

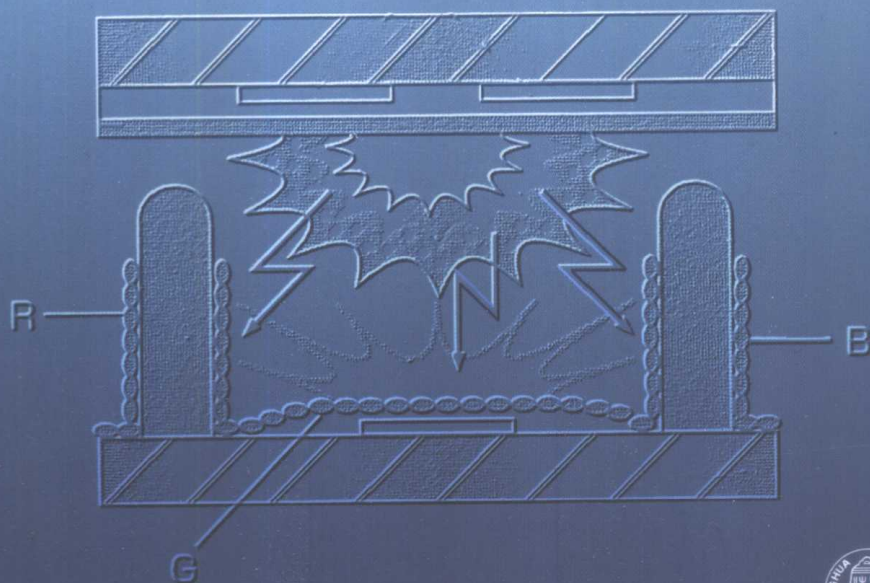
High
New

新材料及在高技术中的应用丛书

Electronic Display

电子显示

田民波 编著



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

新材料及在高技术中的应用丛书

电 子 显 示

田民波 编著

清 华 大 学 出 版 社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是《新材料及在高技术中的应用丛书》的第二册,主要包括电子显示的原理及发展概况、液晶显示器、等离子体显示板、电致发光显示器、荧光管显示器、场发射和场离子显示器、发光二极管显示器、布劳恩管显示器、立体显示器及特殊显示器、大屏幕显示器等内容。并涉及各类显示器的原理、结构、制造工艺及材料等多个方面。

电子显示器和半导体大规模集成电路是信息产业的两块基石。而前者涉及的范围更广,带动的基础产业更多,发展潜力更大,更具有无限商机。本书适用于微电子、信息、通信、电子元器件、计算机、材料、化工、机械等各个领域的人员阅读。

本书可以作为相关专业本科生、研究生的教材,也可作为广大科技工作者、工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子显示/田民波编著. —北京:清华大学出版社,2001.4

(新材料及在高技术中的应用丛书)

ISBN 7-302-04309-4

I. 电… II. 田… III. 显示器-基本知识 IV. TN873

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 12768 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 宋成斌

印 刷 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×960 1/16 印张: 26.75 字数: 509 千字

版 次: 2001 年 5 月第 1 版 2001 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-04309-4/TB·31

印 数: 0001~8000

定 价: 39.00 元



《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、因特网、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等,其中不少已经或即将涉及到我们的日常生活。

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、欧共体、日本和韩国等在他们的最新国家计划中,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。

最近,我国已确定“十五”期间八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、生物和新材料三个领域。

《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

成份、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;而高温陶瓷的出现则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;因特网(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”居室等等。

(2) 高风险、高投入、高效益、高速度

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。阴极射线管显示器(CRT)由于其体积大、电压高、易受干扰,在便携式电子产品和大屏幕显示方面的应用受到限制,目前平板显示器(FPD)已经发展成为可以与CRT抗衡的新兴显示技术。据预测,到2002年,CRT和FPD器件的产值都将达到300亿美元,各占50%,后者的年增长率为16.2%,远远高于前者6.3%的水平。

其中等离子体显示板(PDP)以其显示面积大、画质优异、视角大、薄型等特点,在40~70英寸大屏幕显示范围内占有绝对优势,作为高清晰度电视(HDTV)、家庭影院进入家庭,使人们盼望多年的壁挂电视梦想成为现实。

