010 年初提出：标准显示屏价格每 36 个月会下降 50%，若保持价格不变，显示产品性能必须提升一倍以上。这一周期还将继续缩短。我将其称为“生存定律”，核心内涵就是持续创新才能生存发展。遵循这一定律，中国显示产业渡过了艰难阶段，实现了良性发展。创新是发展的根本推动力。

随着物联网和人工智能产业的兴起，显示技术正迎来新的应用浪潮。车载、工控、医疗、穿戴、公共显示、虚拟现实和增强现实等将成为新一波应用浪潮的主力军。在新技术、新应用引领下，全球显示产业发展前景依然广阔。

十余年磨一剑，显示产业是目前我国为数不多的有可能处于世界领先地位的战略性产业之一，但依然面临着各种挑战。从模仿性创新迈向颠覆性创新，抢占未来显示技术制高点，是我们必须要跨越的一关。我们不能满足于现状，必须不断创新观念、技术和应用，引领这个变革的新时代，为中国，为整个世界！

实现上述愿景，需要政府、企业、高校和研究机构等各界携手努力。在人才培养和知识普及方面，更需要走在前面。廖燕平、宋勇志、邵喜斌、刘磊和陈东川等京东方同仁们在繁忙工作之余，撰写了《薄膜晶体管液晶显示器显示原理与设计》一书，供有志于显示产业的学生、工程技术和管理人员参考。这本书以产业人学习的视角，侧重实际应用，对液晶显示器的基本概念、面板设计、工艺制程各个环节进行了介绍。相信此书对显示产业人才培养会有所帮助。

我愿意向有志于显示领域的青年学生、科研人员、业内伙伴和各界人士推荐这本书。这不仅是一本书，也是几代中国科技工作者和产业人发展中国自主技术和产业的梦想和情怀。



京东方科技集团董事长
2016年3月18日

前 言

平板显示产业在中国大陆迅猛发展，一方面更多的大学毕业生涌入面板制造企业，另一方面也给员工提供了更多的发展空间，但迫切需要解决的是如何让新入职员工快速掌握岗位基本技能，如何让技术管理干部具有全方位的技术基础能力。本书就是基于这个背景，从液晶显示的基本概念、基本原理出发，涵盖了薄膜晶体管的材料和器件特性、薄膜晶体管设计、液晶盒设计、驱动电路设计、机构光学设计，以及器件测试和四大工艺制程的相关内容，让读者全方位、全角度地理解液晶显示器的基本知识。

基于本书的内容结构，第1章介绍了液晶显示器的基本知识，包括立体显示的基本概念；第2章介绍了薄膜晶体管的材料与器件特性；第3章介绍了液晶面板的设计与驱动；第4章和第5章分别介绍了液晶盒设计相关的颜色设计和液晶光学设计；第6章介绍了驱动电路设计；第7章介绍了液晶模组的机构与光学设计；第8章介绍了液晶显示器的性能测试；第9章到第12章分别介绍了阵列、彩膜、成盒和模组四大工艺制程；附录A介绍了薄膜晶体管器件参数提取与实例；附录B介绍了掩模版版图设计验证工具与应用。

本书的撰写，是我们几位作者在繁忙的工作之外，以牺牲大量的业余和休息时间才完成的。此外，本书的每个章节，还得到了相关岗位的专家或资深工程师的帮助，在此表示诚挚的感谢：（1）工艺制程章节，感谢袁剑峰、许朝钦（中国台湾）、陈信诚（中国台湾）、陈宇鹏、郭宏雁、董天松、郭会斌、王守坤、周波、马国靖、吴洪江、汪栋、万冀豫、黄常刚、储小亮和张纪等同事；（2）器件性能测试章节，感谢刘冬和陈维涛等同事；（3）设计章节，感谢张振宇、高玉杰、王宝强、闫岩、夏天宇、商广良、占红明、林丽峰、杜巧蕃、陈明、栗首、汪建明、郝卫、冷长林、周昊、张伟、贾丽丽、黄应龙和吕敬等同事；（4）基本概念和器件章节，感谢王梦杰、武延兵、林洪涛、袁剑峰和薛建设等同事；（5）附录A 器件参数提取章节，感谢 Silvaco 的常志强；（6）附录B 设计验证章节，感谢华大九天的常江和李晓坤。最后，感谢上海大学新型显示技术及应用集成教育部重点实验室的技术支持。

