



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

光学工程

Optical Machinery Fundamentals
Optical Materials and Processing Technics

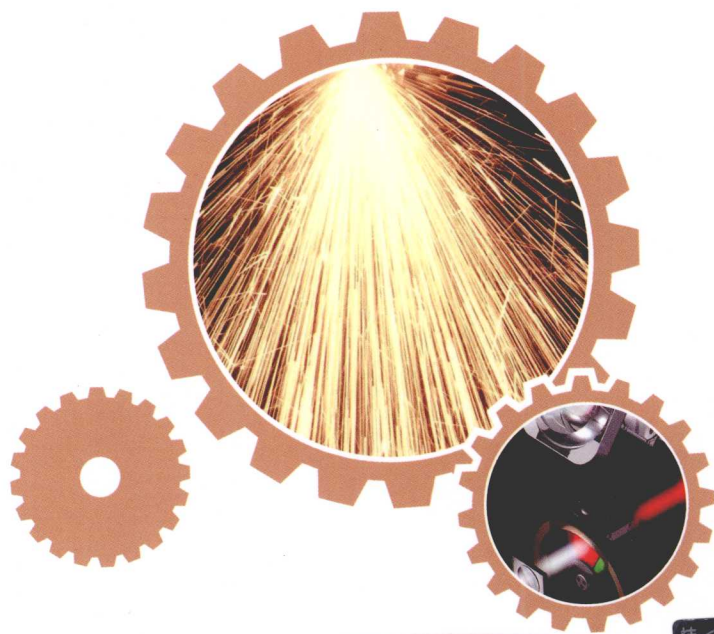
光学机械基础

(第2版)

光学材料及其加工工艺

崔建英 编著

Cui Jianying



清华大学出版社



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Optical Machinery Fundamentals
Optical Materials and Processing Technics

光学机械基础

(第2版)

光学材料及其加工工艺

崔建英 编著

Cui Jianying

清华大学出版社

TH 74-43
01-2

内 容 简 介

本书是光学类专业学生学习光学系统设计和制造有关基础知识和基本理论的教材。

本书主要内容包括：工程材料导论，包括工程材料及其发展、材料科学基础、功能材料简介、工程材料的加工、工程材料的失效分析和工程材料的选用原则；光学系统中常用的光学玻璃、光学晶体和光学塑料等光介质材料及光学薄膜的概念、种类、性能特点及其应用；构成光学系统的机械结构材料如金属材料、陶瓷、高分子材料、复合材料等四大类机械结构材料的种类、性能特点及其应用；机械结构零件常用的和最新的加工工艺方法、工艺特点、可以达到的精度及应用，包括传统加工方法、特种加工方法及最新精密和超精密加工方法等，并为介绍光学零件的加工工艺打下基础；适用于光学零件加工的传统和最新加工工艺方法、工艺特点及应用，包括光学玻璃零件的热成型和冷加工、光学晶体零件的定向和冷加工、光学塑料零件的热成型、非球面光学零件的加工工艺、光学薄膜的镀膜工艺、光学零件的数控精密加工工艺及光学零件表面的超精密研磨抛光新方法等。

本书可作为高等学校光信息科学与技术、光学、光学工程、光通信、光电检测技术、精密计量及检测技术、仪器仪表类、测控技术与仪表及其他相近专业的教材，也可作为从事光学、光电检测、仪器仪表及精密计量等领域工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

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

光学机械基础：光学材料及其加工工艺/崔建英编著. —2版. —北京：清华大学出版社，2014
高等学校电子信息类专业系列教材
ISBN 978-7-302-35119-1

I. ①光… II. ①崔… III. ①光学材料—高等学校—教材 ②光学零件—加工—高等学校—教材
IV. ①TB34 ②TH740.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 009864 号

责任编辑：盛东亮

封面设计：李召霞

责任校对：白 蕾

责任印制：王静怡

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

课 件 下 载：<http://www.tup.com.cn>，010-62795954

印 装 者：三河市金元印装有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：19 字 数：457千字

版 次：2008年4月第1版 2014年8月第2版 印 次：2014年8月第1次印刷

印 数：1~2000

定 价：39.00元

高等学校电子信息类专业系列教材

一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科技大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

