

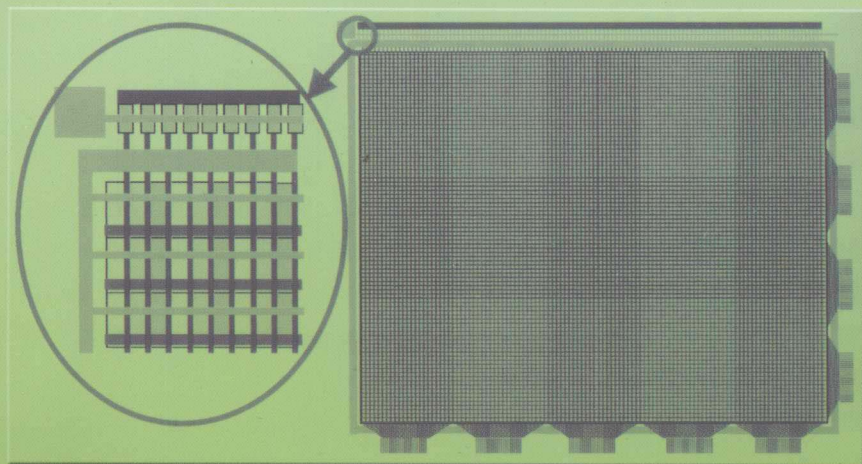
High
New

新材料及在高技术中的应用丛书

Design and Operation of
TFT LCD Panels

TFT LCD 面板的 驱动与设计

戴亚翔 著 田民波 修订



清华大学出版社

新材料及在高技术中的应用丛书

TFT LCD 面板的驱动与设计

戴亚翔 著
田民波 修订

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是中国台湾作者为台湾五南文化事业出版公司编写的科技参考书,考虑到本书涉及的内容对祖国内地该领域的发展有很高的参考价值,特别是对高校师生有学习参考价值,为此,我社将该书修订出版并收录到“新材料及在高技术中的应用丛书”中。本书是有关 TFT LCD 技术参考书,介绍了 TFT LCD 的基本知识、操作原理及设计时的实际应用,TFT LCD 面板的驱动,TFT LCD 面板的设计实例,还探讨了 TFT LCD 的未来发展。本书可以作为高等院校师生的教学参考书,也可供工程技术人员参考。

本书中文简体版由五南图书出版股份有限公司授权清华大学出版社在中国大陆出版发行

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2007-1544

本书原版:TFT-LCD 面板的驱动与设计 戴亚翔 著

五南图书出版股份有限公司 2006 年初版,ISBN 957-11-4291-3

出版者地址:台北市大安区(106)和平东路二段 339 号 4 楼

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

TFT LCD 面板的驱动与设计/戴亚翔著;田民波修订. —北京:清华大学出版社, 2008. 11

(新材料及在高技术中的应用丛书/田民波主编)

ISBN 978-7-302-17993-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 094434 号

责任编辑:宋成斌

责任校对:刘玉霞

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:170×240 印 张:14

字 数:264 千字

版 次:2008 年 11 月第 1 版

印 次:2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:30.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:024195-01

材料科学出版社

序言



《新材料及在高技术中的应用丛书》序言

材料、信息技术与能源称为现代人类文明的三大支柱。国民经济的各部门和高技术领域的发展都不可避免地受到材料发展的制约或推动。材料科学技术为建设现代工业和现代农业提供基础物质，为传统产业的更新改造和高技术产业的兴起提供共性关键技术，也为国防建设提供重要的物资保证。实际上，新材料的发展水平已经成为衡量一个国家高技术水平高低和综合国力强弱的重要标志。

与此同时，人类已进入蓬勃发展的高技术时代。计算机、多媒体、移动电话、互联网、核能、航天和太空探索、激光、基因工程、克隆技术、电动汽车和高速火车等，其中不少已经或即将涉及我们的日常生活。

