

陈光
崔崇主编

新材料

概论



科学出版社

www.sciencep.com

新材料概论

陈 光 崔 崇 主 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

任何重要的新材料得到广泛应用,进而给人类生活、国家安全乃至整个经济和社会的发展带来重大影响,都是建立在人们对其全面了解和正确认识基础之上的。为了使读者全面了解和掌握材料的概念、分类、功能、原理、应用和发展趋势,本书在第一章“综论”材料科学与工程之后,分十四章讲述了结构材料、电性材料、磁性材料、超导材料、光学材料、新能源材料、生物材料、环境材料、智能材料、形状记忆材料、梯度功能材料、复合材料、纳米材料、软物质。本书力求全面、通俗,力避繁难、艰深,突出性能、应用,内容新颖、涵盖面广、信息量大、可读性强。

本书既可作为理工、经管等非材料类专业大学通识教育基础课以及材料科学与工程专业导论课程的教材,也适于政府公务员、企事业单位管理人员和非材料专业科技工作者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

新材料概论/陈光 崔崇主编. —北京:科学出版社,2003

ISBN 7-03-012101-5

I. 新… II. ①陈…②崔… III. 新材料应用-概论 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 075036 号

策划编辑:胡 凯/文案编辑:贾瑞娜/责任校对:柏连海

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年8月第一版 开本:B5(720×1000)

2003年8月第一次印刷 印张:19 1/2

印数:1~6 500 字数:369 000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

序

材料是人类赖以生存和发展的物质基础,是所有科技进步的核心,是高新技术发展和社会现代化的先导,是一个国家科学技术和工业水平的反映和标志。先进材料及先进材料技术对人类的生活水平、国家安全及经济实力起着关键性的作用。新材料的出现和使用往往会给技术进步、新产业的形成,乃至整个经济和社会的发展带来重大影响。不断开发和有效使用材料的能力是衡量社会技术水平和未来技术发展的重要尺度。

因此,20世纪70年代人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。20世纪80年代以高技术群为代表的新技术革命,又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志,世界各先进工业国家都把材料作为优先发展的领域。

但是,新材料和新材料技术要切实充分发挥推动社会和科技进步的作用,就不仅仅是材料科技工作者所能完成的。因为,合理选择和使用材料是所有工程的各个领域及其设计部门的任务,而准确判断与资助优先发展方向又是政府的职能。所有这些,都应建立在相关人员对材料的总体把握与正确认识的基础上。显然,这就要求从政府官员到所有工程领域的专业人员都要对材料的全貌有比较正确的了解。

南京理工大学经过全校教育教学思想大讨论,于2001年在非材料类工科专业培养计划中设置了“新材料概论”通识教育基础课。这在国内是值得称道的战略性举措,具有示范价值,随着时间的推移,必将显示出推动我国科技进步和社会发展的作用。

《新材料概论》力求全面、通俗,避免繁琐、艰深,淡化制备、测试,突出性能、应用,内容新颖、涵盖面广、信息量大、可读性强,该书可作为各个非材料类理工科专业概述课程的首选教材和政府公务员、企事业单位管理人员、非材料专业科技工作者对材料科学与工程建立整体与全貌的认识,了解现有材料的分类、特性、应用范围及其与相关学科领域的关系,把握高技术新型先进材料发展趋势的读物;对于文科人士的知识结构也是有益的补充;该书所涉及专题的深度与广度适度,作为材料科学与工程专业的导论课程也是很好的选择。

《新材料概论》的出版是对我国材料领域文献著作的有益补充,必将对我国材料科学与工程教育和知识的普及做出贡献。

师昌绪
2003年8月

前 言

材料是人类生存、社会发展、科技进步的物质基础,是现代科技革命的先导,是当代文明的三大支柱之一。每一种重要的新材料的发现和应用,都把人类支配自然的能力提高到一个新水平,给社会生产和生活面貌带来巨大改观,将物质文明与精神文明程度推向前进。

美国国家研究委员会一份提交美国国会的题为“20 世纪 90 年代的材料科学技术:在材料的时代里保持竞争力”的研究报告指出:先进材料和先进材料工艺对国家的生活水平、安全及经济实力起着关键性的作用。先进材料是先进技术的奠基石。材料的影响不仅限于具体的产品,千千万万的就业机会就依赖于我们所拥有的高质量特殊材料。材料也是处理诸如环境污染、自然资源的不断减少及其价格膨胀等一些紧迫问题的工具。材料科学与工程对影响美国经济及国防力量的重要工业部门的兴旺发展是至关重要的。

日本对材料科学与工程也采用了类似的定位,并且宣称将开发、加工和制造先进材料作为保持技术领先地位的国家战略的基石。

我国政府对新材料的研究开发一直给予高度重视,在“863”、“973”等各级各类重大科技计划中,新材料都是重点支持的领域。

显然,新材料研究开发的择优支持,已有材料的正确选择、合理利用,除材料专业人士外,还涉及到政府公务员、企事业单位管理人员、工程技术人员以及非材料专业的科技工作者。这就要求他们了解现有材料的分类、特性、应用范围及其与相关学科领域的关系,把握高技术新型先进材料的发展趋势。

1998 年,教育部对我国高校本科专业设置进行了大幅度的调整,旨在改变以前专业划分过细、学生知识面过窄的局面。为此,许多高校,特别是重点大学按照引导性专业目录设立了材料科学与工程专业。这个专业要求培养的学生熟悉各类材料、具有比较全面的材料科学与工程的综合知识。而我们原有的教材几乎都是针对某一类材料的某个方面编写的,迫切需要能够使低年级学生建立起对材料科学与工程整体与全貌认识的高质量导论课程教材。