一 编审委员会

主任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委员	王志华	清华大学	宋梅	北京邮电大学
	韩焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	谢凯年	赛灵思公司
	刘铁根	天津大学	张伟刚	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	宋峰	南开大学
	苑立波	哈尔滨工程大学	靳伟	香港理工大学
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

本书是光学类专业学生学习光学系统设计和制造有关基础知识和基本理论的教材。本书的特点可概括为：针对学生普遍存在材料和制造基础知识薄弱的问题，在深入介绍光学材料及其零件制造工艺的基础上，增加了在光学系统中常用的机械结构材料及其零件制造工艺的内容。通过本书的学习，力求使学生能够对光学系统的理解更加深入；通过对光学材料和机械结构材料的介绍，使学生不仅对光学材料有全面的认识，还对光学系统中常用的机械结构材料有一个全面的了解；通过对光学零件制造工艺和光学结构零件制造工艺的介绍，使学生对材料的制造有全面的了解。

本书共分为5章，第0章工程材料导论，主要介绍了工程材料的历史、分类及其发展趋势、材料的科学基础、功能材料简介、工程材料的加工方法、工程材料的失效分析和工程材料的选用原则。第1章光学材料，系统地介绍了光学系统中最常用的光学玻璃、光学晶体和光学塑料等光介质材料及光学薄膜的概念、种类、性能特点及其应用。第2章机械结构材料，重点介绍了构成光学系统的金属材料、陶瓷、高分子材料、复合材料四大类机械结构材料的种类、性能特点及其应用。第3章机械结构零件加工工艺，重点介绍了机械结构零件常用的和最新的加工工艺方法、工艺特点、可以达到的精度及应用，包括传统加工方法、特种加工方法及最新精密和超精密加工方法等，并为介绍光学零件的加工工艺打下基础。第4章光学零件加工工艺，系统介绍了适用于光学零件加工的传统和最新加工工艺方法、工艺特点及应用，包括光学玻璃零件的热成型和冷加工、光学晶体零件的定向和冷加工、光学塑料零件的热成型、非球面光学零件的加工工艺、光学薄膜的镀膜工艺、光学零件的数控精密加工工艺及光学零件表面的超精密研磨抛光新方法等。

本书参考了许多有关光学材料及辅料、光学薄膜、光学塑料、工程材料、机械制造原理与工艺、光学材料加工工艺、特种加工、精密与超精密加工、薄膜技术等参考书籍，在此谨向其作者和单位致以深切谢意。

本书可作为高等学校光信息科学与技术、光学、光学工程、光通信、光电检测技术、精密计量及检测技术、仪器仪表类、测控技术与仪表及其他相近专业的教材，也可作为从事光学、光电检测、仪器仪表及精密计量等领域工程技术人员的参考书。

本书的作者在编写过程中，投入了很大的精力，力求使书中内容新颖正确、条理清楚。但由于本书包括的内容范围广泛，所收集的资料和编者的水平有限，书中难免存在错误和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。联系邮箱：jycuil@bjtu.edu.cn。

编著者

2014年6月

目录

CONTENTS

第 0 章 工程材料导论	1
0.1 工程材料及其发展	1
0.2 材料科学基础	4
0.2.1 原子的结构及原子间的键合.....	5
0.2.2 材料的组织结构和显微结构.....	7
0.3 功能材料简介	9
0.3.1 电功能材料.....	9
0.3.2 磁功能材料	11
0.3.3 热功能材料	13
0.3.4 其他功能材料	14
0.4 工程材料的加工.....	15
0.5 工程材料的失效分析.....	15
0.5.1 失效原因分析	16
0.5.2 失效类型	18
0.6 工程材料的选用原则.....	19
0.6.1 材料的使用性能	19
0.6.2 材料的工艺性	20
0.6.3 材料的经济性	20
第 1 章 光学材料	21
1.1 材料的光学性质及光学材料的分类.....	21
1.1.1 光波与光线	21
1.1.2 光在材料中的传播规律	23
1.1.3 光和固体材料的相互作用	24
1.1.4 材料的光透过性能	27
1.1.5 光学材料的分类	29
1.2 光学玻璃.....	30
1.2.1 概述	30
1.2.2 光学玻璃的性能特点	32
1.2.3 无色光学玻璃	33