本书由北京交通大学/北京京东方显示技术有限公司的廖燕平主要编写，由北

京京东方显示技术有限公司的宋勇志、邵喜斌(研究员)、刘磊和陈东川协助编写，由北京交通大学的张希清(教授)和上海大学的张建华(教授)审校。本书顺利出版，感谢北京市优秀人才培养和北京经济技术开发区经费资助，感谢公司领导的大力支持。本书撰写过程中，虽然我们力求尽善尽美，但是才学毕竟有限，不妥或疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2016年3月于北京

目 录

第 1 章 液晶显示的基本概念	1
1.1 液晶简介.....	1
1.2 液晶的特性.....	2
1.2.1 电学各向异性.....	2
1.2.2 光学各向异性.....	3
1.2.3 力学特性.....	4
1.2.4 其他特性.....	4
1.3 偏光片.....	5
1.3.1 偏光片的基本原理.....	5
1.3.2 偏光片的基本构成.....	6
1.3.3 偏光片的参数.....	9
1.3.4 偏光片的表面处理.....	11
1.4 玻璃基板.....	12
1.5 液晶显示的基本原理.....	12
1.5.1 液晶显示器的基本结构.....	12
1.5.2 液晶显示原理.....	13
1.6 显示器的光电特性.....	14
1.6.1 透过率.....	14
1.6.2 对比度.....	15
1.6.3 响应时间.....	15
1.6.4 视角.....	16
1.6.5 色域.....	16
1.6.6 色温.....	17
1.7 画质改善技术.....	17
1.7.1 量子点技术.....	17
1.7.2 高动态范围图像技术.....	18
1.7.3 局域调光技术.....	18
1.7.4 姆拉擦除技术.....	19

1.7.5	运动图像补偿技术	19
1.7.6	帧频转换技术	20
1.8	立体显示技术原理	21
1.8.1	双眼视差	21
1.8.2	立体显示技术分类	23
1.8.3	眼镜式 3D 显示技术	24
1.8.4	裸眼 3D 显示技术	28
1.8.5	3D 显示的主要问题	33
第 2 章 氢化非晶硅薄膜晶体管材料与器件特性 34		
2.1	氢化非晶硅薄膜的特点	34
2.1.1	原子排列和电子的态密度	34
2.1.2	氢化非晶硅的导电机理	37
2.1.3	氢化非晶硅的亚稳定性	39
2.2	绝缘层材料的特点	40
2.2.1	氮化硅	41
2.2.2	氧化硅	41
2.2.3	绝缘层的导电机理	42
2.3	薄膜沉积	45
2.3.1	概述	46
2.3.2	a-Si:H 薄膜的沉积	46
2.3.3	a-Si:H 薄膜的影响因素	47
2.3.4	n ⁺ a-Si:H 薄膜的沉积	52
2.3.5	绝缘层薄膜的沉积	52
2.3.6	薄膜的界面效应	55
2.4	薄膜刻蚀	57
2.4.1	导电薄膜的刻蚀	57
2.4.2	功能薄膜的刻蚀	58
2.5	TFT 器件结构与特点	59
2.5.1	底栅结构	60
2.5.2	顶栅结构	62
2.5.3	器件基本特性	62
2.6	器件电学性能的不稳定性	65
2.7	薄膜评价方法	66

2.7.1 傅里叶变换红外光谱	66
2.7.2 紫外线-可见光谱	67
2.7.3 恒定光电流方法	68
2.7.4 拉曼光谱	69
2.7.5 椭偏仪	69
第3章 液晶面板设计与驱动	70
3.1 显示屏的构成	70
3.1.1 显示区	70
3.1.2 密封区	76
3.1.3 衬垫区	77
3.1.4 特征标记	78
3.2 玻璃基板上薄膜的边界条件	79
3.2.1 彩膜基板上的边界条件	79
3.2.2 阵列基板上的边界条件	80
3.3 液晶显示模式与原理	80
3.3.1 液晶显示模式	80
3.3.2 液晶显示光阀原理	82
3.4 曝光工艺技术	85
3.4.1 掩模版	85
3.4.2 曝光机类型	86
3.4.3 光刻工艺	87
3.4.4 五次/四次光刻工艺过程	88
3.4.5 光透过率调制掩模版技术	89
3.5 像素设计原理	91
3.5.1 电容	91
3.5.2 像素中电阻计算	100
3.5.3 TFT 性能要求	101
3.5.4 像素充电率模拟	105
3.6 面板的驱动	107
3.6.1 面板的电路驱动原理图	107
3.6.2 极性反转驱动	108
3.7 GOA 驱动原理	113
3.7.1 GOA 基本概念	113