面对这种形势,许多跨国公司都投入巨资,建立新的生产线,加速扩展其生产能力,力争抢先占领彩色PDP市场。仅亚洲,已经投产的PDP生产线就不下10条。

(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、因特网的通信网

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、因特网和录像机的替代品,2003 年左右被广泛使用,从而迎来“后 PC 时代”。目前,质量仅有 50g 的移动电话已经小批量面市。据估计,到 2006 年,在所有电子设备中,便携型的比例将超过 60%。

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:封装的针脚(引线)数越来越多;针脚(引线)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。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。

(4) 人才是新材料、高技术发展的关键

新材料的“新”主要体现在其特殊性能及功能上。作为结构材料,有超高强度、超高硬度、超塑性等;作为功能材料,主要涉及到电、磁、半导、超导、压电、声、光等特性。新材料更新换代快、式样多变;其制备和生产往往与新技术、新工艺紧密相连;其研制与应用需要更综合的知识和能力。

例如,为了制取用纤维或晶须增强的新型复合材料,需要制备高强度、高热稳定性、无(或很少)缺陷的陶瓷晶须或纤维,并解决它们与基体间的复合工艺问题;为了获得具有特殊性质的薄膜或表层,需要应用各种成膜技术(如真空蒸镀、磁控溅射、分子束外延等)、激光技术、高能粒子轰击或离子注入技术。为了不断提高磁记录 and 光磁记录的记录密度、可靠性和再生灵敏度,除了要在记录介质材料系统、垂直磁记录膜的制作工艺、多层膜等方面进行系统的研究开发外,还要对磁头(包括感应磁头、磁致电阻和巨磁电阻效应磁头等)、激光记录再生系统、光强和频率调制系统等进行深入研究。要能胜任这些工作,并能取得开创性的成果,没有高水平的人才是不可能想象的。

(5) 科学决策极为重要

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。

目前我国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 所高校设有与材料相关的系和专业,还有 1 000 家以上的企业从事新材料的生产。而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,有体制问题、决策问题、选题及目标问题,还有政策问题等。

这些问题不解决,很难在新材料及高技术的激烈竞争中立于世界之林。

应特别指出的是,在信息、能源、材料三大基础产业中,材料最为基础。以目前迅速发展的电子材料为例,日本在金属超细粉、表面活性剂、有机粘结剂、有机溶剂、电子浆料、液晶材料、光学玻璃、偏光板、玻璃粉料、陶瓷粉料、封接玻璃、电子陶瓷、各类薄膜、各类基板、光刻制板、精细印刷、焊料焊剂、PCB 基板、多层基板、微细连接、封接封装技术及各类相关设备等方面的中小型企业遍布全国,都有其独特的技术和很强的生产能力,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。这些中小型企业作为产业基础是必不可少的。日本、韩国微电子产业的腾飞正是得益于此。目前,新加坡以及中国台湾、香港正在奋起直追,中国内地亟待在这些方面迅速发展。

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。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。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。

最先献给读者的是本丛书的前六部:《磁性材料》、《电子显示》、《电子封装工程》、《IC 技术》、《高密度封装基板》、《高密度电子封装——MCM、BGA、CSP》。已经动笔和正在组织的还有《粉体与烧结》、《新型玻璃材料》、《薄膜技术与材料》、《电池——材料、工艺及应用》、《结构材料科学》、《功能材料科学》、《实验材料科学》、《气体放电及应用》、《表面与界面》、《固体电子材料》、《纳米技术》等,若能获得同行认可,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,以及分子、原子尺度设计材料等领域正处于日新月异的发展之中,充满了挑战和机遇。新材料的出现总是连带着高技术的突破,由此必将带来巨大的技术经济效益和社会效益。《新材料及在高技术中的应用丛书》若能对读者在“眼观六路、耳听八方”方面有所裨益,将不胜荣幸。

