

高职高专电子制造类专业规划教材
英特尔公司推荐教材

电子材料

朱宪忠 主编

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



高职高专电子制造类专业规划教材
英特尔公司推荐教材

电子材料

Dianzi Cailiao

	朱宪忠	主编
杨仕清	许雪鸿	副主编
	张国斌	主审



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书较为系统地介绍了各类电子材料的原理、性质、分类、制备和应用等方面的知识。全书共 17 章，大致可分两个模块。第一个模块(第 1 ~ 8 章)为基础知识模块，包括电子材料概论、有机高分子材料、导电材料、电阻材料、电容器材料、磁性材料、厚膜与薄膜工艺材料、元素半导体材料。第二个模块(第 9 ~ 17 章)为工艺材料模块，包括太阳能电池与组件、键合引线与引线框架、焊接材料、电子组装与封装用高分子材料、陶瓷基板材料、PCB 基板材料、LCD 工艺材料、PDP 与 LED 工艺材料、固体激光材料与光导纤维材料。

本书可作为高职高专院校电子电路、半导体、光伏、电子封装与组装、光电子、电子材料与元器件等专业的教材，也可作为相关学科领域的大学生、研究生、教师及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子材料/朱宪忠主编. —北京：高等教育出版社，2011.8

ISBN 978 - 7 - 04 - 032221 - 7

I. ①电… II. ①朱… III. ①电子材料 - 高等职业教育 - 教材
IV. ①TN04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 140961 号

策划编辑	牛旭东	责任编辑	牛旭东	封面设计	张 志	版式设计	余 杨
插图绘制	尹 莉	责任校对	胡美萍	责任印制	尤 静		

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400 - 810 - 0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	大厂益利印刷有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	787mm × 1092mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	21	版 次	2011 年 8 月第 1 版
字 数	510 千字	印 次	2011 年 8 月第 1 次印刷
购书热线	010 - 58581118	定 价	32.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 32221 - 00

序 言

短短的 20 年，消费类电子产品就发展成为继衣食住行后人们生活的必需品。中国在改革开放时恰逢世界电子产品普及的前夜，赶上了电子制造业飞速发展的步伐，一跃成为世界最大的电子产品制造国，电子工业也成为世界第一大工业。

我国对电子制造工程(包括集成电路设计与制造、电子与光电子封装)方面各层次的人才需求非常旺盛，从低级(技工)到高级(博士)各层次的人才需求量都非常大。反观我们的中等和高等教育没有形成培养适应电子工业发展的电子制造工程类专门人才的培养体系，造成了该领域人才奇缺的局面。目前电子制造业招募的大量工程技术人员都是来自材料、机械、物理、自动化等专业的人员，用人单位需要花大力气对其进行进一步培训(养)。

将电子制造与机械制造相类比：涉及机械制造的专业有很多，如机械、铸、锻、焊、热处理、机电一体、工程机械、冶金机械、模具技术、工业设计等；而真正涉及电子制造的专业却没有一个，如果有的话，可能就是微电子专业了。电子制造对人才的需求与机械制造领域培养学生的相对过剩已经形成了非常鲜明的对比。

在欧美国家和日本，大量的机械、电子、物理、冶金、材料等人员均转向电子制造领域。在人才培养上，各专业已经在专业设置上开设了多门电子制造工程方面的专门课程，也形成了很多有影响的教材。现在的中国已经成为世界电子产品制造的基地，但现状是国外研发、中国制造，人才的需求自然具有中国的特色。我们在人才的培养上欠账太多，必须立即起步，大量培养电子制造领域的专科应用型人才和本科及更高层次的研发人才，才能有大量的属于中国的原创电子产品和先进的电子封装形式，真正将这一领域的发展掌握在中国人的手里。

近年来，无论是中央还是地方各级政府，都将加速微电子、光电子、平板显示、光伏太阳能、半导体照明等电子制造业的发展列为发展经济的一项重要工作。新型的电子制造行业不断出现，更加剧了对高素质技能型专门人才的旺盛需求。迫切要求开设光电子技术、平板显示技术、光伏太阳能、汽车电子等新专业，构建电子制造工程专业群，但这些新专业又很难找到合适的教材，严重制约了专业的发展和人才培养质量的提高。

为此，2009 年 11 月，高等教育出版社联合英特尔(中国)有限公司在南京召开了“高职高专电子制造工程专业教学研讨与教材组稿会”。此次会上组建了高职高专电子制造类专业规划教材编写组，确定了近 20 本教材，基本涵盖电子制造工程专业群各专业教材需求。在英特尔公司的大力支持和国内多所业内知名高职高专院校的通力合作下，在各位作者的辛勤努力下，高职高专电子制造类专业规划教材即将由高等教育出版社出版。这是我国高职高专电子制造工程专业群教育史上的一个划时代的事件，标志着我们构建了一个面向电子制造工业的全新和完整的高职高专电子制造工程人才培养体系。