3.7.2	GOA 工作原理	114
3.7.3	GOA 设计	120
3.7.4	GOA 的模拟仿真	126
3.7.5	GOA 设计的其他考虑	131
第 4 章 液晶显示颜色基础		132
4.1	色度基础	132
4.1.1	可见光谱	132
4.1.2	辐射度与光度	133
4.1.3	颜色的辨认	135
4.1.4	颜色三要素	136
4.2	颜色的表征	138
4.2.1	格拉斯曼混合定律	138
4.2.2	光谱三刺激值	139
4.2.3	色坐标计算	144
4.2.4	均匀色度系统及色差	146
4.3	液晶显示的颜色参数及计算	148
4.3.1	颜色再现原理	148
4.3.2	色坐标和亮度计算	148
4.3.3	灰阶与色深	150
4.3.4	色域计算	150
4.3.5	色温计算	152
第 5 章 液晶光学设计基础		154
5.1	概述	154
5.1.1	液晶盒的主要参数	154
5.1.2	常见的液晶显示模式	155
5.2	透过率	156
5.2.1	液晶光学偏振原理	156
5.2.2	不同显示模式的透过率	168
5.3	对比度和视角	176
5.3.1	对比度和视角的影响因素	176
5.3.2	不同模式下的对比度和视角	178
5.4	阈值电压和响应时间	183

5.4.1	液晶电学和力学原理	183
5.4.2	不同显示模式的阈值电压和响应时间	186
5.5	工作温度对液晶的影响	189
5.6	液晶参数对显示影响概述	190
第 6 章 驱动电路系统设计基础		191
6.1	模组驱动电路系统	191
6.1.1	OC 的驱动电路	191
6.1.2	LED 背光源的驱动电路	193
6.2	电源管理集成电路	196
6.2.1	Buck 电路	197
6.2.2	Boost 电路	198
6.2.3	Buck-Boost 电路	200
6.2.4	LDO 电路	201
6.2.5	电荷泵电路	202
6.2.6	V_{COM} 电路	204
6.2.7	多阶栅驱动电路	204
6.3	时序控制器	205
6.3.1	时序控制器概述	205
6.3.2	接口信号特点	207
6.3.3	LVDS 接口	210
6.3.4	eDP 接口	213
6.3.5	mini-LVDS 接口	213
6.3.6	Point to Point 接口	215
6.3.7	V-by-One 接口	215
6.4	数据驱动集成电路	216
6.4.1	数据驱动集成电路概述	216
6.4.2	双向移位寄存器	218
6.4.3	数据缓冲器	219
6.4.4	电平转换器	220
6.4.5	数模转换器	221
6.4.6	缓冲器和输出多路转换器	222
6.4.7	预充电电路	223
6.4.8	电荷分享电路	224

6.5	扫描驱动集成电路	225
6.5.1	扫描驱动集成电路概述	225
6.5.2	扫描驱动集成电路时序	226
6.5.3	XAO 电路	226
6.6	Gamma 电路与调试	227
6.6.1	Gamma 电路	228
6.6.2	Gamma 数值计算	229
6.6.3	Gamma 电压调试	229
6.7	ACC 调试	232
6.8	ODC 调试	233
6.9	电视整机电路驱动系统概述	235
第 7 章 机构光学设计基础		240
7.1	荧光灯光源	241
7.2	发光二极管光源	243
7.2.1	LED 的基本特点	243
7.2.2	LED 的分类与光谱	245
7.2.3	LED 的 $I-V$ 特性	247
7.2.4	LED 的辐射参数	248
7.2.5	LED 的光电特性	250
7.3	光学膜材	253
7.3.1	反射片	254
7.3.2	导光板	254
7.3.3	扩散板	257
7.3.4	扩散片	257
7.3.5	棱镜片	258
7.3.6	反射型偏光增亮膜	260
7.4	背光模组结构	261
7.4.1	直下式背光结构	262
7.4.2	侧光式背光结构	262
7.5	机构部品材料特点	264
7.5.1	金属部品的特点	264
7.5.2	非金属部品的特点	265
7.5.3	机构设计对散热的影响	265