作者水平有限,不妥或谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

田民波

2000 年 10 月 18 日

前言



人们天生喜爱图像。通过作为人-机界面的显示器,人们可以获得信息,交流情报,参与社会,享受生活乐趣。在信息社会飞速发展的今天,显示器行业充满活力,并已成为世界电子信息工业的一大支柱产业。

社会已进入网络化时代。随着便携式信息产品、多媒体终端显示、大屏幕电视、高清晰度电视、数字化电视的需求日益增长,平板显示技术(FPD)正突破传统的布劳恩管(CRT)* 体积大、电压高等造成的应用限制而获得迅猛发展,在短短十余年时间内,已发展成为和CRT抗衡的显示技术。目前,电子显示无论在形式、性能,还是在发展速度上,都今非昔比。各类电子显示器在各显优势的同时,也处于空前激烈的竞争之中。

CRT 至今已有 100 年历史,其生产技术成熟,驱动方式简单,目前仍以极好的性能价格比居各类显示器的首位。但是,CRT 在 51cm 以下范围正受到液晶显示器(LCD)的有力竞争,在大于 100cm 的范围受到彩色等离子体显示板(PDP)的有力挑战。目前,CRT 的优势仍在价格上。专家预计,待 LCD 和 PDP 发展到价格仅为相同尺寸和显示容量 CRT 价格的 1.5 倍时,CRT 的阵地将严重丢失。这种情况有可能在 21 世纪第一个 10 年内发生。

LCD 称为“第二半导体”,其成长速度有可能比集成电路更高。目前,液晶平板显示器厂家正面对五大市场,即笔记本电脑、监视器、可移动设备、手机、电视机等产品开发市场。主要解决的问题包括:扩大视野角,提高对比度,增加色纯度,提高响应速度,减小显示板厚度及降低功耗等。

* 所有缩写词英文注释见附录。

继 LCD 之后,由于 PDP 容易实现大画面(对角线 100cm 以上)显示、自发光、视角大、响应快、具有存储特性、彩色丰富(与 CRT 相当)、全数字化工作、薄型平板化、受磁场影响小、无需磁屏蔽等优点,覆盖了从 30 英寸*到 70 英寸的高分辨率显示领域。PDP 用于壁挂式高清晰度电视(HDTV)而进入千家万户,已成为世界上各大电子公司竞争的又一重点。有专家预测,人类历史上最大的电子产品生产线之一将会是 PDP 生产线,等离子体平板显示器将对全球电子工业产生巨大的影响。21 世纪,大部分信息将以数字化方式出现。随着数字图像化时代的到来,对家庭的影响最为显著。家庭内的信息靠家庭网络联系在一起,而大型平板显示器将成为这种家庭网络的核心。今后数年内,针对数字电视和大屏幕电视应用市场,彩色 PDP 技术要实现与现有 CRT 电视完全相当的画质,尚需提高发光效率,降低功耗,改进驱动方法,改善动态画质等。特别是,降低成本的任务还相当艰巨。目前 50 英寸级和 30 英寸级的 PDP 彩电已投入批量化生产,预计到 2003 年全世界的市场需求量将达 300 万台/年,价格将实现 1 万日元/英寸。

发光二极管(LED)显示屏作为现代信息显示的重要媒体,在金融证券、体育、机场、交通、商业、广告宣传、邮电通信、指挥调度、国防军事等许多领域得到了广泛应用。目前普通 LED 产品已供过于求,价格下降,利润减少。制造商转向高性能的 LED,开发生产高辉度(超过 $4000\text{cd}/\text{m}^2$)、小型化、短波长、低功耗和低成本的 LED,并不断提高色纯度和扩展其应用范围。提高精确性和发展表面安装型仍是研制工作的重点之一。随着 LED 的发展,一旦蓝色、绿色 LED 达到足够亮度,全色 LED 显示器将投入使用。届时,高辉度、便于户外应用的 LED 显示器将更加丰富多彩、鲜艳夺目。

