

清华大学“985”名优教材立项资助

THE

田民波 著

ATERIALIALS
FOR INNOVATIONS

创新 材料学

清华大学出版社

THE MATERIALS
FOR INNOVATIONS

创新 材料学

田民波 著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

《创新材料学》和《材料学概论》作为材料学组合教材,系统鸟瞰学科概况。《创新材料学》按10条纵线介绍各类材料在半导体集成电路、微电子封装、平板显示器(包括触控屏和3D电视)、白光LED固体照明、化学电池、太阳电池、核能利用、能量及信号转换、电磁屏蔽、环境保护等领域的应用,推荐作为研究生新生教材,以《材料学概论》为辅;《材料学概论》按10条横线讨论绪论、元素周期表、金属、粉体、玻璃、陶瓷、聚合物、复合材料、磁性材料、薄膜材料,说明每一类材料从原料到成品的全过程、相关性能及应用,推荐作为本科新生入门教材,以《创新材料学》为辅。纵横交叉,旁及上下左右,共涉及百余个重要知识点,力图以快捷、形象的方式把读者领入材料学知识的浩瀚海洋。

这套材料学组合教材既不是海阔天空的漫谈,也不是《材料科学基础》课程的压缩,更不是甲、乙、丙、丁开中药铺。在内容上避免深、难、偏、窄、玄,强调浅、宽、新、活、鲜。在汇集大量资料的前提下,采用图文并茂的形式,全面且简明扼要地介绍各类材料的新进展、新性能、新应用,力求深入浅出,通俗易懂。千方百计使知识新起来、动起来、活起来,做到有声有色,栩栩如生。

本书可作为材料、机械、精密仪器、化工、能源、汽车、环境、微电子、计算机、物理、化学、光学等学科本科生及研究生教材,对于从事相关行业的科技工作者和工程技术人员,也具有极为难得的参考价值。

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

创新材料学 / 田民波著. — 北京:清华大学出版社, 2015
ISBN 978-7-302-40651-8

I. ①创… II. ①田… III. ①材料科学—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第163209号

责任编辑:宋成斌
封面设计:傅瑞学
责任校对:刘玉霞
责任印制:沈 露



出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

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

印装者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:210mm×297mm 印 张:30 字 数:1386千字
版 次:2015年9月第1版 印 次:2015年9月第1次印刷
印 数:1~2500
定 价:98.00元

产品编号:057414-01

前言

材料一般指具有特定性质，能用于制造有用物品的物质。材料的获得离不开人的劳动。人们在追求材料更高性价比的同时，在原料、制备、使用、回收再利用等各个环节，必须考虑资源、节能、环境友好等因素。

最早为人类所用的材料，比如石块、木棒、陶罐、青铜器具、铁制武器、农具等，种类单一、形式简单；而今天的汽车、飞机、计算机、平板电视、智能手机等，无一不是各种材料的最佳集成，不仅涉及种类繁多的材料、各种材料的性能都发挥到极致，而且处于激烈的竞争和日新月异的变化之中。

材料伴随着人类社会的进步而进展。由于发展初期的粗放经营，加之近年来环境污染的现状，一提到材料，人们往往会联想到钢铁、水泥、电解铝、平板玻璃、多晶硅等，给人的印象是粗放、耗能、低效、污染，似乎与创新和高新技术相距甚远。因此，无论对于学生还是普通民众，必须消除对材料的误解与偏见。

材料是人类一切生产和生活活动的物质基础，是生产力的体现，被看成是人类社会进步的标志。在人类发展的历史长河中，材料起着举足轻重的作用。对材料的认识和利用的能力，决定着社会的形态和人类生活的质量，历史学家往往用制造工具的原材料作为历史分期的标志。例如石器时代、陶器时代、青铜器时代、铁器时代、钢铁时代、半导体及高分子时代、复合材料及先进功能材料时代等。一部人类文明史，从某种意义上说，也可以称为世界材料发展史。

材料既古老又年轻，既普通又深奥。说“古老”，是因为它的历史和人类社会的历史同样悠久；说“年轻”，是因为时至今日，它依然保持着蓬勃发展的生机；说“普通”，是因为它与每一个人的衣食住行信息相关；说“深奥”，是因为它包含着许多让人充满希望又充满困惑的难解之谜。可以毫不夸张地说，世界上的万事万物，就其和人类社会生存与发展关系密切的程度而言，没有任何东西堪与“材料”相比。

“材料科学与工程”包括四个基本要素，即材料的成分和结构、材料的制备与加工、材料的性能和材料的应用行为。这四要素之间的密切结合决定了材料科学的发展方向。性质是确定材料功能特性和应用的基准；组成与结构是构成任何一种材料的基础；而材料的合成、加工与使用性能则是其能否发展的最关键的环节。所以材料科学与工程既包括基础研究和应用研究两个方面，同时还具有许多学科交叉的特点。

有人常用“一流的设备，二流的人才，三流的管理，四流的材料”来形容某些企业。意思是说，不少新建企业“不差钱”，用大把的人民币购进崭新的装备，用大把的美元从国外购进先进的关键设备。同一些国家和地区的企业相比，我们后建的企业，设备普遍比它们的新，有的比它们的更先进，但同样规模的企业，我们的效益却望尘莫及。这样的企业当然生产不出一流的产品。生产不出一流产品的企业，又如何会有一流的人员和一流的管理呢？

影响创新的其他原因暂且不谈，单就材料而言，“巧妇难为无米之炊”，在科学发展史上，新材料的出现促使高技术诞生的实例屡见不鲜。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℃，从而促成超音速飞机问世；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。与之相似，硅、锗、化合物半导体材料对于计算机，荧光体材料、液晶材料、各种膜层、特殊玻璃对于显示器，正极材料、负极材料、电解液、隔离层对于各类电池，犹如水之源、木之本。无一撇一捺，何谈人字？