当前一些发达国家正集中人力、物力，寻求在新材料方面的突破。美国、欧盟、日本和韩国等在其最新国家计划中，都把新材料及其制备技术列为国家关键技术之一加以重点支持。例如，美国国家研究理事会(National Research Council, NRC)确定的“未来30年十大研究方向”中与材料直接和间接相关的就有8项；美国国家关键技术委员会把新材料列为影响经济繁荣和国家安全的6大类关键技术的首位。20世纪90年代初确定的22项关键技术中，材料占了5项。

我国“十五”期间确定的8个对增强综合国力最具战略影响的高技术领域，分别是信息技术、生物技术、新材料技术、先进制造与自动化技术、资源环境技术、航天航空技术、能源技术、先进防御技术等领域。其中重点是信息、生物和新材料3个领域。《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的颁布，站在历史的新起点，以增强自主创新能力为主线，以提高综合国力为目标，为我国新材料及高新技术的发展

指明了方向。

《新材料及在高技术中的应用丛书》正是在这种背景下出版的。

何谓“新材料”? 简单地说,就是那些新出现或已在发展中的,在成分、组织、结构、形态等方面不同于普通材料,具有传统材料所不具备的优异性能和特殊功能的材料。目前比较活跃的领域包括:电子信息、光电、超导材料;生物功能材料;能源材料和生态环境材料;高性能陶瓷材料及新型工程塑料;粉体、纳米、微孔材料和高纯金属及高纯材料;表面技术与涂层和薄膜材料;复合材料;智能材料;新结构功能助剂材料、优异性能的新型结构材料等。

何谓“高技术”? 简单地说,就是采用新材料、新工艺,产生更高效益,能促进人类物质文明和精神文明更快进步的技术。有人认为,高技术就是“尖端技术”、“先导技术”、“未踏技术”等。以这类技术形成的产业具有高成长率、高利润、高风险、高变化率、高知识水平等特点,也有人把知识密集型产业称为高技术产业。

新材料、高技术的发展具有下述特征:

(1) 新材料与高技术相互促进,二者相结合可转化为巨大的生产力

从科技发展史看,重大的技术革新往往起始于材料的革新。例如,20世纪50年代镍基超级合金的出现,将材料使用温度由原来的700℃提高到900℃,从而导致超音速飞机问世;高温陶瓷的出现促进了表面温度高达1000℃的航天飞机的发展。半导体材料及大规模集成电路技术的不断突破,使电子计算机的体积越来越小、能力却成千上万倍地提高:晶体管(1947年)、集成电路(1959年)和微处理器(1970年)的发明提高了数据运行速度;硬盘(1956年)、调制解调器(1980年)和鼠标(1983年)的发明又大大提高了获取数据的能力;互联网(1989年)的广泛应用打破了传统的信息堡垒,使人们廉价地获取各种知识成为可能;未来还会出现一些“智能”型装置,例如,手表型对话器、“智能”冰箱、“智能”居室等。

(2) 新材料与高技术领域是科学与技术创新的主战场

在信息社会飞速发展的今天,作为人机对话窗口的显示器已成为世界电子信息工业的又一大支柱产业。2005年韩国三星电子分别展示出102型的PDP和82型的TFT LCD,这标志着该领域的技术壁垒已被打破,平板显示器件(FPD)已进入快速增长时期。1998—2005年FPD的年均增长率高达21.5%,预计2006年全球FPD市场将占整个显示器市场(1018亿美元)的近60%,从1998年的110亿美元增加到2006年的610亿美元。FPD中,2004年全球TFT LCD产值约476亿美元,占80%以上的市场份额,专家预计2010年将增长为1350亿美元;近三年全球PDP市场年均增长率近80%,预计2010年PDP销量将达3120万台。

除了TFT LCD和PDP之外,有机电致发光显示器(OLED和PLED)、发光二极管(LED)、无机电致发光(无机EL)、场致发光(FED)、真空荧光管(VFD)、电子纸、数字式光处理器(DLP)等平板显示领域也有长足进展。许多跨国公司无一