场发射显示器(FED)是一种新型的自发光平面显示器件,既具有 CRT 的显示质量,又具有 LCD 低功耗的优点,被认为是未来起重要作用的平面显示技术,目前已处于商品化初期阶段。FED 本质上是由许多微型 CRT 组成的。5~6 英寸的 FED 已有商品上市,不久将会出现 10 英寸或更大尺寸的显示器。从商品化角度看,还需对其工艺和制造技术进行完善。

电致发光显示器(ELD)发展迅速。无机 ELD 的特点是全固态,温度范围宽,其分辨率可以做到很高,但其驱动电压高,且彩色化研究进展缓慢。不过现在人们已经把 TFT 与 ELD 结合,做成 AMELD,分辨率可达 80 线/mm。有机 ELD 发展迅速,其色彩丰富、低电压驱动,亮度高,功耗低,可供选择的材料广泛,引起了业界的高度关注,目前要突破的关键技术是长寿命和彩色序列的组合。

除此之外,CRT 的薄型化,真空荧光管显示器(VFD)、电化学显示器(ECD)、电泳成像显示器(EPID)、悬浮颗粒显示器(SPD)、旋转球显示器(TBD)等各类平

* 1 英寸=2.54 厘米。

板显示器,投影大屏幕显示和立体显示等技术也在积极开发中。

应该指出,电子显示器行业是一个十分庞大的系统,既需要实力雄厚的跨国电子公司,更要求有大量的中小型企业作为后盾。在基础材料和工艺等许多方面,电子显示器产业与电子封装工程有许多资源可以共享。没有坚实的基础,没有长期的研究、开发及产业化经验的积累,要想在强手如林的世界电子显示器行业中占有一席之地是很不容易的。回顾电子显示器产业的发展史,许多创意源于美国,而产业化却在日本、韩国等地实现。目前显示器件最大消费国是美国,但美国的显示器产业自20世纪70年代后期,不仅丧失了开发的领先地位,生产能力也几乎丧失殆尽。这一教训我们应引以为戒。

在电子显示器的百花园里,CRT已处于成熟期的后期,LCD将称雄于计算机终端显示领域,在相当一段时间内将处于平板显示器的霸主地位,PDP正在向壁挂电视迈进,有可能进入千家万户,FED、ELD等其他平板显示技术都有迅速发展,呈现一片既竞争、又协调的生气勃勃的景象。21世纪的电子显示的舞台将是平板显示技术的春天。

目 录



《新材料及在高技术中的应用丛书》序言	I
前言	V

第 1 章 电子显示的原理及发展概况

1.1 电子显示器件	1
1.1.1 定义和种类	1
1.1.2 沿革与变迁	3
1.2 各种电子显示类型	8
1.2.1 显示原理、基本结构和构成材料	8
1.2.2 显示性能及特征的比较	13
1.3 发展现状、课题与展望	17
1.3.1 各种电子显示器的市场定位	17
1.3.2 应用发展现状、课题与展望	19

第 2 章 液晶显示器

2.1 液晶与液晶显示器(LCD)	27
2.1.1 液晶	27
2.1.2 液晶与显示	29
2.1.3 LCD 的特征	29
2.2 液晶用于显示的物理性能	30
2.2.1 物理性质的各向异性	30
2.2.2 折射率的各向异性与各种光学性质	31
2.2.3 施加电场引起分子排列的变化	33

2.3 LCD 的各种显示方式及其工作原理和特性	35
2.3.1 液晶的电气光学效应及显示方式	35
2.3.2 扭曲向列型	37
2.3.3 超扭曲向列型	37
2.3.4 铁电型(FLC)	40
2.3.5 反铁电型	45
2.3.6 宾-主型	49
2.3.7 双折射控制型	50
2.3.8 高分子分散型	51
2.3.9 彩色 LCD 的各种显示方式	53
2.4 各种类型的液晶材料	56
2.4.1 实用液晶材料	56
2.4.2 混合液晶材料	57
2.4.3 向列液晶材料	57
2.4.4 胆甾相型液晶材料	63
2.4.5 层列型液晶材料	64
2.5 LCD 的构造与制作	68
2.5.1 LCD 的构造	68
2.5.2 LCD 的构成材料	69
2.5.3 液晶分子排列的作用、种类及分子排列方法	70
2.5.4 LCD 的制作	71
2.6 LCD 的各种驱动方式	72
2.6.1 各种驱动电极的结构	72
2.6.2 静态驱动	74
2.6.3 多路传输驱动	74
2.6.4 有源矩阵驱动	76
2.7 LCD 的技术发展动向	79
2.7.1 LCD 技术发展回顾	79
2.7.2 TFT-LCD 技术	80
2.7.3 移动电话用 STN-LCD 的技术动向	85
2.7.4 我国 LCD 产业的现状	90
2.7.5 LCD 新技术动向	92