1.2.4	有色光学玻璃(滤光玻璃)	43
1.2.5	透红外线光学玻璃及透紫外线光学玻璃	46
1.2.6	光学石英玻璃	47
1.2.7	红外线透明陶瓷材料	50
1.2.8	防辐射光学玻璃	50
1.2.9	其他光学玻璃	51
1.3	光学晶体	52
1.3.1	概述	52
1.3.2	晶体的基本概念	53
1.3.3	光学晶体的性能特点	55
1.3.4	光学晶体的质量指标、分级及分类	58
1.3.5	光学晶体的分类	59
1.4	光学塑料	66
1.4.1	光学塑料的特点及发展趋势	66
1.4.2	传统光学塑料	68
1.4.3	新型光学塑料	71
1.4.4	光学塑料的应用	72
1.5	光学薄膜	74
1.5.1	概述	74
1.5.2	光学薄膜分析	76
1.5.3	增透膜	79
1.5.4	增反膜	82
1.5.5	分光膜	84
1.5.6	太阳能薄膜	88
1.6	光学纤维	88
1.6.1	光学纤维的分类	89
1.6.2	光学纤维元件的制作	91
第2章	机械结构材料	93
2.1	机械结构材料的分类和性能	93
2.1.1	机械结构材料的分类	93
2.1.2	机械结构材料的性能	94
2.2	金属材料	102
2.2.1	钢	102
2.2.2	铸铁	115
2.2.3	铝及其合金	118
2.2.4	钛及其合金	121
2.2.5	铜及其合金	123
2.2.6	镁及其合金	126

2.3	陶瓷	127
2.3.1	概述	127
2.3.2	陶瓷的分类	129
2.3.3	陶瓷的基本性能	130
2.3.4	常用现代结构陶瓷	131
2.4	高分子材料	133
2.4.1	高聚物的基础知识	133
2.4.2	高聚物的性能	135
2.4.3	工程塑料	139
2.4.4	其他高聚物	142
2.5	复合材料	144
2.5.1	复合材料的概念和分类	144
2.5.2	结构复合材料中各部分的作用	145
2.5.3	复合材料的特点	146
2.5.4	结构复合材料的性能	147
2.5.5	复合材料的应用	149
2.5.6	常用复合材料	150
第3章	机械结构零件加工工艺	153
3.1	切削加工基本知识	153
3.1.1	零件加工质量和生产率	153
3.1.2	切削用量的选择和材料的切削加工性	157
3.1.3	刀具材料	159
3.2	常用切削加工方法简介	161
3.2.1	机床的类型和基本构造	161
3.2.2	车削的工艺特点及其应用	162
3.2.3	钻、扩、铰、镗的工艺特点及其应用	163
3.2.4	刨拉的工艺特点及其应用	167
3.2.5	铣削的工艺特点及其应用	169
3.2.6	磨削的工艺特点及其应用	170
3.2.7	光整加工的工艺特点及其应用	171
3.2.8	数控技术	176
3.3	典型表面加工分析	182
3.3.1	外圆表面的加工	182
3.3.2	孔的加工	184
3.3.3	平面的加工	185
3.3.4	成形面的加工	187
3.3.5	螺纹的加工	188
3.3.6	齿轮齿形的加工	190

3.4	特种加工技术	192
3.4.1	概述	192
3.4.2	电火花加工	194
3.4.3	电化学加工	197
3.4.4	超声加工	198
3.4.5	电子束及离子束加工	200
3.4.6	激光加工	203
3.4.7	其他特种加工技术	205
3.5	精密和超精密加工	206
3.5.1	精密和超精密加工概念、范畴、特点及种类	206
3.5.2	精密和超精密加工工艺原则	210
3.5.3	影响精密和超精密加工的因素	211
第4章	光学零件加工工艺	216
4.1	光学零件的冷加工基本工艺	216
4.1.1	光学零件的技术要求及工艺特点	216
4.1.2	光学辅料	218
4.1.3	模具及光学零件的上盘	219
4.1.4	光学零件的下料工艺	224
4.1.5	光学零件的粗磨工艺	225
4.1.6	光学零件的精磨工艺	233
4.1.7	光学零件的抛光	236
4.1.8	光学零件的定心与磨边工艺	239
4.2	光学塑料和光学玻璃零件的成型工艺	242
4.2.1	光学塑料零件成型理论	242
4.2.2	光学塑料零件的特点	244
4.2.3	光学塑料零件成型方法	245
4.2.4	光学玻璃零件成型方法	247
4.3	光学晶体和光学塑料零件冷加工工艺	250
4.3.1	光学晶体零件冷加工工艺	250
4.3.2	光学塑料零件冷加工工艺	254
4.4	非球面光学零件的加工工艺	255
4.4.1	非球面光学零件的加工和检验特点及其应用	256
4.4.2	非球面的分类及其光学性质	257
4.4.3	非球面光学零件的基本加工工艺	259
4.5	光学零件的数控精密加工技术	263
4.5.1	光学零件的数控金刚石精密切削	263
4.5.2	光学零件的数控精密研磨合抛光	267
4.5.3	光学零件的数控精密离子铣削	269