随着电子制造工程专业群各专业选用本丛书系列教材，定会为我国乃至世界的电子制造业培养大量优秀的高素质技能型专门人才。这套教材丛书的出版也能够为正在从事电子制造领域的科技工作者以及工业界的朋友提供一个系列参考书。

华中科技大学教授 博士生导师
武汉光电国家实验室教授
北京理工大学兼职教授



2010年8月27日

前 言

近年来,我国的电子、微电子、太阳能光伏和光电子等产业发展迅猛。据不完全统计,2010年全国数百家印制电路制造的企业中产值在亿元以上的超过100家,全行业产值已逾1 000亿元;2010年我国集成电路市场增速达29.5%,实现销售额7 300亿元;太阳能光伏产业规模占全球之首,2010年光伏产量为8GW,已占全球总量的50%,数十家光伏企业在海内外上市,行业年产值超过3 000亿元;作为光电子技术产品的代表TFT-LCD的产业得到快速发展,已建、在建及近期计划建设的TFT-LCD面板生产线约有20条,最近2-3年国内在TFT-LCD生产线上的投资将超过2 000亿元,2013年我国LCD面板产能将接近5 000万块;2010年我国半导体照明产值为1 200亿,未来五年将翻两番;电子元器件产业仍然保持快速增长的趋势。

为了适应这一形势的发展,近年来众多高职高专院校纷纷扩大了相关专业的办学规模,包括印制电路板(PCB)设计与工艺专业、光电子技术专业、微电子技术专业、太阳能光伏(PV)发电与应用技术专业、表面组装技术(SMT)专业及电子元器件制造专业等。这些专业的毕业生主要面向相关产品的设计、制造、测试、生产管理、技术和服务等岗位。

电子材料是电子、微电子、太阳能光伏和光电子产品中使用的材料,包括导电材料、电阻材料、电介质材料、磁性材料、半导体材料和光电子材料等各种功能性与结构性材料,广泛应用于电信电缆、电子元器件、集成电路、太阳能光伏电池、印制电路板、显示器件、激光器及光纤等产品,是制造这些产品的物质基础。

电子、微电子、太阳能光伏和光电子等制造类专业的学生,应当掌握各类常用电子材料的基础理论、重要性质、主要类型、制备方法、使用方法与典型应用。只有这样,才能在实际工作中,正确识别电子材料的类型、材质,准确评价电子材料的性能质量,明白电子材料在具体元器件制造中所起的作用,知道电子材料的使用方法,能够根据目标产品的种类及性能要求正确选用电子材料及制造工艺,当工艺过程或产品质量出现问题时能够利用所学的材料知识进行分析与处理,以适应就业岗位的要求。

目前已出现许多有关电子材料方面的优秀教材。但令人遗憾的是,其中大多为本科教材,仅有的少数高职教材中本科痕迹依然较深。这些教材内容往往涉及很深的理论,包含了大量而复杂的公式推导,对于没有系统学习固体物理、量子力学等课程、没有较强数学功底的高职高专学生来说学起来非常吃力;教材结构大多是按照材料物理性质依次编排的,当介绍某类材料时会涉及诸多方面的应用,高职高专学生学习时,难以把握;当涉及某类材料的具体应用时,介绍的内容又不详细,未结合具体的产品工艺,未面向就业岗位。教材涉及的知识难度大,实用性、针对性欠缺,这在很大程度上影响了高职高专学生对电子材料知识的学习兴趣,影响了相关院校对这门课程的开设。

在近两年的时间里,本书编写组走访了多个现代化企业,主动征求企业对教材建设的建议,仔细分析了相关岗位涉及电子材料知识的内容与层次,并认真加以梳理,形成了本书的框

架结构与基本内容。编写组还深入分析了高职高专学生的情况,以力图恰当把握教材内容的深度。

本书结构可大致分为两个模块。第一个模块是基础模块,包括电子材料概论、有机高分子材料、导电材料、电阻材料、电容器材料、磁性材料、厚膜与薄膜工艺材料、元素半导体材料,属于常用元件制程中涉及的电子材料。该模块强调基础性,内容浅显易懂,作为学生学习电子材料的入门知识,为第二模块的学习打下良好基础。同时,通过该模块的学习,学生可理解电子材料在导电线缆、电阻器、电容器、磁性元件、半导体元件中的应用,满足电子元器件岗位对电子材料知识的要求。第二个模块是工艺材料模块,包括太阳能电池与组件、键合引线、引线框架、焊接材料、电子组装与封装用高分子材料、陶瓷基板材料、PCB 基板材料、LCD 工艺材料、PDP 与 LED 工艺材料、固体激光材料与光导纤维材料。这一模块基本上以太阳能、电池与组件产品、封装与组装产品、LCD 与 PDP 显示屏、LED 产品及激光与光纤产品的制造工艺为线索来展开,强调电子材料知识与相关岗位的紧密结合。本书内容除了部分采用编者在多年教学工作中积累的资料外,注重引入企业提供的最新技术资料及近年来发表的有关文献资料。通过两个模块的设计及内容的组织,力图体现教材的基础性、应用性、时代性,力图遵循学生的认知规律,力图符合行业企业需求。