不在这一新材料、高技术领域展现其创新实力。值得注意的是,日本、韩国及我国的台湾地区在控制 FPD 关键技术的同时正将劳动力密集型的模块组装工序转移到我国内地,利用劳动力便宜的优势,赚取超额利润。内地企业应当机立断,打入 FPD 的产业链,尽快掌握关键技术,特别是实现关键材料的国产化。发展 FPD 产业符合我国国情,不仅可以增强我国的创新实力,缩小与先进工业国家在信息产业上的技术差距,而且可以带动我国的基础产业,为真正的“中国制造”夯实基础。

◆◆ (3) 高技术的迅猛发展对新材料提出更高的要求

小型、轻量、薄型、高性能是数字网络时代电子设备的发展趋势。便携式信息机器正以迅猛之势发展,这种新机器将个人电脑的信息处理能力、互联网的通信网络、电视栩栩如生的图像和电话的便利性融为一体。人们预想这种便携式信息机器将成为电话、电子邮件、互联网、录像机甚至电视机的替代品。不远的将来,便携秘书、移动办公室、随身影院将不再是天方夜谭。

随着电子元器件向轻、薄、短、小、高性能方向发展,芯片向高集成度、高频率、超多 I/O 端子数方向发展,迫切需要提高封装密度,其中包括:封装的端子(引脚)数越来越多;端子节距越来越小;封装厚度越来越薄;封装体在基板上所占的面积越来越大。为满足这些要求,一是不断采用新的封装形式;二是采用三维立体布线的多层基板及三维立体封装。电子封装工程的这种发展趋势对其四大基础技术,即薄厚膜技术、微互联技术、基板技术、封接与封装技术等提出许多新的要求。因此,许多新结构、新工艺、新材料将应运而生。特别是封装材料,对它的介电常数、热膨胀系数、热导率、耐热特性、阻燃特性、防潮及抗裂纹特性、放射性元素含量及环保特性等都提出越来越高的要求。

◆◆ (4) 发展新材料和高技术需要雄厚基础和长期积累

2003年2月13日欧盟正式颁布的 WEEE 和 RoHS 两法令将于 2006年7月1日执行。WEEE 是指废弃电器电子设备回收法令,RoHS 是指在电器电子设备中限制使用某些有害物质(Pb、Hg、六价 Cr、Cd、PBB 和 PBDE 等 6 种)的法令。WEEE 和 RoHS 的正式实施将对我国以机电产品为代表的外向型产业产生重大影响。对上述两法令,国内经历了一个认识过程,开始认为这是“人为设定的非技术贸易壁垒”,是“断我汲水之路,使我不战自乱”,后来才认识到,两法令是从源头上杜绝污染源,进而建立环境型友好社会的战略措施。国内相应的法令已于 2007年3月执行。面对两个法令,我们真正遇到的挑战是,由于基础薄弱、缺乏积累,在技术准备、代用材料、相关工艺及专利等方面都有些措手不及,相当被动。看来,在新材料高技术领域,只有靠雄厚的基础和长期的积累才能“处变不惊”,以不变应万变。

◆◆ (5) 发展新材料和高技术产业应以企业为核心,市场为导向

在新材料和高技术的产业化竞争中,先进工业化国家和地区以跨国公司为龙头,以大量中小型企业为后盾,采取集团作战方式,参与全球竞争。这些跨国公司

具有长期经营的基础,实力雄厚,由于享有良好的信誉和知名度,再加上名牌效应,在资金、人才、设备、市场等方面都有得天独厚的优势。在产业化发展过程中,这些跨国公司左右方向、制定战略、控制市场、掌握标准,再加上彼此之间的合纵连横、分工合作,具有极强的市场竞争力。

在总体战略目标下,由跨国公司将任务分解,其中不少由中小型企业来承担,再进行“组装”,依靠先进产品的高价格,大家共同赚取超额利润。这些中小型企业都掌握独特的技术并具有很强的生产能力,且科研力量、开发能力都很强。许多重大科研及攻关项目都在公司间进行,厂家、用户之间联系密切,技术交流频繁,所涉及的都是新的、活的、尖端的内容。这些中小型企业是技术创新的主力军,作为产业化基础是必不可少的。