4.6 光学零件表面的超精密研磨抛光新方法	270
4.6.1 非接触研磨抛光	270
4.6.2 水中抛光和水合抛光	272
4.6.3 机械化学研磨	272
4.6.4 磁力研磨	273
4.7 光学零件的镀膜工艺	274
4.7.1 概述	274
4.7.2 蒸发镀膜	275
4.7.3 溅射镀膜	277
4.7.4 离子镀膜	279
4.7.5 化学气相沉积	280
4.7.6 化学镀膜与电化学镀膜	283
参考文献	286

第0章

工程材料导论

0.1 工程材料及其发展

材料在人类历史进程中的地位人所共知,材料发展与社会进步有着密切关系,它是衡量人类社会文明程度的标志之一。因此,历史学家根据人类使用的材料,将历史划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代。我国是最早发现和使用金属材料的国家之一。周朝是青铜器的极盛时期,到春秋战国时代,已普遍应用铁器。但是相当长历史时期内,受到采矿和冶炼技术的限制,直到19世纪中叶,大规模炼钢工业才兴起,钢铁才成为最主要的工程材料。

凡与工程有关的材料均谓之工程材料。工程材料按其性能特点分为机械结构材料和功能材料两大类。机械结构材料以力学性能为主,兼有一定的物理、化学性能。功能材料以特殊的物理、化学性能为主,例如那些要求有电、光、声、磁、热等功能和效应的材料。

同人类历史发展一样,工程材料也有一个发展过程。在20世纪40~50年代,材料的发展主要围绕着机械制造业发展,因此主要发展了以一般力学性能为主的金属材料。20世纪90年代以后,随着科学技术的发展,新材料的品种不仅越来越多,而且质量越来越高。随着高压聚合工艺的进步,高分子材料(又称高聚物材料)的合成,高性能的合成纤维和工程塑料已进入实用阶段。由于开发了沥青热解法生产碳纤维的新技术,使碳纤维的生产达到了数万吨的规模,因此,碳纤维增强的复合材料逐渐扩大并应用于机械制造工业,其中60%用于汽车工业。陶瓷本是古老的传统材料,由于制备技术的进步,开发出一批特种陶瓷材料,包括SiN、SiC、AlN、赛隆(Sialon)、增韧氧化锆、莫来石等新材料,其强度和断裂韧性大大优于普通的硅酸盐陶瓷材料,因此特种陶瓷材料在未来工程材料中将占有重要地位。进入20世纪80年代,材料超纯提炼和微细加工技术的突破,促进了各种功能材料的迅速发展,各种小型化功能元器件也逐步产业化。

材料工艺的进步不仅推动了新材料的开发和应用,而且极大地提高了材料的性能和质量。如轴承钢的精炼工艺使非金属夹杂物含量明显降低,且呈细小、均匀分布,可提高轴承寿命30%~50%。又如用计算机控制的自动缠绕工艺技术的应用,使设计人员可以按照工件的应力分布,合理配置增强纤维并呈最佳取向,可自动成型,使复合材料的可靠性大大提

高,应用范围不断扩大。

工程材料种类繁多,用途广泛,有许多不同的分类方法,工程上通常按化学分类法对工程材料进行分类,分为机械结构材料和功能材料两类,如图 0.1.1 所示。其中功能材料中的光学材料和机械结构材料将分别在第 1 章和第 2 章中详细论述。