新材料是指新出现或已在发展中的、具有传统材料所不具备的优异性能和特殊功能的材料。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，其制备及在高技术中的应用需要更综合的知识和能力。每一种新材料的发现，每一项新材料技术的应用，都会给社会生产和人类的生活带来巨大改变，把人类文明推向前进。材料工业始终是世界经济的重要基础和支柱，随着社会的进步，材料的内容正在发生重大变化，一些新材料和相应技术正在不断替代或局部替代传统材料。

概括起来，材料是人类社会进步的标志，材料是当代文明的根基，材料是各类产业的基础，先进材料是高新技术的核心，新材料是国家核心竞争力的体现，材料可以“点石成金，化腐朽为神奇”，材料可以“以不变应万变”，提高材料的性能永无止境，新材料应该不断适应技术创新和产业创新。

“创新是一个民族进步的灵魂”。创新是经济发展的根本现象。创新包括技术创新、管理创新和制度创新。创新应包括五个方面：新产品开发、新技术引入、开辟新的市场、获得新的资源、创立新的组织。其中，材料创新具有举足轻重的作用。目前，新材料已成为高新技术产业发展的关键、科学创新和技术创新的基础。“制造材料者制造技术”，无论是原始创新、集成创新还是引进消化吸收再创新，往往都是以新材料作为基础。

改革开放初期，我们发展的技术起点较低，所需要的技术大都是国外成熟的技术，甚至有些是过时

的低端技术，因此从国外购买技术相对容易。然而，这种用大量人民币从国外购买技术、设备、材料、工艺的现象，是具有明显的阶段性特征的，是不可能持续的。特别是，“有钱难买新材料”。在一个产业领域，不掌握核心材料，总归要受制于人。我们不可能永远拥有低成本的优势，也不可能靠别人的技术实现我们自己的现代化，这充其量是大而不强。

作为《材料学概论》的续篇，《创新材料学》共分10章，每章涉及一个相对独立的材料领域，自成体系，内容全面，系统完整。内容包括半导体集成电路材料，微电子封装和封装材料，平板显示器（包括触控屏和3D显示）相关材料，半导体固体照明（包括LED和OLED平板显示器）及相关材料，化学电池（包括一次电池、二次电池和燃料电池）及电池材料，光伏发电和太阳电池材料，核能利用和核材料，能源、信号转换及传感器材料，电磁兼容——电磁屏蔽及RFID用材料，环境友好和环境材料，涉及高新技术的各个领域。对于这些高新技术产业来说，熟悉了其中所用的各种关键材料，也就了解了技术精髓和来龙去脉；掌握了这些关键材料，便成功了一大半。因此，本书所讨论的既是高新技术中所采用的新材料，也是新材料在高新技术中的应用。

本书在每章之下采用“节节清”的论述方式，左文右图，图文对照，并给出“本节重点”。内容丰富，重点突出；层次分明，思路清晰；选材新颖，强调应用；纲举目张，脉络清楚。

本课程既不是海阔天空的漫谈，也不是基础理论课程的压缩，更不是甲、乙、丙、丁开中药铺。在内容上避免深、难、偏、窄、玄，强调浅、宽、新、活、鲜。在占有大量资料的前提下，采用图文并茂的形式，全面且简明扼要地介绍各类材料的新进展、新性能、新进展、新应用，力求深入浅出，通俗易懂。千方百计使知识新起来、动起来、活起来，力求做到有声有色，栩栩如生。

本课程教学的最终目标是培养同学开发新材料的创新能力，而创新能力需要建立在学习理解能力、综合运用知识能力、系统分析问题能力和创造能力基础上。内容论述始终围绕这一目标而展开，通过分析最前沿的实际问题，从各方面增强同学的创新意识，帮助他们树立创新的理念和思维，积累创新的动力和本领，培养他们成为具有独立思考，勇于创新的人才。

本书可作为材料、机械、微电子、计算机、显示器、精密仪器、汽车、能源、环境、化工、物理、化学、光学、建筑、交通运输等学科本科生及研究生教材，对于从事相关行业的科技工作者和工程技术人员，也有极为难得的参考价值。

本书得到清华大学“985”名优教材立项资助并受到清华大学材料学院的全力支持。刘伟、陈娟、程利霞、吴微微博士参加了本书的部分辅助工作。在此一并表示感谢。

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

2015年6月

目 录

第 1 章 半导体和集成电路材料

1.1	何谓集成电路 (IC)	2
1.1.1	从分立元件到集成电路	
1.1.2	由硅圆片到芯片再到封装	
1.1.3	三极管的功能——可以比作通过水闸的水路	
1.1.4	MOS 型与双极性晶体管的比较	
1.2	存储器 IC (DRAM) 和逻辑 LSI 的进展	4
1.2.1	半导体集成电路的功能及按规模的分类	
1.2.2	从存储器到 CPU 和系统 LSI (SoC)	
1.2.3	存储器 IC 按功能的分类	
1.2.4	DRAM 中电容结构的变迁和三维结构存储单元	
1.3	集成电路发明逾 50 年——两人一小步, 人类一大步	6
1.3.1	CMOS 构造的断面模式图 (p 型硅基板)	
1.3.2	快闪存储器单元三极管“写入”、“擦除”、“读出”的工作原理	
1.3.3	集成电路发明逾半个世纪历史回眸	
1.3.4	新器件靠材料和制程的革新而不断进展	
1.4	从硅石到金属硅, 再到 99.999999999% 的高纯硅	8
1.4.1	“硅是上帝赐给人类的宝物”	
1.4.2	从硅石原料到半导体元器件的制程	
1.4.3	从硅石还原为金属硅	
1.4.4	多晶硅的析出和生长	
1.5	从多晶硅到单晶硅棒	10
1.5.1	改良西门子法生产多晶硅	
1.5.2	直拉法 (Czochralski 法) 拉制硅单晶	
1.5.3	区熔法制作单晶硅	
1.5.4	抛光片、外延片和 SOI	
1.6	从单晶硅棒到晶圆	12
1.6.1	先要进行取向标志的加工	
1.6.2	将硅坯切割成一片一片的硅圆片	
1.6.3	按电阻对绝缘体、半导体、导体的分类	
1.6.4	pn 结中杂质的能级	
1.7	从晶圆到 IC (1) —— 氧化与扩散工艺	14
1.7.1	涂布光刻胶——制作图形的第一步	
1.7.2	曝光, 显影	
1.7.3	绝缘膜的作用——绝缘、隔离、LSI 的保护	
1.7.4	热氧化法——制取优良的绝缘膜	
1.8	从晶圆到 IC (2) —— 掩模与蚀刻工艺	16
1.8.1	杂质的扩散法之一——热扩散法	
1.8.2	杂质的扩散法之二——离子注入法	
1.8.3	图形加工方法之一——湿法刻蚀	
1.8.4	图形加工方法之二——干法刻蚀	
1.9	DRAM 元件和逻辑 LSI 元件中使用的各种薄膜	18
1.9.1	DRAM 元件结构及使用的各种薄膜	
1.9.2	逻辑 LSI 元件的结构和使用的各种薄膜	
1.9.3	用于 VLSI 的薄膜种类和制作方法	
1.9.4	用于 VLSI 制作的 CVD 法	