在如火如荼,发展迅猛的新材料与高技术产业化过程中,采取孤立分散、小打小闹、各自为政的方针,再多的“专家评审”、再高的“鉴定会”评价水平,不经市场检验也于事无补,所谓的“国内、国际领先水平”只不过是自吹自擂而已。

发展新材料和高技术产业必须以企业为核心,市场为导向。当年美国和欧洲在 LCD 方面也做了大量的工作,但由于投资力度不够,终究未形成气候,许多研究成果倒被日本人所利用。他们所做的一切工作都迅速地为日本(而后是韩国、台湾地区)人营造的规模效应所吸收,变成了投资者的财富。这其中的经验和教训我们应引以为戒。

在新材料及高技术产业化发展过程中,只有以企业为创新主体,才能增强核心竞争力;只有企业做大做强,增强自主创新能力,我们才能进入创新型国家的行列。

(6) 核心竞争力源于体制创新

在新材料和高技术产业的发展过程中,我们经常遇到体制方面的障碍:信息闭塞,决策慢;害怕风险,不敢为天下先;资源难以集中,不能形成合力;投资规模小,不能形成竞争力;科研与产业化脱节,成果很难转化为生产力;企业间恶性竞争,丧失创新能力等。这些问题不解决,很难在强手如林的世界新材料和高技术产业中,脱颖而出,占据一席之地。

新材料应用于高技术领域,有先后、难易、周期长短、所需基础及投入资金多少的不同。国民经济发展对其要求应有轻重缓急之分,因此科学决策极为重要。在新材料、高技术等新经济中不是大鱼吃小鱼,而是快的吃慢的,反应最快的总是占据最佳位置,速度是新经济的自然淘汰方式。

发展新材料和高技术产业不能急功近利,更不能搞什么政绩工程,需要的是科学决策而不是长官意志。在这方面我们有不少教训。多晶硅材料是硅产品产业链中的一个重要的中间产品。是制造硅抛光片、太阳能电池的主要原材料,也是发展信息产业和新能源产业的重要基石。20世纪中后期,我国曾有几十家多晶硅生产厂家,在人才、物力、技术等方面都具有一定基础。但由于众所周知的原因,这些企业一哄而散,能坚持下来的只剩一两家,近年来总年产量徘徊在百吨级水平,致使

我国多晶硅供需关系严重失衡。我国2005年集成电路和硅太阳能电池对多晶硅的实际需求量达到3000吨左右,95%以上的多晶硅材料需要进口,由于价格飞涨,已成为制约行业发展的瓶颈因素。据说,眼下打算筹建千吨级多晶硅的厂家有10家以上,但愿这次不要再犯一哄而上的毛病。

台湾地区在发展新材料及高技术产业方面的成功经验很值得我们借鉴。台湾地区在微机生产和芯片制造(代工厂)取得成功之后,选中TFT LCD的产业方向,从日本引进生产技术,高强度集中投资,科研与产业化紧密结合,集中力量开发前沿产品,在短短四五年后,根据2004年的统计数据,TFT LCD的全球市场占有率达33.5%,居世界第一。此外,台湾地区IC封装业占全球市场的36%,记录光盘占全球市场的72%,均排名世界第一等。

目前内地从事新材料及高技术研究、开发和生产的单位是很多的。根据20世纪90年代初的统计,从事新材料研究开发的部门所属的研究机构就有125个,全国有170个高校设有与材料相关的院系和专业,还有数以千家的企业从事新材料的生产。从事高技术的单位和部门更是数不胜数。但是,目前不少新材料及高技术部门往往从事同样的研究开发工作,特别是一些热门课题,大家一哄而上,由于经费不足和研究条件落后,很多项目仍是低水平重复,成果不能很快地转化为生产力,浪费了国家有限的人力和资金。