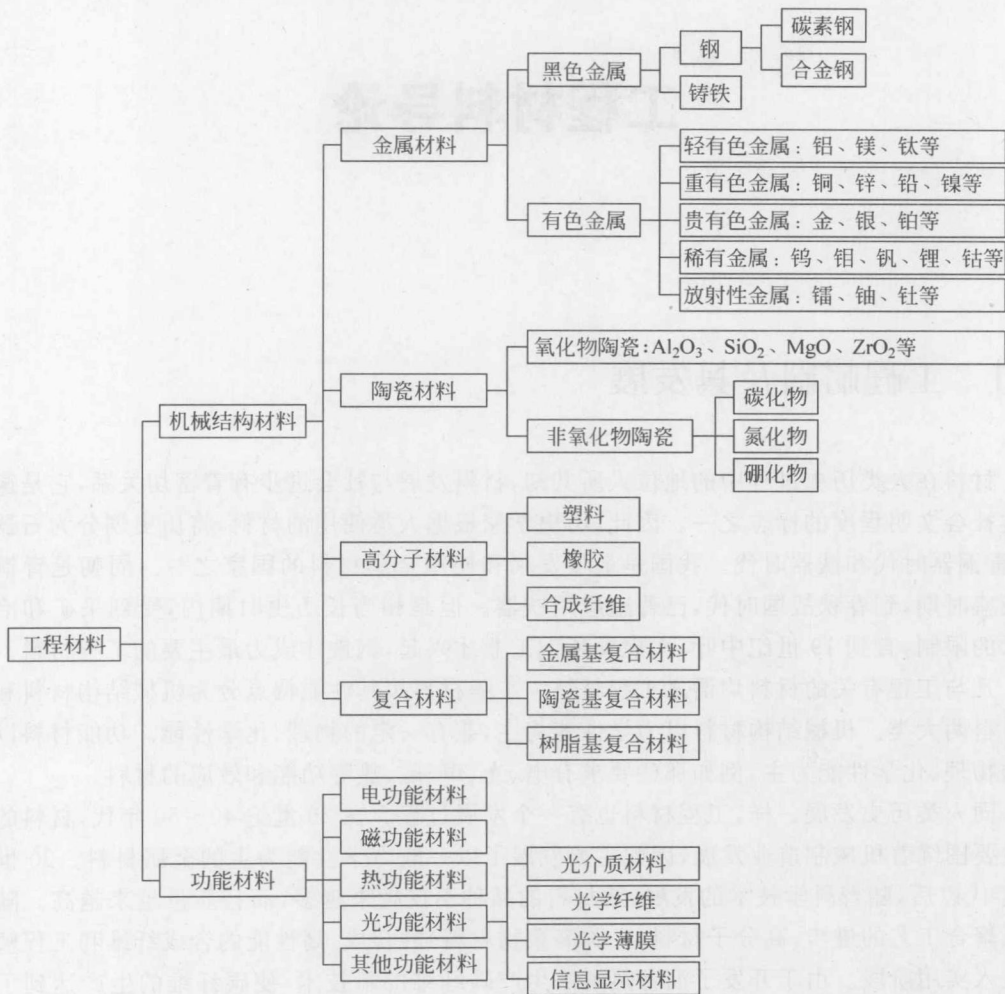


图 0.1.1 工程材料的分类

随着时代的进步,材料科学也在快速发展,21 世纪,世界各国都在发展新材料。新材料对高科技和新技术的发展具有非常关键的作用,没有新材料就没有发展高科技的物质基础。掌握新材料是一个国家在科技领域处于领先地位的标志之一。因此,世界各国都把新材料的研究和开发列为发展国民经济的重要组成部分。21 世纪,新材料的发展趋势如下。

1. 继续重视高性能的新型金属材料

所谓高性能材料,就是指具有高强度、高韧性、耐高温、耐低温、抗腐蚀、抗辐射等性能的材料。这种材料对发展空间技术、核能、海洋开发等工业有着极其密切的关系。新材料是采

用新技术和新工艺发展起来的。例如,合金成分的物理冶金设计、微量元素的加入与控制,特殊组织结构的控制等,从而大幅度提高材料的性能。21世纪,金属材料仍占主导地位。

2. 机械结构材料趋向于复合化

尽管金属材料采用了一系列强韧化措施及发展了非金属材料,如高分子材料和陶瓷材料,但由于单一材料存在难以克服的某些缺点,如脆性大、弹性模量低、比强度不足等。所以把不同的材料进行复合以得到优于原组分性能的新材料,就成为结构材料发展的一个重要趋势。如玻璃纤维增强树脂基的第一代复合材料,碳纤维增强树脂基的第二代复合材料,第三代复合材料则是正在发展的金属基、陶瓷基及碳基复合材料。复合材料在航空、航天工业和汽车工业中获得了广泛的应用,在化工设备和其他方面也有较多的应用。