1.10	IC 制作中的薄膜及薄膜加工——PVD 法	20
1.10.1	真空蒸镀	
1.10.2	离子溅射和溅射镀膜	
1.10.3	平面磁控溅射	
1.10.4	晶圆流程中的各种处理室方式	
1.11	IC 制作中的薄膜及薄膜加工——CVD 法	22
1.11.1	用于 VLSI 制作的 CVD 法分类	
1.11.2	CVD 中主要的反应装置	
1.11.3	等离子体 CVD (PCVD) 过程中传输、反应和成膜的过程	
1.11.4	离子注入原理	
1.12	Cu 布线代替 Al 布线	24
1.12.1	影响电子元器件寿命的大敌——电迁移	
1.12.2	断线和电路缺陷的形成原因和预防、修补措施	
1.12.3	Cu 布线代替 Al 布线的理由	
1.12.4	用电镀法即可制作 Cu 布线	
1.13	曝光光源向短波长进展和干法刻蚀代替湿法刻蚀	26
1.13.1	步进重复曝光机光源向短波长的进展	
1.13.2	曝光波长的变迁	
1.13.3	图形曝光装置的分类	
1.13.4	干法刻蚀装置的种类及刻蚀特征	
1.14	光学曝光技术	28
1.14.1	薄膜图形加工概要	
1.14.2	对基板的曝光及曝光波长的变迁	
1.14.3	近接曝光和缩小投影曝光	
1.14.4	曝光中的各种位相补偿措施	
1.15	电子束曝光和离子注入	30
1.15.1	电子束曝光	
1.15.2	LEEPL (低加速电子束近接) 曝光	
1.15.3	离子注入装置	
1.15.4	低能离子注入和高速退火	
1.16	单大马士革和双大马士革工艺	32
1.16.1	大马士革工艺即中国的景泰蓝金属镶嵌工艺	
1.16.2	Al 布线与 Cu 大马士革布线的形成方法比较	
1.16.3	Cu 双大马士革布线的结构和形成方法	
1.16.4	由大马士革 (镶嵌) 工艺在沟槽中埋置金属制作导体布线的实例	
1.17	多层化布线已进入第四代	34
1.17.1	第一代多层化布线技术——逐层沉积	
1.17.2	第二代多层化布线技术——玻璃流平	
1.17.3	第三代多层化布线技术——导入 CMP	
1.17.4	第四代多层化布线技术——导入大马士革工艺	
1.18	摩尔定律继续有效	36
1.18.1	半导体器件向巨大化和微细化发展的两个趋势	
1.18.2	“摩尔定律并非物理学定律”	
1.18.3	“摩尔定律是描述产业化的定律”	
1.18.4	“踮起脚来，跳起来摘苹果”	
	名词术语和基本概念	
	思考题及练习题	
	参考文献	

第 2 章 微电子封装和封装材料

2.1	微电子封装的定义和范畴	40
2.1.1	微电子封装的发展过程	

2.1.2	前工程和后工程, 电子封装的功能	
2.1.3	电子封装工程的范围	
2.1.4	微电子封装的定义	
2.2	电子封装的分类	42
2.2.1	一级封装和二级封装	
2.2.2	引线键合 (WB) 连接方式	
2.2.3	倒装芯片 (flip chip) 连接方式	
2.2.4	TAB 连接方式	
2.3	一级封装工艺 (1)	44
2.3.1	引线键合方式及连接结构	
2.3.2	金丝引线键合的工艺过程	
2.3.3	倒装芯片 (flip-chip) 凸点形成方法	
2.3.4	利用 FCB 的连接方法	
2.4	一级封装工艺 (2)	46
2.4.1	TAB 中的内侧引线键合 (ILB) 和外侧引线键合 (OLB)	
2.4.2	采用 TAB 的 IC 封装组装 (TBGA)	
2.4.3	藉由 ACP/ACF 粘结实现的 COF 模式	
2.4.4	采用 FCB 的 IC 封装组装 (FCBGA)	
2.5	传递模注封装和环氧塑封料 (EMC)	48
2.5.1	DIP 型陶瓷封装的结构	
2.5.2	球栅阵列封装 (BGA) 的结构	
2.5.3	传递模注塑封工艺流程	
2.5.4	环氧塑封料 (EMC) 及各种组分的效果	
2.6	从半导体二级封装看电子封装技术的变迁	50
2.6.1	半导体封装外部形状的变迁	
2.6.2	LSI 封装按与印制线路板安装 (连接) 方式的变迁	
2.7	三维 (3D) 封装	52
2.7.1	何谓三维封装?	
2.7.2	芯片叠层的三维封装	
2.7.3	封装叠层的三维封装	
2.7.4	硅圆片叠层的三维封装	
2.8	丝网印刷及在电子封装中的应用	54
2.8.1	电路图形 (pattern) 的各种形成方法	
2.8.2	印刷图形的各种不同方法	
2.8.3	丝网漏印网版构成及丝网印刷工艺	
2.8.4	丝网印刷电子浆料及制作工艺	
2.9	高密度封装对封装材料的要求	56
2.9.1	倒装芯片 (FC) 封装的结构	
2.9.2	倒装芯片封装结构中采用的各种新材料	
2.9.3	按绝缘 (介质) 材料对电子基板的分类	
2.9.4	不同介质材料介电常数、热导率、热膨胀系数高低的比较	
2.10	印制线路板 (PCB) 技术的最新动向	58
2.10.1	对印制线路板的要求	
2.10.2	高密度化的发展方向	
2.10.3	积层式印制线路板的结构及制作工艺	
2.11	印制线路板的交流特性	60
2.11.1	印制线路板的交流特性 (1) ——特性阻抗	
2.11.2	印制线路板的交流特性 (2) ——集肤效应	
2.11.3	印制线路板的交流特性 (3) ——高频信号的延迟与失真	
2.11.4	印制线路板的交流特性 (4) ——交叉噪声 (串扰)	
2.12	印制线路板用材料	62
2.12.1	作为基材的玻璃布	