究其原因,有决策问题、选题及目标问题、还有政策导向问题等,但核心是体制问题。核心竞争力源于体制创新;体制是否有效,最终由综合竞争力来检验。

应特别指出的是,在信息、能源、材料三大基础产业中,材料更为基础。以目前迅速发展的电子材料为例,我们应该重点发展半导体集成电路材料、平板显示器材料、新型元器件材料、光电子材料、记录光盘材料、IC封装材料、印制线路板(PCB)材料、小型二次电池材料等。实际上,近年来国内不少企业已在上述领域取得可喜成果。

本丛书力求全方位地反映新材料及高技术应用的各个方面,包括涉及的范围、水平、目前状况及发展趋势等。重点是讨论新材料与高技术应用之间的关系,更注重产业化发展和市场动向。以此奉献给该领域的决策者、参与者、相关者、关心者以及在校的大学生、研究生等。其内容齐全、涉及面广,力求做到通俗易懂、深入浅出。丛书中的每一部又自成体系,可作为相关专业的教材及教学参考书。

已经献给读者的是本丛书的前四部:《磁性材料》、《电子显示》、《电子封装工程》、《高密度封装基板》。除了即将出版的《薄膜技术与薄膜材料》之外,正在撰写和组织的还有《晶圆和芯片》、《平板显示器入门》、《平板显示器的产业化》、《液晶显示器》、《电池——材料、工艺及应用》、《结构材料科学》、《功能材料科学》、《固体电子材料》等,将陆续出版。

当代材料科学技术正面临新的突破,诸如高温超导体、纳米材料、先进复合材料、生物医用材料、先进电子材料、智能材料、生态环境材料、光电信息材料、C60,

第一版前言



不论在公司带新来的人员,还是在学校教学,都经常被问到相似的问题:“关于学习 TFT LCD 的驱动与设计,有没有什么入门的书籍可以参考?”

要回答这个问题,必须认识到,TFT LCD 是一种整合多元知识的技术,牵涉到很多原理,如果不深入地探讨,便不足以一窥全貌,我们必须能够将相关知识广泛地整合融会应用,才能算是真正学好 TFT LCD 的技术。

一个入门者常常发生的情况是,明明已经学过原理 A、B、C,但在考虑问题时,只想到 A 和 B,却没有想到这个问题与 C 有关。另一种情况是,某个问题 X,可以利用方法 Y1 和 Y2 来解决,但是又产生了新的问题 Z1 和 Z2,然后再用其他方法去解决,对于刚接触这项技术的人而言,很容易被这种复杂的情况混淆而无所适从。所以初步学习 TFT LCD 的难度,不是在于缺乏相关的书籍可参考,而是这些书的内容多注重在知识原理方面的详细说明,而未考虑到入门读者在融会贯通上的困难。

本书将从另一种角度出发,一开始不要求将所有的原理铺陈完备,而是先构建大致的观念,然后,便开始尝试进行设计实例说明,再随着设计过程仔细琢磨相关原理知识,并藉由实例渐进地导入各种问题考量,希望对读者在知识领域的整合和融会贯通上有所帮助。

然而,这样的写法有很大的缺点,对于原理的说明会比较杂乱无章,有时会谈到液晶,有时会谈到电路,而未能将观念完整说清楚,很可能会变成断章取义而造成误解,这种情况是由作者造成的,需要读者自行弥补,去参考相关书籍,把原理再深入地研究清楚,谨在正式内容开始之前提醒读者注意。

关于本书的架构,在第 1 章,首先介绍关于 TFT LCD 的基本知识;第 2 章说明 TFT LCD 的工作原理;第 3 章以一个实例说明设计时如何应用工作原理;第 4 章则说明如何驱动 TFT LCD 面板;为了避免太多的细节,混淆工作及驱动原理的了解,到了第 5 章才讨论设计时的现实考量;最后在第 6 章探索了一下 TFT LCD 设计可能的发展。