7.5.4 包装材料的特点	265
7.6 能耗标准	266
第8章 液晶显示器性能测试	268
8.1 TFT 电学性能测试	268
8.1.1 TFT 特性参数测试仪	268
8.1.2 被测样品准备	269
8.1.3 参数定义	269
8.1.4 TFT 转移特性曲线测试	270
8.1.5 TFT 输出特性曲线测试	273
8.1.6 TFT 的光偏压应力测试	274
8.1.7 TFT 的热偏压应力测试	275
8.1.8 TFT 的电偏压应力测试	276
8.2 显示器光学特性测试	278
8.2.1 亮度及亮度均匀性测试	279
8.2.2 对比度测试	279
8.2.3 视角测试	280
8.2.4 色度学测试	281
8.3 响应时间测试	284
8.3.1 灰阶响应时间测试	284
8.3.2 动态响应时间测试	285
8.4 闪烁测试	285
8.4.1 JEITA 测试法	285
8.4.2 FMA 测试法	286
8.5 泛绿测试	286
8.6 串扰测试	287
8.7 残像测试	288
8.8 VT 曲线测试	289
8.9 Gamma 曲线测试	290
第9章 阵列制造工程	292
9.1 阵列制造工程概述	292
9.2 溅射	294
9.3 磁控溅射	296

9.3.1	磁控溅射的特点	296
9.3.2	工艺条件对沉积薄膜的影响	297
9.4	等离子体增强化学气相沉积	299
9.4.1	薄膜沉积基本过程	299
9.4.2	沉积 SiN_x 薄膜	300
9.4.3	沉积 a-Si:H 薄膜	301
9.4.4	沉积 n+ a-Si:H 薄膜	303
9.5	光刻胶的涂布与显影工艺	303
9.5.1	光刻胶材料特性	303
9.5.2	光刻胶涂布工艺	304
9.5.3	光刻胶显影工艺	304
9.5.4	光刻胶剥离工艺	305
9.6	干法刻蚀工艺	306
9.6.1	干法刻蚀基本原理	306
9.6.2	干法刻蚀种类	306
9.7	湿法刻蚀	310
9.8	阵列不良的检测与修复	312
9.8.1	检测与修复概述	312
9.8.2	自动光学检查	313
9.8.3	断路/短路检查	316
9.8.4	阵列综合检测	318
9.8.5	阵列不良修复	320
第 10 章 彩膜制造工程		322
10.1	彩膜制造工程概述	322
10.2	光刻胶的主要组分与作用	323
10.2.1	颜料	323
10.2.2	分散剂	325
10.2.3	碱可溶性树脂	326
10.2.4	感光树脂	327
10.2.5	光引发剂	328
10.2.6	有机溶剂	328
10.2.7	其他添加剂	328
10.3	彩膜制作工艺流程	328

10.4 彩膜中各层薄膜的特性	330
10.4.1 黑矩阵	330
10.4.2 色阻	331
10.4.3 平坦化层	332
10.4.4 透明导电薄膜	332
10.4.5 柱状隔垫物	333
10.5 彩膜制程各工艺特点	335
10.5.1 清洗	335
10.5.2 涂布工艺	336
10.5.3 前烘工艺	338
10.5.4 曝光工艺	338
10.5.5 显影工艺	339
10.5.6 后烘工艺	339
10.6 不良的检测与修复	340
10.6.1 不良的检测	340
10.6.2 不良的修复	341
10.7 再工程	341
10.8 材料测试与评价	342
10.8.1 色度和光学密度	342
10.8.2 对比度	342
10.8.3 色阻的位相差	343
10.8.4 黏度	343
10.8.5 固含量	343
10.8.6 溶剂再溶解性	343
10.8.7 制版性	344
10.8.8 电学特性	345
10.8.9 表面特性测试	346
第 11 章 液晶盒制造工程	348
11.1 液晶盒制造工程概述	348
11.2 取向层涂布工艺	349
11.2.1 取向层材料特点	349
11.2.2 凸版印刷方式	352
11.2.3 喷墨印刷方式	354

11.2.4 热固化	356
11.3 取向技术	357
11.3.1 取向机理	357
11.3.2 摩擦取向	358
11.3.3 光控取向	362
11.4 液晶滴注	364
11.5 边框胶涂布	365
11.6 真空对盒	367
11.7 紫外固化和热固化	367
11.8 切割和研磨	368
11.9 液晶盒检测和修复	370
11.10 清洗	372
第 12 章 模组制造工程	374
12.1 模组制造工程概述	374
12.2 偏光片贴附工艺	375
12.2.1 偏光片贴附	375
12.2.2 加压脱泡	376
12.3 OLB 工艺	376
12.3.1 ACF 材料特点	377
12.3.2 COF 邦定	378
12.3.3 UV 胶涂布	379
12.4 回路调整	379
12.5 模组组立	380
附录 A 薄膜晶体管的 SPICE 模型与参数提取	381
A.1 概述	381
A.2 数据获取	382
A.2.1 工艺参数的确定	383
A.2.2 阈值电压的确定	383
A.2.3 场效应迁移率的确定	383
A.2.4 器件开关比的确定	384
A.2.5 亚阈值斜率的确定	384
A.3 模型参数的优化	384