2.12.2	热固性树脂材料 (1) —— 酚醛树脂和环氧树脂	
2.12.3	热固性树脂材料 (2) —— 聚酰亚胺、BT 树脂和 A-PPE 树脂	
2.12.4	热塑性树脂材料	
2.13	电解铜箔和压延铜箔	64
2.13.1	电解铜箔的制作工艺	
2.13.2	压延铜箔的制作工艺	
2.13.3	铜箔的表面处理工程	
2.13.4	电解铜箔和压延铜箔各有长短, 分别适用于不同领域	
2.14	积层式印制线路板 (1)	66
2.14.1	积层法印制线路板 (built-up PCB) 的模式图及断面照片	
2.14.2	树脂覆铜箔 (RCC) 方式	
2.14.3	热固性树脂方式	
2.14.4	感光性树脂方式	
2.15	积层式印制线路板 (2)	68
2.15.1	ALIVH 方式	
2.15.2	B ² it 方式	
2.15.3	转印法实现多层积层的工艺过程	
2.15.4	积层法中多层间的连接方式	
2.16	挠性基板 (FPC)	70
2.16.1	三层法和两层法挠性基板	
2.16.2	两层法 FPC——铸造法、溅镀 / 电镀法、叠层热压法制作工艺	
2.16.3	连接用和补强用挠性基板	
2.16.4	用于手机和液晶电视封装的挠性基板	
2.17	表面贴装技术 (SMT) 及无铅焊料	72
2.17.1	何谓 SMD 和 SMT	
2.17.2	表征可靠性随时间变化的浴缸曲线	
2.17.3	贴装器件故障分析	
2.17.4	无铅焊料的分类及其特性	
2.18	无源元器件嵌入 (EPD) 和有源元器件嵌入 (EAD)	74
2.18.1	从 MCM 到 SiP, SoC 和 SiP 的对比	
2.18.2	电子元器件内藏 (嵌入) 基板的定义和分类	
2.18.3	无源元器件嵌入	
2.18.4	有源元器件嵌入	
2.19	利用 Boss B ² it 技术进行无源和有源元器件嵌入	76
2.19.1	电子元器件内藏 (嵌入) 技术发展简介	
2.19.2	利用 SIMPACT 技术进行无源器件和有源器件的嵌入	
2.19.3	利用 WABE Package [®] 技术进行无源器件和有源器件的嵌入	
2.19.4	利用 Boss B ² it 技术进行无源器件和有源器件的嵌入	
2.20	半导体封装的设计	78
2.20.1	半导体器件的分类	
2.20.2	对半导体封装的要求	
2.20.3	半导体封装设计中需要考虑的因素	
2.20.4	半导体封装的设计项目	
2.21	电子封装发展路线图	80
2.21.1	印制线路板的发展趋势	
2.21.2	微电子封装的发展经历和开发动向	
2.21.3	LSI 封装的发展动向	
2.21.4	SiP 路线图	
	名词术语和基本概念	
	思考题及练习题	
	参考文献	