2.7.6 TFT-LCD 当前的产业化水平	100
------------------------------	-----

第3章 等离子体显示板

3.1 等离子体显示板(PDP)的工作原理	104
3.1.1 什么是 PDP	104
3.1.2 AC 型 PDP 与 DC 型 PDP	106
3.1.3 PDP 的特征和应用	108
3.2 彩色 PDP 的放电特性及发光机理	114
3.2.1 低压气体放电的基本特性	114
3.2.2 彩色 PDP 的发光机理	117
3.2.3 气体放电中的帕邢定律和着火电压的确定	119
3.2.4 DC 型和 AC 型 PDP 中的气体放电	124
3.3 AC 型 PDP 与 DC 型 PDP 的结构及驱动方式	129
3.3.1 AC 型 PDP 的结构	129
3.3.2 AC 型 PDP 的驱动	132
3.3.3 DC 型 PDP 的结构	139
3.4 PDP 的主要部件及材料	140
3.4.1 玻璃基板	144
3.4.2 前基板制造工艺中相关的部件与材料	146
3.4.3 后基板制造工艺中相关的部件与材料	149
3.4.4 装配工艺中相关的部件与材料	154
3.5 PDP 的制造工艺及装置	156
3.5.1 玻璃板制造工艺	156
3.5.2 AC 型 PDP 前基板的制造工艺	157
3.5.3 DC 型 PDP 前基板的制造工艺	161
3.5.4 AC 型 PDP 后基板的制造工艺	161
3.5.5 DC 型 PDP 后基板的制造工艺	168
3.5.6 装配工艺	170
3.5.7 检查工艺	170
3.6 PDP 的应用	171
3.6.1 PDP 作为大型 FPD 的优势	171
3.6.2 PDP 的应用领域	174
3.6.3 PDP 产业的特征和市场预测	177

3.7 PDP 的课题及开发战略	182
3.7.1 PDP 的开发课题	182
3.7.2 PDP 的市场开发战略	187

第 4 章 电致发光显示器

4.1 全固态型的电致发光显示器(ELD)	191
4.1.1 什么是电致发光	191
4.1.2 电致发光与显示器	191
4.1.3 ELD 的特征	193
4.2 各种电致发光元件的结构、工作原理及特性	194
4.2.1 分散型交流电致发光	194
4.2.2 分散型直流电致发光	196
4.2.3 薄膜型交流电致发光	198
4.2.4 薄膜型直流电致发光	201
4.2.5 有机薄膜电致发光	201
4.3 电致发光元件的各种构成材料	202
4.3.1 发光层材料	202
4.3.2 绝缘层材料	206
4.3.3 电极材料	207
4.3.4 基板材料	208
4.4 电致发光元件各功能层的形成方法	208
4.4.1 发光层的形成方法	208
4.4.2 绝缘膜的形成方法	210
4.4.3 电极的形成方法	210
4.5 有机电致发光显示器(有机 ELD)	210
4.5.1 有机 ELD 的优点及发展概况	210
4.5.2 有机 ELD 的结构及工作原理	212
4.5.3 有机 ELD 用的材料及薄膜 ELD 器件的制作	213
4.5.4 RGB 多色有机 ELD	215
4.5.5 有机 ELD 器件的新进展	216
4.6 ELD 的各种驱动方式	217
4.6.1 帧更新驱动法	217
4.6.2 对称驱动法	218