成都职业技术学院杨仕清编写了第 1、6 和 9 章(除 9.3 节),并协助全书的统稿工作;成都电子机械高等专科学校杨艳编写了第 2、8(8.1、8.2 节)和 12 章;南京信息职业技术学院王永编写了第 16 和 17 章;成都医学院张婷编写了第 5、13 和 14 章的大部分内容;南京飞浦电子材料有限公司朱玉兴编写了第 10 章;南京依利安达电子有限公司许雪鸿编写了 14.1、14.2.4、14.2.5 节的内容,并主要参与了全书的结构设计、校对等工作;南京信息职业技术学院朱宪忠编写了第 3、4、7、11 和 15 章的全部内容以及第 8.3、8.4、8.5、9.3、13.3.3、13.3.4、13.3.5 节的内容,并对全书进行了统稿。全书由朱宪忠任主编,杨仕清、许雪鸿任副主编。

本书由中国科技大学张国斌研究员主审,在本书的编写过程中得到了 Intel(中国)有限公司、中电电气(南京)光伏有限公司、中电电气太阳能研究院、中国计量学院光电学院、东南大学能源与环境学院、浙江湖州晶能荧光材料有限公司、常州市卓群纳米新材料有限公司、南京飞浦电子材料有限公司、南京依利安达电子有限公司以及高等教育出版社的大力支持,他们为本书的结构设计、资料收集、现场参观、岗位培训等方面提供了帮助,在此对他们深表感谢。

编写本书引用的参考资料众多,限于篇幅,未能一一列出,在此向所有原作者致敬。

由于编者学识与经验所限,书中疏漏、错误之处在所难免,敬请同行与读者批评指正。

编 者

2011 年 5 月

目 录

第1章 电子材料概论	1	2.4.9 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (涤纶,PET)	35
1.1 电子材料的分类与特点	1	2.4.10 聚碳酸酯(PC)	35
1.2 无机电子材料	2	2.4.11 聚砜(PSF)	36
1.2.1 晶体	2	2.4.12 ABS塑料	37
1.2.2 非晶体	10	2.4.13 聚酰亚胺(PI)	37
1.3 有机电子材料	12	思考题	39
1.3.1 有机材料的分类	12	第3章 导电材料	40
1.3.2 高分子材料	13	3.1 导电材料基本性质	40
1.4 电子材料对环境的要求	14	3.2 常用金属导电材料	41
1.5 电子材料的选用原则	14	3.2.1 铜与铜合金	41
思考题	15	3.2.2 铝与铝合金	45
第2章 有机高分子材料	16	3.2.3 其他纯金属导电材料	48
2.1 高分子化合物的概念及分类	16	3.3 复合金属导体与引出线	49
2.1.1 高分子化合物的概念	16	3.3.1 复合金属导体	49
2.1.2 高分子化合物的分类	17	3.3.2 引出线	50
2.1.3 高分子链的形态	20	3.4 常用导线	51
2.2 高分子化合物的性能	21	3.4.1 导线的分类与构成	51
2.2.1 电学性能	21	3.4.2 安装导线、屏蔽线	51
2.2.2 热性能	23	3.4.3 电磁线	54
2.2.3 机械性能	24	3.4.4 带状电缆(计算机排线)	55
2.2.4 化学性能	24	3.4.5 电源软导线	55
2.2.5 抗生物特性	25	3.4.6 同轴电缆与高频馈线	56
2.3 有机高分子化合物的聚合方法	25	3.4.7 高压电缆	56
2.4 典型的有机高分子材料	26	3.4.8 双绞线	56
2.4.1 酚醛树脂	26	3.5 触点材料	56
2.4.2 环氧树脂	27	3.5.1 触点材料的作用	56
2.4.3 聚乙烯(PE)	28	3.5.2 电接触现象	56
2.4.4 聚苯乙烯(PS)	29	3.5.3 常见电触点材料	58
2.4.5 聚丙烯(PP)	30	3.6 熔断器的熔体材料	59
2.4.6 聚四氟乙烯(PTEF)	31	思考题	60
2.4.7 聚氯乙烯(PVC)	33	第4章 电阻材料	61
2.4.8 聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)	34	4.1 电阻材料的基本性能	61