第 3 章 平板显示器及相关材料

3.1	平板显示器——被列为战略性新兴产业	84
3.1.1	从布劳恩管 (CRT) 显示器到平板显示器 (FPD)	
3.1.2	透射型直视式液晶显示器的基本结构	
3.1.3	液晶显示器按用途的分类	
3.1.4	直视式液晶显示器的分类	
3.2	液晶分子的 4 个组成部分各有各的用处	86
3.2.1	液晶分子由 4 个部分组成	
3.2.2	向列型液晶和层列型液晶	
3.2.3	胆甾相型液晶分子及其排列	
3.2.4	在电场作用下可改变分子取向的极性基	
3.3	液晶显示器可类比为—个电子窗帘	88
3.3.1	用于液晶显示器的液晶材料的分子结构	
3.3.2	起电子窗帘作用的液晶分子	
3.3.3	液晶显示屏的主要构成部件	
3.3.4	液晶显示器的组装结构	
3.4	液晶显示原理	90
3.4.1	TN 型液晶显示器的工作原理	
3.4.2	用帘子模型说明偏振片的作用	
3.4.3	电场效应双折射控制型液晶显示器的原理	
3.4.4	液晶光闸的两种基本工作模式——常白型和常黑型	
3.5	TFT LCD 的驱动	92
3.5.1	液晶显示器的两种基本驱动方式——无源驱动和有源驱动	
3.5.2	ITO 透明电极及其制作方法	
3.5.3	TFT LCD 的像素阵列	
3.5.4	一个 TFT LCD 亚像素的结构	
3.6	TFT LCD 的图像分辨率和彩色化	94
3.6.1	液晶显示器的图像如何才能更清晰更逼真	
3.6.2	图像分辨率单位 (ppi) 和显示规格	
3.6.3	采用数字电压对像素实施驱动	
3.6.4	彩色显示是如何实现的?	
3.7	TFT LCD 阵列基板 (后基板) 的制作	96
3.7.1	溢流法制作玻璃基板	
3.7.2	玻璃是影响液晶显示器性能的最主要部件之一	
3.7.3	TFT 阵列制作工程	
3.7.4	驱动 TFT LCD 的驱动回路 (驱动 IC)	
3.8	TFT LCD 滤色膜基板 (前基板) 的制作	98
3.8.1	数字电压信号 bit 数、灰阶数与同时显示色数的关系	
3.8.2	滤色滤光片是用哪些步骤制作出来的	
3.8.3	滤色膜制作于阵列之上的液晶模式	
3.8.4	挠性液晶显示器及其结构	
3.9	液晶屏 (盒) 制作	100
3.9.1	TFT LCD 的三大制作工序	
3.9.2	液晶屏 (盒) 的制造及其制作工艺标准流程	
3.9.3	如何使液晶分子取向 (定向排列)	
3.9.4	TFT LCD 的断面构造	
3.10	TFT LCD 模块组装	102
3.10.1	偏光板的断面构造	
3.10.2	液晶模块的组装	
3.10.3	液晶模组中所使用的 TAB 及其连接方式	
3.10.4	利用 ACF 实现液晶屏与驱动 IC 间的连接	

3.11	ITO 透明导电膜	104
3.11.1	ITO 膜为什么具有良好的导电性?	
3.11.2	利用物质中的电子运动模型解释 ITO 膜的导电率	
3.11.3	ITO 膜为什么是透明的?	
3.11.4	简单矩阵驱动的两大问题	
3.12	液晶显示器产业的飞速进展	106
3.12.1	液晶显示技术的 4 个台阶	
3.12.2	玻璃基板的代——液晶显示器产业的世代划分	
3.12.3	液晶显示器的应用商品领域	
3.12.4	薄型显示器的竞争战场	
3.13	液晶电视进入市场的发展历程	108
3.13.1	从笔记本电脑到液晶电视的发展过程	
3.13.2	中国大陆已成为液晶面板生产的主力	
3.13.3	液晶屏的透射率——如何降低液晶电视的功耗	
3.13.4	图像分辨率、画角、观视距离的最佳配合	
3.14	液晶电视的技术突破 (1) ——扩大视角	110
3.14.1	TN 型液晶视角较小的原因	
3.14.2	扩大视角的几种技术	
3.14.3	多畴方式和 MVA 方式	
3.14.4	IPS 方式和 OCB 方式	
3.15	液晶电视的技术突破 (2) ——提高相应速度	112
3.15.1	液晶电视提高响应速度的必要性	
3.15.2	液晶结构的改善——采用 OCB 和新液晶材料 (铁电性液晶) 的开发	
3.15.3	倍频驱动和脉冲驱动	
3.15.4	过调驱动	
3.16	低温多晶硅 (LTPS) 液晶	114
3.16.1	非晶硅、多晶硅、连续晶界硅和单晶硅的对比	
3.16.2	多晶硅 TFT 显示器是如何制造出来的?	
3.16.3	多晶硅 TFT 的结构布置	
3.16.4	正在开发中的玻璃上系统 (system on glass) 液晶	
3.17	铟镓锌氧化物 (IGZO) 液晶	116
3.17.1	铟镓锌氧化物薄膜晶体管驱动出现的背景	
3.17.2	何谓铟镓锌氧化物薄膜晶体管驱动	
3.17.3	铟镓锌氧化物薄膜晶体管驱动的优势	
3.17.4	自整合型顶栅 IGZO TFT	
3.18	液晶投影仪——前投式和背投式	118
3.18.1	透射型液晶投影仪——HTPS	
3.18.2	硅上液晶——LCOS	
3.18.3	常白型和常黑型, 透射型和反射型液晶显示器对比度的比较	
3.18.4	适合高亮度大画面的场时序方式	
3.19	TFT LCD 高质量显示器离不开各种膜层	120
3.19.1	LCD 用光学膜的作用待开发的课题	
3.19.2	偏光板的制作及其光学特性	
3.19.3	光学补偿膜	
3.19.4	防眩 (AG) 膜和防反射 (AR) 膜	
3.20	液晶显示器的背光源	122
3.20.1	液晶显示器按照照明方式的分类	
3.20.2	背光源在液晶显示器中的应用及分类	
3.20.3	CCFL 背光源的组成及结构	
3.20.4	背光模组中各部件的功能、构成及所用材料	
3.21	LED 背光源	124
3.21.1	LED 背光源的采用和液晶电视的技术革新方向	
3.21.2	LED 背光源在中小型显示器中的应用	