3. 低维材料正在扩大应用

低维材料包括零维(超微粒)、一维(纤维)和二维薄膜材料,这些材料也是近年来发展最快的一类新材料,可用作机械结构材料和功能材料。

通过化学反应、气相沉积等方法,可制出亚微米级和纳米级(1~100nm)的金属或陶瓷粉末,这类超微颗粒有很大的比表面积和比表面能,熔点低,扩散速度快,烧结温度下降,强度高而塑性下降缓慢,具有良好的综合性能。超微粒的某些功能材料,可成为高效吸波材料。

一维材料应用广泛,其中最突出的是光导纤维,可用作通信工程材料。纤维结构材料是复合材料中的主要增强组分,它决定了复合材料的关键性能;纤维中的晶须,其强度和刚度可接近理论强度值;碳纤维、有机高分子纤维和陶瓷纤维均有广阔的应用前景。

二维的薄膜材料发展迅速,金刚石薄膜和有机高分子薄膜十分诱人,高温超导薄膜及光学薄膜尤为突出。金刚石薄膜可用于高速电子计算机的微芯片;高分子分离膜已在水处理、化工生产、高纯物质制备等方面获得了应用;高温超导薄膜将开辟超导技术的新领域,光学薄膜在光学系统中有不可或缺的作用。

4. 非晶(亚稳态)及准晶材料日益受到重视

20世纪70年代通过快冷技术($10^6\text{ }^\circ\text{C/s}$)而获得非晶态或亚稳态合金材料。由于骤冷,金属中的合金元素偏析程度降低,没有晶界,从而可提高合金化程度,而不致产生脆性相。非晶态合金具有高强度、耐腐蚀等特点,某些非晶态铁基合金具有很好的磁学性能,用作变压器比硅钢片的铁损少2/3。在工程应用中,通过激光束表面处理可在工件表面获得非晶态,具有高耐磨性和耐蚀性。另外,非晶态的硅太阳能电池,光电转换率可达15%,有待进一步实用化。

以色列科学家丹尼尔·舍特曼(Daniel Shechtman)因发现准晶体而获得2011年诺贝尔化学奖。物质的构成由其原子排列特点而定,原子呈周期性排列的固体物质叫做晶体,原子呈无序排列的叫做非晶体。准晶是一种介于晶体和非晶体之间的固体,准晶具有完全有序的结构,然而又不具有晶体所应有的空间对称性,因而可以具有晶体所不允许的宏观对称性。例如组成为铝-铜-铁-铬的准晶体具有低摩擦系数、高硬度、低表面能以及低传热性,正被开发为炒菜锅的镀层;Al₆₅Cu₂₃Fe₁₂十分耐磨,被开发为高温电弧喷嘴的

镀层。

5. 功能材料迅速发展

功能材料是当代新技术中能源技术、空间技术、信息技术和计算机技术的物质基础。功能材料是 20 世纪 90 年代材料研究与生产中最活跃的领域。例如,由于超大容量信息通信网络和超高速计算机的发展,对集成电路的要求越来越高,促进集成度逐年增加。从材料看,除了硅半导体外,化合物半导体受到越来越多的重视。又如有关磁记录 and 磁光记录材料、高温超导材料、光电转换材料等都将有进一步的发展。近年来功能梯度材料发展很快,其性能是原来的均质材料和一般复合材料所不具备的,梯度功能材料将有广泛的应用潜力。

6. 特殊条件下应用的材料

在低温、高压、高真空、高温以及辐照条件下,材料的结构和组织将会转变,并由此引起性能变化。研究这些变化规律,将有利于创制和改善材料。例如,在高压下的结构材料,由于原子间距离缩短,材料将由绝缘体转变为导体, Nb_3Sn 、 Nb_3Ce 和 Nb_3Si 等超导体均在高压下合成。现正在开展高压力及冲击波对材料性能影响的试验研究,理论上预测氢在几千万大气压下将转变为金属态,它在室温时就具有超导性,它的实现还有待于高压条件的创建。另外,太空、深海洋等工程技术所用的材料将继续深入研讨。