4.2 常用的电阻材料	65	6.3.2 永磁铁氧体材料	97
4.2.1 线绕电阻材料	65	6.4 磁记录材料	98
4.2.2 合金箔电阻材料	66	6.4.1 传统的磁记录介质	98
4.2.3 实心电阻材料	67	6.4.2 新型的磁记录介质	100
4.3 常用电阻器	68	6.5 微波磁性材料	101
4.3.1 固定电阻器	68	6.5.1 旋磁材料	101
4.3.2 电位器	70	6.5.2 微波吸收材料	102
4.3.3 半可调电阻器	71	6.6 磁流变液智能材料	103
4.3.4 敏感电阻器	71	6.6.1 磁流变液的组成	104
4.3.5 熔断电阻器	71	6.6.2 磁流变液的应用	104
思考题	72	6.7 厚膜磁性材料	106
第5章 电容器材料	73	6.7.1 永磁厚膜	106
5.1 电容器的工作原理与特性参数 ..	73	6.7.2 磁致伸缩厚膜	106
5.1.1 电容器的工作原理	73	6.7.3 微波铁氧体厚膜	107
5.1.2 电容器主要特性参数	74	6.8 电感元件简介	107
5.1.3 电容器的分类	75	6.8.1 电感线圈	107
5.2 电容器介质材料	76	6.8.2 变压器	108
5.2.1 电容器介质材料的要求	76	思考题	109
5.2.2 纸电介质材料	76	第7章 厚膜与薄膜工艺材料	110
5.2.3 有机薄膜电容器介质材料 ..	77	7.1 厚膜工艺	111
5.2.4 电解电容器介质	79	7.2 厚膜材料	113
5.2.5 陶瓷电容器介质	81	7.2.1 厚膜导电材料	114
5.3 电容器电极材料	85	7.2.2 厚膜电阻材料	115
5.4 常用电容器	86	7.2.3 厚膜电介质材料	118
5.4.1 电容器的分类	86	7.2.4 黏结材料	118
5.4.2 电容器的型号与容量标示 ..	86	7.2.5 有机载体	119
5.4.3 电容器的合理选用	87	7.2.6 厚膜浆料的制备与性能 参数	120
思考题	87	7.2.7 独石电容器及其瓷介	121
第6章 磁性材料	89	7.2.8 共烧陶瓷用厚膜浆料	121
6.1 材料磁性的分类及表征	89	7.3 薄膜工艺	122
6.1.1 材料磁性的分类	89	7.4 薄膜材料	124
6.1.2 磁性材料的表征	90	7.4.1 薄膜导电材料	124
6.2 软磁材料	92	7.4.2 薄膜电阻材料	128
6.2.1 铁基软磁合金材料	93	7.4.3 薄膜电介质材料	131
6.2.2 非晶态及纳米晶软磁合金 ..	94	7.4.4 磁性薄膜材料	131
6.2.3 铁氧体软磁材料	95	思考题	131
6.3 永磁材料	95	第8章 元素半导体材料	133
6.3.1 永磁合金材料	95		

8.1 半导体硅的物理化学性质·····	133	9.2.4 结晶硅太阳能电池片(与组件) 的电性能·····	171
8.1.1 硅的基本性质·····	133	9.3 非晶硅薄膜电池·····	172
8.1.2 半导体硅的晶体结构·····	133	9.3.1 非晶硅电池的结构与特点···	173
8.1.3 半导体硅的电学性质·····	136	9.3.2 非晶硅电池制造工艺·····	176
8.1.4 半导体硅的PN结特性·····	136	9.3.3 非晶硅电池封装工艺·····	178
8.1.5 硅的化学性质·····	138	思考题·····	179
8.1.6 硅的光学性质·····	139	第10章 键合引线与引线框架 ·····	180
8.1.7 硅的力学性质·····	139	10.1 半导体键合引线·····	180
8.1.8 硅的热学性质·····	140	10.1.1 键合的作用及基本要求···	180
8.2 多晶硅的制备·····	140	10.1.2 键合工艺与键合引线·····	181
8.2.1 多晶硅的纯度要求·····	140	10.1.3 键合引线的质量要求·····	183
8.2.2 三氯氢硅氢还原法·····	141	10.1.4 键合引线的选用·····	183
8.2.3 硅烷热分解法·····	144	10.2 半导体封装用引线框架·····	184
8.3 单晶硅(锭)的制造·····	145	10.2.1 引线框架的作用·····	184
8.3.1 单晶硅(锭)制造的 一般过程·····	145	10.2.2 引线框架的类型·····	184
8.3.2 CZ法·····	145	10.2.3 引线框架的基本要求·····	184
8.3.3 无坩埚悬浮区熔法·····	151	10.2.4 引线框架的验收·····	186
8.4 晶圆的制造·····	152	思考题·····	186
8.4.1 晶圆制造工艺流程·····	152	第11章 焊接材料 ·····	188
8.4.2 制造晶圆的关键工序·····	153	11.1 焊料·····	188
8.5 PN结二极管制作工艺简介·····	157	11.1.1 焊料的基本要求·····	188
8.5.1 氧化·····	157	11.1.2 焊料的分类·····	189
8.5.2 开窗·····	157	11.1.3 锡铅焊料·····	189
8.5.3 扩散·····	159	11.2 焊剂·····	191
8.5.4 接触与互连·····	159	11.2.1 焊剂的作用·····	191
思考题·····	160	11.2.2 焊剂的分类·····	192
第9章 太阳能电池与组件 ·····	161	11.3 焊膏·····	193
9.1 太阳能电池的结构、工作原理 及其分类·····	161	11.3.1 焊膏的作用与要求·····	193
9.1.1 太阳能电池的基本结构与 工作原理·····	161	11.3.2 焊膏的分类与组成·····	194
9.1.2 太阳能电池的分类·····	162	11.3.3 焊膏的主要性能·····	196
9.2 结晶硅太阳能电池及组件·····	162	11.3.4 焊膏的选择、储存与 使用·····	197
9.2.1 单晶硅片与多晶硅片·····	162	11.4 无铅焊料·····	198
9.2.2 结晶硅单体电池的制造·····	163	思考题·····	199
9.2.3 结晶硅太阳能电池组件的 封装·····	169	第12章 电子组装与封装用高分子 材料 ·····	200
		12.1 电子封装与组装对高分子材料	