3.21.3	直下式和侧置式 LED 背光源	
3.21.4	LED TV 背光源的发展趋势	
3.22	触控屏的原理和分类	126
3.22.1	触控屏 (TP) 及其工作原理	
3.22.2	TP 按位置分类	
3.22.3	TP 按工作原理的分类	
3.22.4	触控屏应具备的特性	
3.23	电阻式触控屏	128
3.23.1	电阻式触控屏的构成及手指输入姿式	
3.23.2	数字式和模拟式电阻膜式触控屏	
3.23.3	模拟式电阻膜触控屏中的一点触控和多点触控检出	
3.23.4	多点触控的应用	
3.24	电容式触控屏	130
3.24.1	电容检出方法	
3.24.2	自电容方式中发生的鬼点现象及其消除	
3.24.3	电容式触控屏的制作工艺	
3.24.4	决定静电电容式触控屏性能的主要参数	
3.25	3D 显示的原理	132
3.25.1	红外线扫描型触控屏和图像认识型触控屏	
3.25.2	超声波表面弹性波方式和声波照合方式触控屏	
3.25.3	3D 显示的原理	
3.25.4	各种 3D 技术优劣势解析	
3.26	采用微柱状透镜膜的 3D 电视	134
3.26.1	裸眼 3D 的实现方式	
3.26.2	透镜膜 3D 电视	
3.26.3	BOM 与 3D 膜的组装	
3.26.4	裸眼 3D 技术的现状分析	
3.27	PDP 的原理如同荧光灯	136
3.27.1	荧光灯、PDP、布劳恩管 (CRT) 发光原理的异同	
3.27.2	PDP 像素的放大图	
3.27.3	PDP 等离子放电的工作原理	
3.27.4	PDP 放电胞的结构示意	
3.28	PDP 等离子电视的构成及各部分的作用	138
3.28.1	PDP 等离子电视的构成	
3.28.2	障壁的构造及其作用	
3.28.3	介电体层及其作用	
3.28.4	透光电极及其作用	
3.29	PDP 的构成材料及功能	140
3.29.1	放电气体的作用	
3.29.2	PDP 用玻璃基板及材料	
3.29.3	不含有机成分玻璃封接剂的优点	
3.29.4	AC 型 PDP 的构成材料及功能	
3.30	PDP 屏制作	142
3.30.1	喷砂法制作障壁	
3.30.2	PDP 荧光体的涂布及烧成	
3.30.3	显示屏制作工程概要	
3.30.4	PDP 电视制作工艺路线	
3.31	PDP 如何减低环境负荷和降低功耗	144
3.31.1	丝网印刷法制作电极	
3.31.2	光刻法制作银电极	
3.31.3	如何降低 PDP 的环境负荷	
3.31.4	PDP 电视为什么由盛变衰?	

名词术语和基本概念
思考题及练习题
参考文献

第 4 章 半导体固体照明及相关材料

4.1	发光二极管简介	148
4.1.1	何谓二极管	
4.1.2	何谓光电二极管	
4.1.3	何谓发光二极管	
4.1.4	发光二极管的发展简史	
4.2	发光二极管的特征	150
4.2.1	间接跃迁型和直接跃迁型发光二极管	
4.2.2	发光二极管的特征	
4.2.3	发光二极管与白炽灯泡的比较	
4.2.4	发光二极管与卤族灯的比较	
4.3	III - V 族化合物半导体 LED 元件	152
4.3.1	激光发光二极管的原理	
4.3.2	LED 的能带结构	
4.3.3	化合物半导体中使用的元素在周期表中的位置	
4.3.4	III - V 族化合物的结构和性能参数	
4.4	蓝光 LED 的实现技术	154
4.4.1	GaN MIS 外延层结构和早期 pn 结 GaN 蓝光 LED 结构	
4.4.2	同质结 GaN 蓝光 LED 结构和双异质结 GaN 蓝光 LED	
4.4.3	单量子阱和多量子阱 LED 元件结构	
4.4.4	采用沟道接触结的 LED 和低电压 InGaN/GaN LED 结构	
4.5	蓝光 LED 中的关键结构——双异质结、缓冲层和量子阱	156
4.5.1	LED 元件中的双异质结、缓冲层	
4.5.2	LED 元件中的量子阱	
4.5.3	DH 结构中的能带结构、载流子浓度分布、电流密度分布的计算实例	
4.5.4	各种不同结构的 LED 示意图	
4.6	制作蓝光 LED 的关键技术	158
4.6.1	III - V 族化合物半导体薄膜的外延	
4.6.2	金属有机化合物化学气相沉积和分子束	
4.6.3	III - V 族化合物半导体的 n 型掺杂和 p 型掺杂	
4.6.4	退火也是关键的一步	
4.7	光的三原色	160
4.7.1	发光色与色度图的关系	
4.7.2	光的三原色和加法混色	
4.7.3	原子的受激发射过程	
4.7.4	视感度曲线——人的眼睛对绿色最为敏感	
4.8	单色 LED 元件结构和发光效率	162
4.8.1	LED 芯片的各种结构	
4.8.2	绿光 LED 和蓝光 LED 涉及的各种技术	
4.8.3	最高效率的红光 LED 的工作模式	
4.8.4	LED 元件各种效率的定义	
4.9	白光 LED 器件结构和发光效率	164
4.9.1	多芯片型和单芯片型白光 LED	
4.9.2	最初的白色 LED 的实现方式	
4.9.3	LED 器件各种效率的定义	
4.9.4	辐射量与测光量间的对应关系	
4.10	白色 LED 光源的实现方式及其特征	166
4.10.1	白色 LED 照明光源的开发历史及进展概略 (1997—2008 年)	