7. 材料的设计及选用计算机化

由于电子计算机及应用技术的高度发展,使得人们可以按照指定的性能进行材料设计正逐步成为现实。通过电子计算机的应用以及量子力学、系统工程和统计学的运用,可以在微观与宏观相结合的基础上进行材料设计和选用,使之最佳化。目前已建立起计算机化的各种材料性能数据库和计算机辅助选材系统,并进一步向智能化方向发展,从而提高了工程技术的用材水平。

0.2 材料科学基础

材料的结构可以从以下三个层次来考虑:

(1) 组成材料的单个原子结构,其原子核外电子的排列方式显著影响材料的电、磁、光和热性能,还影响到原子彼此结合的方式,从而决定材料的类型。

(2) 原子的空间排列。金属、大多数陶瓷、光学晶体和一些高分子材料有非常规则的原子排列,称为晶体结构,材料的晶体结构显著影响材料的力学性能。其他一些陶瓷、玻璃和大多数高分子材料的原子排列是无序的,称为非晶态,其性能与晶态材料有很大不同。例如,非晶态的聚乙烯对可见光是透明的,而结晶聚乙烯对可见光则是半透明的。

(3) 显微组织,包括晶粒的大小、合金相的种类、数量和分布等参数。改变材料的显微组织也会使材料的性能得到改变。

0.2.1 原子的结构及原子间的键合

物质都是由原子构成的,原子是由原子核和核外电子构成的,原子核又是由质子和中子构成的。原子的特性取决于许多因素,包括原子序数;相应于中性原子中电子或中子的数目;原子的质量;电子在围绕原子核的轨道中的空间分布;原子中电子的能量;以及在原子中加入或除去一个或多个电子,产生带电离子的难易程度。

在自然界中单原子往往是不能存在的,通常是以单质或化合物的形式存在的。同种原子组成单质,异种原子组成化合物。原子间的作用力是由原子的外层电子排布结构造成的。不论什么物质,其原子结合成分子或固体的力(结合力)从本质上讲都起源于原子核和电子间的静电相互作用。氦、氩等惰性气体原子间作用力很小,因为这些原子的电子外层轨道具有稳定的8电子排布结构。而其他元素与惰性元素不同,它们的外层轨道必须通过以下两种方式来达到电子排布的相对稳定结构:

- (1) 接受或释放额外电子,形成具有带负电荷或正电荷的离子;
- (2) 共有电子。

不同材料是由各种不同的元素组成,由不同的原子、离子或分子结合而成。原子、离子或分子之间的键合力称为结合键。根据电子围绕原子的分布方式,可以将结合键分为离子键、共价键、金属键和分子键四种。正是由于材料内部结合键的不同,造成材料的性能各异。

虽然不同的键对应着不同的电子分布方式,但它们都满足一个共同的条件,即键合后各原子的外层电子结构要成为稳定的结构,也就是像惰性气体原子那样的外层电子结构。

1. 材料的结合键

1) 离子键

当元素周期表中相隔较远的正电性元素原子和负电性元素原子接触时,前者失去最外层价电子变成带正电荷的正离子,后者获得电子变成带负电荷的满壳层负离子,正离子和负离子由静电引力相互吸引而接近,当它们十分接近时发生排斥,引力与斥力相等即形成稳定的离子键。

离子键的特点如下:

- (1) 结合力很大,因此离子晶体的硬度高、强度大、热膨胀系数小,但脆性大;
- (2) 很难产生可以自由运动的电子,因此离子晶体都是良好的绝缘体;
- (3) 在离子键中,由于离子的外层电子比较牢固地被束缚,可见光的能量不足以使其受激发,即不吸收可见光,因此典型的离子晶体是无色透明的。

2) 共价键

处于元素周期表中间位置的3、4、5价元素,原子既可能获得电子变成负离子,也可能丢失电子变成正离子。当这些元素原子之间或与邻近元素原子形成分子或晶体时,以共用价电子形成稳定的电子满壳层的方式实现结合,这种由共用价电子产生的结合键称为共价键。

共价键的特点是结合力很大,因此共价晶体强度大、硬度高、脆性高、熔点高、沸点高、挥发性低。