的要求	200	比较	232
12.2 环氧塑封料	201	14.1.4 铜箔的分类与标志	232
12.2.1 环氧塑封料的性能要求	201	14.1.5 铜箔的技术指标	235
12.2.2 环氧塑封料的组成	202	14.2 覆铜板	238
12.2.3 环氧塑封料的使用	204	14.2.1 增强层	238
12.3 电子封装用聚酰亚胺树脂	204	14.2.2 树脂	239
12.4 贴片胶	206	14.2.3 层压板的制造方法	241
12.4.1 贴片胶的作用	206	14.2.4 层压板(与黏结片)的分类 与标志	242
12.4.2 贴片胶的性能要求	206	14.2.5 层压板与黏结片的技术 指标	244
12.4.3 贴片胶分类与组成	207	14.3 挠性基材	251
12.4.4 贴片胶的涂布	209	思考题	251
12.4.5 环氧胶在芯片塑封中 的应用	210	第15章 LCD 工艺材料	252
12.5 导电胶	212	15.1 液晶材料	252
12.5.1 导电胶的作用	212	15.1.1 液晶的概念	252
12.5.2 导电胶的分类与组成	212	15.1.2 液晶的分类	253
12.5.3 导电胶的导电机理	214	15.1.3 液晶的主要物理性质	256
12.6 导热胶	215	15.1.4 液晶的化学结构	258
思考题	215	15.1.5 LCD 显示原理	259
第13章 陶瓷基板材料	216	15.1.6 混合液晶的配制与使用	262
13.1 陶瓷的分类	216	15.2 液晶盒工艺材料	264
13.2 陶瓷基板的性能	217	15.2.1 玻璃基板	264
13.2.1 陶瓷基板的电性能	217	15.2.2 彩色滤光片(CF)	268
13.2.2 陶瓷基板的热性能	217	15.2.3 保护层	272
13.2.3 陶瓷基板的力学性能	217	15.2.4 配向膜	272
13.2.4 陶瓷的表面性能	219	15.2.5 框胶	273
13.3 典型的陶瓷基板材料	219	15.2.6 导电胶	274
13.3.1 滑石瓷	219	15.2.7 光刻胶	275
13.3.2 氧化铝陶瓷	220	15.2.8 偏光片	276
13.3.3 氮化铝陶瓷	223	15.3 背光模组材料	278
13.3.4 氧化铍陶瓷	226	15.3.1 发光源	279
13.3.5 金刚石	227	15.3.2 反射板	281
思考题	229	15.3.3 导光板	283
第14章 PCB 基板材料	230	15.3.4 扩散膜	283
14.1 铜箔	230	15.3.5 棱镜片及其他增亮膜	284
14.1.1 电解铜箔的制造方法	230	思考题	286
14.1.2 压延铜箔制造方法	232	第16章 PDP 与 LED 工艺材料	287
14.1.3 电解铜箔与压延铜箔的			

16.1	PDP 工艺材料	287
16.1.1	PDP 屏的结构与制造工艺 简介	287
16.1.2	PDP 用荧光粉	288
16.1.3	电极材料	289
16.1.4	介质浆料	291
16.1.5	障壁浆料	291
16.1.6	惰性气体	292
16.2	LED 工艺材料	292
16.2.1	LED 的结构与封装	293
16.2.2	LED 的分类	296
16.2.3	LED 的主要技术参数	297
16.2.4	LED 芯片的发光原理	299
16.2.5	LED 衬底材料及外延 材料	300
16.2.6	白光 LED 及相关材料	304
	思考题	306