4.6.3 灰度调节显示驱动法	219
4.6.4 有源矩阵驱动法	220
4.7 ELD 的用途及应用展望	221
4.7.1 数字及符号显示	221
4.7.2 图形显示	221
4.7.3 彩色显示	222
4.7.4 LCD 背照光源	224
4.8 ELD 的课题与发展前景	225

第5章 荧光管显示器

5.1 荧光管显示器(VFD)的工作原理及基本结构	227
5.1.1 VFD 的定义	227
5.1.2 VFD 的产生	228
5.1.3 VFD 的分类	229
5.1.4 VFD 的结构及工作原理	230
5.2 VFD 的电学及光学特性	232
5.2.1 电压电流二极管特性	232
5.2.2 电气及光学特性	234
5.2.3 截止特性	234
5.2.4 脉冲响应特性	235
5.3 VFD 的构成材料	236
5.3.1 玻璃	236
5.3.2 阴极材料	236
5.3.3 金属材料	236
5.3.4 厚膜材料	236
5.3.5 荧光体	237
5.4 VFD 的制造工艺	238
5.5 VFD 的基本设计	239
5.5.1 显示内容及色彩	239
5.5.2 封装因素及允许端子数	240
5.5.3 必要的辉度、滤色器、使用环境	240
5.5.4 驱动方式、动作条件、驱动器及结构设计	240

5.5.5 可靠性	241
5.6 VFD 的使用方法	241
5.6.1 电源	241
5.6.2 驱动电路	242
5.7 图像显示用 VFD	246
5.7.1 单矩阵方式	247
5.7.2 多矩阵方式	250
5.7.3 彩色图像显示器	251
5.8 大画面显示器件	252
5.9 真空荧光管打印头(VFPH)	253
5.9.1 电子照相方式用 VFPH	253
5.9.2 彩色 VFPH	254
5.10 芯片植入玻璃(CIG)型 VFD	255
5.11 VFD 使用中的注意事项	255
5.11.1 电气工作条件	255
5.11.2 现场安装	256
5.11.3 保管	257
5.12 研究课题与展望	257

第 6 章 场发射显示器和场离子显示器

6.1 场发射显示器(FED)	259
6.1.1 FED 的发展概况	259
6.1.2 FED 平面显示器件的构成及制作工艺	260
6.1.3 彩色 FED 器件	263
6.2 场离子显示器(FID)	265
6.2.1 场离子发射原理	265
6.2.2 FID 的结构和工作原理	267
6.2.3 FID 的优点及发展前景	270

第 7 章 发光二极管显示器

7.1 发光二极管及发光二极管显示器(LED)	271
7.1.1 发光二极管	271

7.1.2 LED 的开发经历及今后展望	272
7.2 LED 用材料及发光机制	273
7.2.1 晶体结构及能带结构	273
7.2.2 发光机制及发光波长	275
7.2.3 电流注入与发光	276
7.2.4 发光效率、光输出及亮度	277
7.2.5 变频特性	278
7.2.6 LED 与激光二极管	278
7.3 LED 的制造工艺	279
7.3.1 单晶制作技术	279
7.3.2 外延技术	281
7.3.3 掺杂技术	284
7.3.4 元件制作及组装技术	285
7.4 各种 LED 及其特性	285
7.4.1 GaP : ZnO 红色 LED	287
7.4.2 GaP : N 绿色 LED	287
7.4.3 GaAsP 系红色 LED	287
7.4.4 GaAsP 系橙色、黄色 LED	288
7.4.5 GaAlAs 系 LED	288
7.4.6 InGaAlP 系橙色、黄色 LED	289
7.4.7 GaN 系蓝色 LED	289
7.4.8 SiC 蓝色 LED	290
7.4.9 II-VI 族蓝色 LED	291
7.4.10 全彩色 LED	292
7.4.11 红外 LED	293
7.5 LED 显示器的各种用途及发展前景	294
7.5.1 指示灯	294
7.5.2 数字显示用显示器	295
7.5.3 阵列显示器	297
7.5.4 单片型平面显示器	297
7.5.5 混合型平面显示器	298
7.5.6 点矩阵型平面显示器	298