4.10.2	白色 LED 照明光源的实现方式——LED 发光元件与荧光体组合	
4.10.3	实现白色 LED 发光的不同方式及其特征	
4.10.4	几种白色 LED 光源的特性及应用比较	
4.11	白色 LED 的发光效率和色参数	168
4.11.1	白色 LED 的构造和发光效率的构成要素	
4.11.2	InGaN/YAG 白色 LED 的发光色、光谱及显色评价指数 Ra	
4.11.3	CIE 色度学坐标及色组合的实例	
4.11.4	LED 的分光分布实例	
4.12	如何提高白色 LED 光源的色品质	170
4.12.1	眼球构造及视神经细胞	
4.12.2	白色 LED 光源的优点及实现白光 LED 发光的方式	
4.12.3	几种白色光源发光光谱的对比	
4.12.4	几种常用光源的发光原理	
4.13	白色 LED 的指向特性及 LED 的应用	172
4.13.1	炮弹型白色 LED 光源的指向特性	
4.13.2	平面发光型白色 LED 光源的指向特性	
4.13.3	室外用大尺寸高辉度 LED 显示屏	
4.13.4	LED 光照温室用于育秧和植物栽培	
4.14	白色 LED 发光器件相关材料 (1) ——外延基板	174
4.14.1	白光 LED 的结构主要由下列材料及部件构成	
4.14.2	选择外延基板的原则	
4.14.3	泡生法制作蓝宝石单晶	
4.14.4	代表性基板单晶材料的性质	
4.15	白色 LED 发光器件相关材料 (2) ——荧光体	176
4.15.1	白色 LED 用荧光体的开发历程和对荧光体的性能要求	
4.15.2	蓝光激发和近紫外激发白光 LED 用荧光体	
4.15.3	由荧光体造成的能量损失	
4.15.4	蓝光激发发光的荧光体举例	
4.16	白色 LED 发光器件相关材料 (3) ——封装树脂	178
4.16.1	环氧树脂与硅树脂的结构	
4.16.2	硅树脂的缩聚反应	
4.16.3	硅树脂与环氧树脂的比较	
4.16.4	树脂与荧光体混合材料的注入方式	
4.17	白色 LED 发光器件相关材料 (4) ——复合材料散热基板	180
4.17.1	几种典型的 LED 封装结构及散热基板位置	
4.17.2	高热导复合材料中树脂高热导化的必要性	
4.17.3	控制高次结构的热导环氧树脂的开发	
4.17.4	高热导复合材料的开发和应用	
4.18	白色 LED 发光器件相关材料 (5) ——绝缘金属和陶瓷散热基板	182
4.18.1	LED 散热用绝缘金属基板的结构及应用	
4.18.2	采用铜凸块和铜衬底的散热基板	
4.18.3	AlN 散热基板	
4.18.4	HTCC 和 LTCC 散热基板	
4.19	炮弹型 LED 发光器件封装的主要工程	184
4.19.1	LED 芯片的引线键合和倒装片安装工艺	
4.19.2	粘片固晶工艺	
4.19.3	引线键合工艺	
4.19.4	荧光体注入 (涂布) 及透镜形成工艺	
4.20	白光 LED 光源的应用 (1) ——用途和市场	186
4.20.1	白光 LED 迅速扩展的市场和用途	
4.20.2	白光 LED 照明器具高效率化的目标	
4.20.3	白光 LED 照明器具的功能、价格、标准化目标	

4.21	白光 LED 光源的应用 (2) ——TFT LCD 背光源	188
4.21.1	LED 背光源 (BLU) 的应用	
4.21.2	液晶电视背光源的 LED 配置	
4.21.3	侧置式 / 下置式 LED 背光源比较	
4.21.4	TV 用 LED 背光源发展趋势	
4.22	白光 LED 光源的应用 (3) ——照明光源	190
4.22.1	使用 LED 的车载照明部位和种类	
4.22.2	蓝光 LED 激发的拟似白光 LED 照明光源	
4.22.3	近紫外 LED 激发的白光 LED 照明光源	
4.22.4	用溅射法在玻璃基板上制作 LED	
4.23	白光 LED 光源的应用 (4) ——用于普通照明需要进一步的改进	192
4.23.1	白色 LED 照明的特征、商品特性及经济性评价	
4.23.2	蓝光激发和近紫外激发 LED 白色 LED 照明光源的发展预测	
4.23.3	白色 LED 固体照明的主要技术课题	
4.23.4	应该吸取“十城万盏计划”失败的教训	
4.24	OLED 成功发光的关键——采用超薄膜和多层结构	194
4.24.1	关于有机 EL 和 OLED	
4.24.2	“超薄膜”和“多层结构”是 OLED 成功发光的关键	
4.24.3	有机 EL 显示器能否推广普及的关键在于材料	
4.24.4	OLED 显示器难得的发展机遇	
4.25	OLED 的发光原理——载流子注入、复合、激发和发光	196
4.25.1	电子和空穴经跳跃、迁移最终发生复合的过程	
4.25.2	三阶降落发出“荧光”，二阶降落发出“磷光”	
4.25.3	电子自旋方向决定激发状态是单重态还是三重态	
4.25.4	铱 (Ir) 螯合物系磷光物质对应不同波长的发光	
4.26	OLED 的发光效率	198
4.26.1	从空穴与电子复合直到发光的过程	
4.26.2	有机 EL 的发光过程和发光效率	
4.26.3	如何提高发光效率	
4.26.4	有机 EL 的能带模型	
4.27	OLED 用材料 (1) ——荧光材料	200
4.27.1	空穴输运材料的分子结构及玻璃转变温度 (T_g)、离化势 (I_p) 的数值	
4.27.2	用于有机 EL 元件的代表性电子输运材料	
4.27.3	用于有机 EL 元件的荧光性主 (host) 发光材料	
4.27.4	按发光波长给出的代表性客 (guest) 发光材料	
4.28	OLED 用材料 (2) ——磷光材料	202
4.28.1	空穴迁移率与电场强度的关系	
4.28.2	有机 EL 用铱 (Ir) 系金属螯合物磷光发光材料	
4.28.3	PLED 用聚对苯撑乙烯衍生物和聚茚衍生物的分子结构	
4.28.4	荧光实现与磷光同等的发光效率	
4.29	OLED 用材料 (3) ——电极材料	204
4.29.1	小分子系无源矩阵驱动型有机 EL(OLED) 器件的结构	
4.29.2	阳极材料——IZO 与 ITO 的比较	
4.29.3	高分子系有机 EL 的阳极	
4.29.4	阴极材料——透明阴极的发展	
4.30	OLED 的彩色化方式	206
4.30.1	OLED 彩色化方式的比较	
4.30.2	三色独立像素方式 (三色分涂方式)	
4.30.3	彩色滤光片 (CF) 方式	
4.30.4	色变换 (CCM) 方式	
4.31	OLED 的驱动	208
4.31.1	矩阵方式显示器驱动扫描方式的种类	
4.31.2	无源矩阵 (简单矩阵) 驱动方式	