第 17 章	固体激光材料与光导纤维	
	材料	307
17.1	固体激光材料	307
17.1.1	激光基本原理	307
17.1.2	激光器的分类	308
17.1.3	激光晶体的性能要求	309
17.1.4	典型的激光材料	310
17.1.5	激光微型投影仪简介	311
17.2	光导纤维材料	312
17.2.1	光纤的结构与原理	312
17.2.2	光纤的特性参数	314
17.2.3	光纤的种类	315
17.2.4	典型的光纤材料	316
17.2.5	光纤的制备工艺	317
	思考题	320
	参考文献	321

第1章 电子材料概论

学习目标

1. 了解电子材料的定义与分类方法。
2. 理解晶体的基本特征，单晶、多晶、非晶态的区别，晶体结构中的有关基本概念。掌握立方晶系中晶向指数、晶面指数的标注方法。理解晶体中化学键与性能的相互关系。了解晶体中的几种缺陷。
3. 了解有机电子材料的分类方法。
4. 了解电子材料应用中应当考虑的环境因素。
5. 了解电子材料的选用原则。

电子材料是制作电子元器件和集成电路的基础，是获得高性能、高可靠性电子元器件和系统的保证。电子材料除用于制作电子元器件与集成电路外，还广泛应用于印制电路板和微线板、封装用材料、元器件与整机、电信电缆与光纤、各种电池组件、显示器及各种控制和显示仪表等。本章就电子材料的分类与特点、无机电子材料、有机电子材料、电子材料对环境的要求、电子材料的选用原则等内容作概括性介绍。

1.1 电子材料的分类与特点

电子产品已经渗透到生产、生活、科研、国防等各个方面，其种类繁多，所需的直接材料和配套材料数以万计。目前，世界各国和不同的科学家按照不同的角度对电子材料进行了分类。本节按照目前通用方法对电子材料进行分类。

1. 按电子材料的用途分类

从应用的角度，通常将电子材料分为电子结构材料和电子功能材料两大类。其中，电子结构材料是指能承受一定的压力和重力，并能保持尺寸和大部分力学性质(强度、硬度及韧性等)稳定的一类材料。电子结构材料通常在电子元器件中用于制作外壳、基片、框架、散热片及加固和包封等。

电子功能材料是指除强度性能外，还有其他特殊功能，如能实现光、电、磁、热、力等不同形式的交互作用和转换的非结构材料，即在应用中利用的主要是其功能而不是其机械力学性能。例如，太阳能电池具有将太阳能(光能、热能)转换为电能的功能。一般来说，功能材料对外界环境有灵敏的反应能力，即对外界的电、光、磁、热、压力、气体环境等各种刺激，可以有选择性地做出反应，然后配以必要的连接，从而实现各种形态能量的相互转换。

2. 按电子材料的物理性质和应用领域分类

根据材料的物理性质,可将电子材料分为绝缘材料、半导体材料、导电材料、超导材料、铁电材料、磁性材料、光伏材料和敏感材料等。根据电子材料在制作元器件和集成电路上的应用,又可分为半导体材料(锗、硅、砷化镓等制作半导体器件与集成电路的材料)、铁电材料、热电材料、光电材料、压电材料、电声材料等。

3. 按电子材料的化学组成分类

按化学组成分类,可以将电子材料分为无机电子材料和有机电子材料两大类。无机材料又可分为以金属键结合为主的金属材料及以离子键和共价键结合为主的非金属材料。有机电子材料是指由碳、氢、氧、氮、氟等组成的有机高分子材料,其主要由共价键和离子键结合而成。

4. 按电子材料的物质状态分类

按材料的物质状态分,可将电子材料分为单晶材料、多晶材料、非晶态材料和复合材料等。

本书着重介绍电子元器件产品中各种常用的电子材料,并根据材料物理性质和应用领域的不同,按有机材料、导电材料、电阻材料、电容器材料、陶瓷材料、磁性材料、半导体材料、光伏组件材料、键合材料、焊接材料、封装材料等几大部分分别进行讨论。

1.2 无机电子材料

无机电子材料大部分是由原子或小分子组成的固态材料。通常可根据组成固体的原子、离子或分子在空间的排列是否具有周期性和对称性,将它们分为晶体和非晶体两大类。

1.2.1 晶体

1. 晶体的特征

(1) 晶体有规则的外形(自范性)与解理性

自然界的许多晶体具有规则的外形(如天然金刚石、食盐、水晶等),但并不是所有晶体的外形都是规则的,这与晶体的形成条件有关。晶体往往呈现沿某些面劈裂的解理面,即具有解理性,如图1-1所示。

(2) 晶体中原子排列具有周期性与对称性

在晶体中,原子或分子在三维空间作有规则的重复排列,具有周期性与对称性,这是晶体与非晶体的根本区别。

(3) 晶体具有固定的熔点

晶体与液体的互变具有突变性,有一定的凝固点或熔点。而非晶体从液态到非晶态固体的转变是逐渐过渡的,没有明显的凝固点(反之亦然,无明显的熔点),所以固态的非晶体实际上是一种过冷状态的液体,只是其物理性质不同于通常的液体而已。