原书推荐序



“两兆^①双星”是中国台湾地区在 21 世纪初期高科技产业的最大推动力,其中的一兆^②——影像显示更是台湾地区 IT 产业由 PC、半导体、NB 进至能结合 IT、消费性技术的重要平台。影像显示特别是在数字电视上,高画质、低耗电量、环保等的需求,更使平板显示器成为 21 世纪最耀眼——产值、投资额及人才需求最大的一个项目,也是使台湾地区的 IT、消费性产业在世界舞台上位居龙头的关键要素之一。

为积极参与“两兆双星”高科技发展,培养显示技术研发高级人才,弥补目前人才严重的缺口,强化台湾地区前沿显示技术研究,中国台湾交通大学于 2003 年成立显示科技研究所,招收博、硕士研究生及进行全面的显示技术、材料、元件的前瞻研究,这是台湾地区乃至世界第一个以这种重要的 IT 技术为专业的研究所,更具有非凡的指标性意义。

戴亚翔博士,在 TFT LCD 面板研究及产业界有多年的实务经验,对 TFT LCD 面板设计及系统驱动方面的原理,有深入的认识与独到的见解,在本所成立之初,便加入成为师资队伍中的一员,讲授显示电子电路与平板设计等课程,获得学生热烈的反应。他有感于目前相关的教材缺乏一贯性,在忙于教学研究的同时,仍抽空撰写了这本原理与实践相结合的书籍,其中在设计实践上有深入的探讨,可使面板的设计、驱动电路入门及专业学习裨益良多,本书亦是第一本

① 修订者注:中国台湾地区和日语中数量单位“兆”指万亿,即 10^{12} ,与目前祖国内地兆表示百万,即 10^6 是不同的。实际上,古汉语中兆所指为前者,而非后者。

② 修订者注:指新台币,约合 300 亿美元。

在本主题上如此深入的专业书籍。相信藉由此书的出版,对于显示科技人才的培养,以及对产业研发能力的增进,都会有很大的帮助及提升。

我很高兴看到亚翔对显示技术研究与教学所作出的贡献,也很荣幸有机会与亚翔共事、学习,相信我们能从此书中获益良多。

谢汉萍

中国台湾交通大学显示科技研究所教授暨所长
国际咨询显示学会(SID)Fellow

修订者序

在当今信息社会, TFT LCD 液晶显示器已经广泛应用于我们生活的各个方面, 从小尺寸的手机、摄像机、数码相机, 中尺寸的笔记本电脑、台式机, 大尺寸的家用电视到大型投影设备等, TFT LCD 在轻、薄优势的基础上, 加上完美的画面及快速的响应特性, 确保其在显示器市场上独占鳌头。

从技术上讲, 自 20 世纪 70 年代起, 液晶显示器先后经历 TN、STN、a-Si TFT(TN 模式)、大型 TFT(IPS, MVA, OCB 等模式) 等四个发展阶段, 并成功解决了扩大开口率、提高辉度、增大视角、提高响应速度、增大画面尺寸、扩大色域等问题, 从而使其应用领域迅速扩展。

玻璃基板尺寸决定整个 TFT LCD 生产线的投资规模、技术水平、切割面板尺寸、价格, 从而决定了市场竞争力, 因此产业化水平以玻璃基板的“代”为标志。从 1991 年的第 1 代(300 mm×350 mm) 开始, 目前正筹建第 9 代, 甚至第 10 代(2600 mm×3100 mm) 生产线。在过去的十几年中, 开始是按每两年一代, 近几年甚至按每年一代的速度扩大。与此相应, 面板尺寸、像素数、像素密度也按类似于半导体摩尔定律的规模增加。

今天 TFT LCD 技术仍在不断进步, 突出表现为简化工艺的采用、生产效率的提高, 以便进一步降低价格。据预测, TFT LCD 下一个发展阶段是可支持用户各种各样的附加功能, 可在任何场合使用的创能型显示器。