4.31.3	有源矩阵驱动方式	
4.31.4	铟镓锌氧化物 (IGZO) 薄膜晶体管驱动	
4.32	OLED 的制造工艺 (1) —— 制作工艺流程	210
4.32.1	小分子系无源矩阵驱动型全色 OLED 的工艺流程	
4.32.2	工艺流程分解——前处理工程、成膜工程、封装工程	
4.32.3	利用条状阴极障壁兼作掩模制作像素阵列	
4.32.4	利用条状阴极障壁的无源驱动 OLED 元件的像素结构	
4.33	OLED 的制造工艺 (2) —— 蒸镀成膜	212
4.33.1	OLED 元件制作中蒸镀成膜的特殊性	
4.33.2	热壁 (hot wall) 蒸镀法与普通点源蒸镀法的对比	
4.33.3	利用遮挡掩模分涂 RGB 三原色有机色素 (用于 OLED)	
4.33.4	OLED 各种膜层的蒸镀成膜	
4.34	OLED 的制造工艺 (3) —— 量产系统	214
4.34.1	小分子系 OLED 量产系统的一例	
4.34.2	小分子系 OLED 量产制造装置及流程	
4.34.3	小分子系 OLED 量产制造工艺过程	
4.34.4	OLED、PLED——两种材料和结构均不同的有机 EL 器件	
4.35	PLED 的制造工艺 (4) —— 喷墨印刷	216
4.35.1	何谓印刷电子	
4.35.2	旋涂法, 浆料喷射法和凹版印刷法	
4.35.3	PLED 的量产系统	
4.35.4	CNT 与石墨烯对决	
4.36	OLED 的制造工艺 (5) —— OLED 的封装	218
4.36.1	OLED 和 PLED 的工艺流程	
4.36.2	正常发光和黑点缺陷	
4.36.3	封装用金属封装罐的自动供应线	
4.36.4	封装膜封装的成膜工艺和封装方式	
4.37	OLED 的改进——上发光型面板和全色像素	220
4.37.1	OLED 需要开发的技术课题	
4.37.2	上发光型和下发光型面板的对比	
4.37.3	SOLED 的全色像素技术与发光时间控制电路技术	
4.37.4	无源 (被动) 驱动和有源 (主动) 驱动面板产品	
4.38	OLED 将与 LCD 长期共存	222
4.38.1	半导体显示概念的提出	
4.38.2	OLED 的技术发展现状	
4.38.3	OLED 的产业化发展现状	
4.38.4	OLED 将与 LCD 长期共存	
	名词术语和基本概念	
	思考题及练习题	
	参考文献	
彩色插页		225

第 5 章 化学电池及电池材料

5.1	电池的种类及现状	238
5.1.1	化学电池	
5.1.2	物理电池	
5.1.3	生物电池	
5.1.4	实用电池应具备的条件及常用电池的特性	

5.2	电池发展简史 (1) ——从巴格达电池到伏打电池	240
5.2.1	世界最早的电池——制作于陶罐中的巴格达电池	
5.2.2	利用青蛙制作电池? ——伽伐尼的实验	
5.2.3	电池的发明——伏打电池	
5.2.4	电的历史和电池	
5.3	电池发展简史 (2) ——从伏打电池到丹聂耳电池	242
5.3.1	伏打电池的起电原理	
5.3.2	伏打电池的缺点——正极析氢	
5.3.3	克服伏打电池缺点的丹聂耳电池——无隔断的情况分析	
5.3.4	克服伏打电池缺点的丹聂耳电池——采用无孔隙的完全隔断的情况分析	
5.4	电池发展简史 (3) ——从丹聂耳电池到勒克朗谢电池	244
5.4.1	丹聂耳电池的关键——素烧陶隔断中的微孔	
5.4.2	丹聂耳电池的缺点——离子化倾向	
5.4.3	勒克朗谢电池的构造和电池中的反应	
5.4.4	干电池的代表——锰干电池和碱干电池	
5.5	电池四要素和电池的三个基本参量	246
5.5.1	构成电池的四要素	
5.5.2	电池的容量——可取出电 (荷) 的量	
5.5.3	电池的电压——标准电压或额定电压	
5.5.4	电池的电能——电池电压与电荷量的乘积	
5.6	常用一次电池	248
5.6.1	不断进步的干电池	
5.6.2	锰干电池的标准放电曲线	
5.6.3	锂一次电池的结构	
5.6.4	锰氧化物的各种不同晶体结构	
5.7	从一次电池到二次电池	250
5.7.1	二次电池的工作原理	
5.7.2	铅-酸蓄电池 (二次电池) 的结构和充、放电反应	
5.7.3	各种二次电池的特性对比	
5.7.4	二次电池的难点和对其性能的要求	
5.8	二次电池的产业化现状	252
5.8.1	二次电池的产业规模快速增长	
5.8.2	二次电池应用于不同领域的发展势态	
5.8.3	二次电池能量密度的比较	
5.8.4	二次电池的 (放电) 特性比较	
5.9	常用二次电池	254
5.9.1	铅-酸蓄电池	
5.9.2	镍-镉电池	
5.9.3	镍-氢电池	
5.9.4	镍-锌电池	
5.10	其他的二次电池	256
5.10.1	锂-二氧化锰电池	
5.10.2	锂-硫磺电池	
5.10.3	锂-硫化铁电池	
5.10.4	钠-硫磺电池 (NAS 电池)	
5.11	锂离子电池的工作原理	258
5.11.1	各种各样的锂离子电池	
5.11.2	锂离子电池的充-放电反应和工作原理	
5.11.3	锂离子电池的充-放电过程	
5.11.4	锂离子电池的结构及所用材料	
5.12	二次电池的开发方向	260
5.12.1	家电、IT 机器及电动汽车等对二次电池的要求	