(4) 晶体具有各向异性

晶体沿不同方向所测得的性能往往不同(如导电性、导热性、弹性、强度等),这种现象被称为各向异性。非晶体则是各向同性的。晶体的各向异性是因其原子的规则排列而造成的。

由一个核心(称为晶核)生长而成的晶体称为单晶体。在单晶体中,原子都是按同一取向

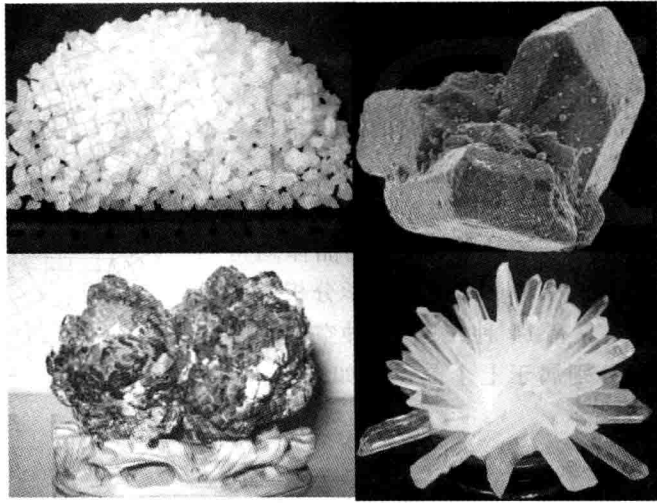


图 1-1 各类常见的晶体：分别为食盐、红糖、矿石、水晶晶体

排列的(如金刚石、水晶及人工拉制的单晶硅等)。但是大多数晶体如金属材料等通常是由许多不同位向的小晶体所组成,称为多晶体。这些小晶体往往呈颗粒状,不具有规则的外形,故称为晶粒。晶粒与晶粒之间的界面称为晶界,如图 1-2 所示为工业纯铁的显微组织,可看到晶粒和晶界。虽然每个晶粒具有各向异性,如图 1-3 所示,但由于整块金属的性能是它们性能的平均值,因此多晶体仍表现为各向同性。

2. 晶体结构的基本概念

如前所述,所谓晶体是指其内部原子(分子或离子)在三维空间作有规则的周期性重复排列的物体。晶体中原子(分子或离子)在空间的具体排列方式称为晶体结构(crystal structure)。材料的许多特性都与晶体中原子(分子或离子)的排列方式有关,因此分析材料的晶体结构是理解材料性质的一个重要方面。

(1) 点阵、结点、晶格

把晶体中的原子或分子等抽象为规则排列于空间的几何点,即可得到一个由无数几何点在三维空间排列而成的规则的阵列,这种阵列称为空间点阵,这些几何点称为结点。用一系列平行线将阵点连接起来,形成一个三维的空间格架,称为晶格(如图 1-4(a)、(b)所示分别为晶体、晶格示意图)。

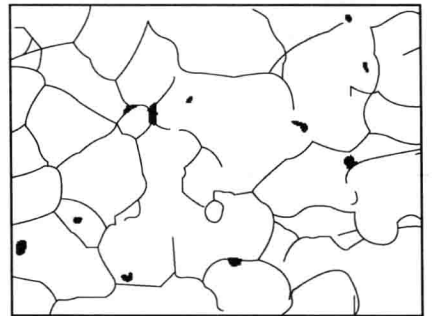


图 1-2 工业纯铁的显微组织

(2) 晶胞

为了方便,可以从晶格中选取一个能够完全反映晶格特征的最小几何单元来研究晶体结构,这个最小的几何单元称为晶胞,如图 1-4(c)所示。为了描述单位晶胞的大小和形状,以单位晶胞角上的某一阵点为原点,以该单位晶胞上过原点的三个棱边为三个坐标轴 X 、 Y 、 Z (称为晶轴),则单位晶胞的大小和形状就由这三条棱边的长度 a 、 b 、 c [称为晶格常数或点阵

常数 (lattice constant)] 及棱边夹角 α 、 β 、 γ (称为轴间夹角) 六个参数完全表达出来。

(3) 晶系、布拉维点阵

自然界中的晶体有成千上万种, 它们的晶体结构各不相同。考虑到晶胞的 a 、 b 、 c 是否相等, α 、 β 、 γ 是否相等以及它们是否呈直角等方面的特征, 可以将晶体划分成七种类型即七个晶系 (crystal system), 所有的晶体均可归纳在这七个晶系中。布拉维 (A. Bravais) 用数学分析方法证明晶体中的阵点排列方式只有 14 种, 这 14 种空间点阵就称为布拉维点阵, 它们分别属于七个晶系, 如表 1-1 所示, 其示意图如图 1-5 所示。