需要指出的是, 无论是研究开发还是产业化, 要进入 TFT LCD 领域, 门槛是很高的。必须认识到, TFT LCD 是多元知识和技能的总汇, 涉及包括液晶物理和化学、光学、材料科学、彩色化技术、驱动

电路、制造工艺等多学科的原理和技术,如果不深入探讨,系统学习,很难将这些知识融会贯通。而这对于入门者来说费力劳神,又谈何容易。

由中国台湾交通大学光电工程学系暨显示科技研究所戴亚翔博士所著《TFT LCD 面板的驱动与设计》一书独辟蹊径,一开始不求将所有的原理铺陈完备,而是先构建大致的概念,而后以面板驱动与设计的案例为中心进行论述。随着设计过程的深入,仔细琢磨相关原理知识,并借助实例循序渐进,读者即可学会对知识的整合和融会贯通。

修订者在认真拜读过程中也体会到本著作的独到之处,因此推荐本书作为大学相关专业本科高年级及研究生用参考材料,并推荐作为清华大学出版社“新材料及在高技术中的应用丛书”之一。相信本书能在人才培养,提升研发能力和促进产业化方面发挥很好作用。

对原著进行修订实不敢当,说是学习更为确切。对名词术语、习惯用语做了必要的替换,对个别语句进行了调整,以期更符合熟悉简体字读者的习惯。若有不符合原著原意之处,敬请戴亚翔博士谅解并指正。

田民波

清华大学材料科学与工程系

2008年元月1日

目录

第 1 章 了解 TFT LCD

1.1	了解显示器	1
1.1.1	像素(pixel,即 picture element)	1
1.1.2	对比度(contrast)	3
1.1.3	灰阶(gray level)	3
1.1.4	颜色(color)	5
1.2	液晶显示器(liquid crystal display, LCD)	8
1.2.1	光阀的概念	9
1.2.2	如何利用 LCD 制成光阀	9
1.2.3	如何控制液晶光阀	13
1.2.4	液晶电容	15
1.2.5	进一步认识液晶	18
1.3	了解薄膜晶体管(thin film transistor, TFT)	20
1.3.1	TFT 的结构与工作原理	20
1.3.2	TFT 的电流-电压特性	21
1.3.3	TFT 与 MOSFET 的比较	22
1.4	了解 TFT LCD	23
1.4.1	TFT LCD 架构	23
1.4.2	彩色 TFT LCD 的亚像素	23
1.4.3	TFT LCD 的比喻	24
1.5	名词解释	25
	第 1 章练习	26

第 2 章 TFT LCD 的工作原理

2.1	TFT LCD 的工作方式	29
2.2	极性反转(polarity inversion)	31
2.2.1	什么叫做“极性反转”	31
2.2.2	为什么可以“极性反转”	31
2.2.3	驱动电压的均方根(root mean square, RMS)	31
2.2.4	为什么必须要有“极性反转”	32
2.2.5	像素阵列极性反转的方式	36
2.3	充电(charging)	37
2.3.1	充电与放电电流	37
2.3.2	充电时间	38
2.3.3	电压范围	39
2.3.4	预充电(pre-charge)	43
2.4	电位保持(holding)	45
2.4.1	漏电的路径	45
2.4.2	储存电容(storage capacitor)	47
2.4.3	储存电容的参考电压	48
2.4.4	点缺陷型漏电	50
2.5	电容耦合效应(coupling)	51
2.5.1	电容耦合的原理	51
2.5.2	像素中的电容	54
2.5.3	扫描线的电容耦合效应	57
2.5.4	数据线的电容耦合效应	68
2.6	信号延迟(delay)	68
2.6.1	信号延迟的原理	68
2.6.2	信号延迟的计算方法	70
2.6.3	扫描线上的信号延迟	73
2.6.4	数据线上的信号延迟	74
2.6.5	共电极的信号延迟	75
2.7	综合效应	77
2.7.1	充电与电荷保持	77
2.7.2	充电与电容耦合	78
2.7.3	充电与信号延迟	78