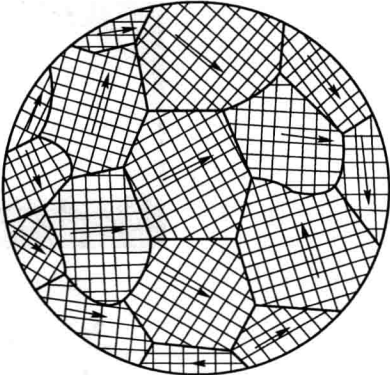


图 1-3 各晶粒位向示意图

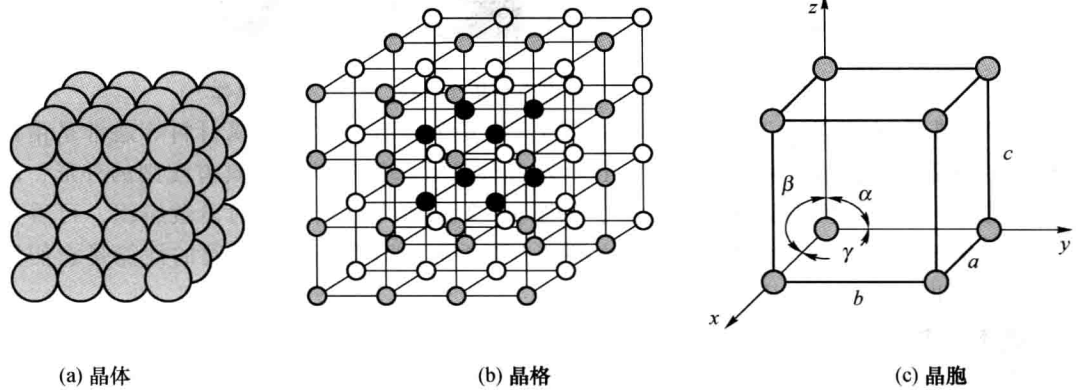


图 1-4 晶体、晶格、晶胞示意图

表 1-1 布拉维点阵与七个晶系

布拉维点阵	晶 系	棱边长度及夹角关系
简单三斜	三斜	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
简单单斜	单斜	$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
底心单斜		
简单正交	正交	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
底心正交		
体心正交		
面心正交		
简单六方	六方	$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
菱形 (三角)	菱方	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
简单四方	四方	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
体心四方		

续表

布拉维点阵	晶 系	棱边长度及夹角关系
简单立方	立方	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
体心立方		
面心立方		

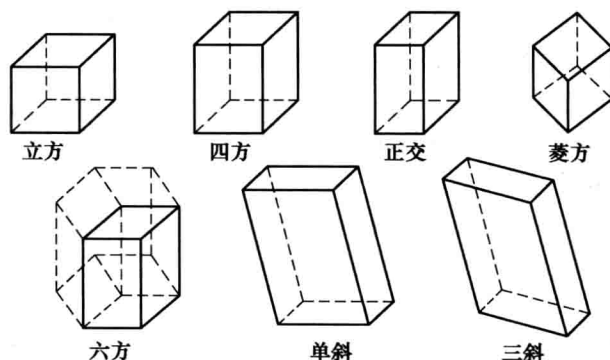


图 1-5 七个晶系的示意图

(4) 晶列、晶向

通过任何两个格点连一直线，这样的直线称为晶列，如图 1-6 所示。任一晶列包含无限多个相同的格点，且格点的分布具有周期性。通过一个格点可以得到无限多个晶列，其中每一晶列都有一族完全相同的平行晶列。

在晶体中，任意两个格点之间连线所指的方向称为晶向，用晶向指数表示。确定晶向指数的步骤如下：

① 以单位晶胞的某一阵点为原点，过原点的晶轴为坐标轴，以单位晶胞的边长作为坐标轴的长度单位。

② 如图 1-7 所示，过原点 O 作一直线 OP ，使其平行于待定晶向 AB 。

③ 在直线 OP 上选取距原点 O 最近的一个阵点 P ，确定 P 点的三个坐标值。

④ 将这三个坐标值化为最小整数 u, v, w ，加上方括号， $[uvw]$ 即为待定晶向的晶向指数。如果 u, v, w 中某一数为负值，则将负号记于该数的上方。

显然，晶向指数表示着所有相互平行、方向一致的晶向。若晶体中两晶向相互平行但方向相反，则晶向指数中的数字相同，符号相反。晶体中原子排列情况相同的一组晶向称为晶向族，用 $\langle uvw \rangle$ 表示。

(5) 晶面、晶面指数

在晶体中，由一系列原子所构成的平面称为晶面 (lattice plane)，用晶面指数表示其方向。

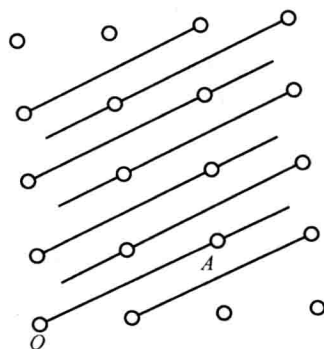


图 1-6 晶列的示意图