为了满足教学要求,普及材料知识,我们编写了这本《新材料概论》。它既适于政府公务员、企事业单位管理人员和非材料专业科技工作者阅读,也可作为理工、经管等非材料类专业大学通识教育基础课以及材料科学与工程专业导论课程的教材。

本书各章的作者为:陈光(第一章),马荣(第二、五、九章),杜宇雷(第三、四、十五

章), 江金国(第六、七、十章), 张士华(第八、十一、十二章), 崔崇(第十三章), 陈光、孙国元(第十四章)。

本书在编写过程中得到多方面的支持和帮助, 作者在此表示衷心感谢。由于本书涉及多学科交叉, 内容广泛, 信息量大, 加之新成果不断涌现, 以及编者水平和时间的限制, 难免存在疏漏及不当之处, 敬请广大读者批评指正。

作 者
2003 年 8 月于南京理工大学

目 录

第一章 材料科学与工程综论	1
1.1 材料及其分类	1
1.2 材料是人类社会进步的里程碑	1
1.3 先进材料是高新技术发展和社会现代化的基础和先导	4
1.3.1 电子技术的发展	5
1.3.2 光纤通信的诞生	6
1.3.3 航空航天技术的进步	7
1.4 材料科学与工程学科的形成与内涵	7
1.5 材料组成、制备、结构、性能与使用效能之间的关系	9
1.6 材料的应用	11
参考文献	11
第二章 结构材料	12
2.1 材料的性能	12
2.1.1 力学性能	13
2.1.2 物理性能	15
2.1.3 化学性能	15
2.2 金属材料	15
2.2.1 钢铁	16
2.2.2 铜和铜合金	18
2.2.3 铝和铝合金	19
2.2.4 钛和钛合金	19
2.3 陶瓷材料	20
2.3.1 传统陶瓷与先进陶瓷	20
2.3.2 玻璃	22
2.3.3 耐火材料	23
2.4 高聚物材料	25
2.4.1 概述	25
2.4.2 工程塑料	25
2.4.3 橡胶材料	29
参考文献	30
第三章 电性材料	31

3.1 导体、半导体和绝缘体材料	31
3.1.1 导体材料	31
3.1.2 导体、半导体和绝缘体的区别——能带理论	31
3.1.3 半导体材料	33
3.2 超导材料	36
3.2.1 超导电性及超导材料	36
3.2.2 超导材料的应用	37
3.3 铁电、压电、热释电和介电材料	38
3.3.1 铁电材料	38
3.3.2 压电材料	39
3.3.3 热释电材料	40
3.3.4 介电材料	41
3.3.5 铁电、压电和介电材料的应用	41
参考文献	45
第四章 磁性材料	46
4.1 材料的磁性	46
4.1.1 材料磁性的起因	46
4.1.2 磁偶极子	46
4.1.3 磁场线和磁场	48
4.1.4 磁化强度	48
4.1.5 磁场强度和磁感应强度	49
4.1.6 磁化率和磁导率	50
4.1.7 自发磁化	50
4.1.8 磁畴	51
4.1.9 磁滞回线	51
4.1.10 居里温度	52
4.1.11 磁致伸缩	52
4.2 物质磁性分类	52
4.3 磁性材料的分类	54
4.3.1 软磁材料	54
4.3.2 硬磁材料	55
4.4 几种新型的磁性材料	55
4.4.1 分子基磁性材料	55
4.4.2 非晶态磁性材料	56
4.4.3 纳米磁性材料	56
4.4.4 磁性液体	57
4.5 磁性材料的应用	58

4.5.1 磁悬浮列车	58
4.5.2 核磁共振在医学上的应用	59
4.5.3 巨磁电阻效应及其应用	59
4.5.4 磁性液体的应用	60
参考文献	61
第五章 超导材料	62
5.1 零电阻现象	62
5.2 迈斯纳效应	63
5.3 产生超导的原因	63
5.4 超导体的临界条件	64
5.5 第一类超导体和第二类超导体	65
5.6 约瑟夫森效应	65
5.7 超导材料的发展	66
5.8 超导氧化物(陶瓷)	67
5.9 超导材料的应用与前景	68
5.9.1 让电流畅通无阻	68
5.9.2 超导发电机	70
5.9.3 电能的储藏	70
5.9.4 电磁炮	72
5.9.5 超导磁悬浮列车	73
5.9.6 冷子管和超导计算机	74
5.9.7 超导量子干涉器(SQUID)和它的生医应用	76
5.9.8 生物超导	77
参考文献	78
第六章 光学材料	79
6.1 光纤材料	79
6.1.1 光纤构成及分类	80
6.1.2 光在光纤中传输的基本原理	83
6.1.3 石英光纤制备方法	85
6.2 光色材料	90
6.2.1 光色玻璃	90
6.2.2 光色晶体	92
6.2.3 光存储材料	92
6.3 红外材料	93
6.3.1 红外线的基本性质	93
6.3.2 红外材料	93
参考文献	94

第七章 新能源材料	95
7.1 概述	95
7.1.1 新能源材料的特点	95
7.1.2 面临的问题	95
7.2 新型二次电池	96
7.2.1 一般介绍	96
7.2.2 Ni/MH 镍氢二次电池	98
7.2.3 锂离子二次电池	102
7.3 燃料电池	109
7.3.1 固体氧化物燃料电池的特点	110
7.3.2 固体氧化物燃料电池的工作原理	111
7.3.3 固体氧化物燃料电池的发展趋势	112
7.3.4 固体氧化物燃料电池材料	112
7.3.5 燃料电池的应用前景	118
参考文献	118
第八章 生物材料	120
8.1 概述	120
8.1.1 生物医学材料发展简史	120
8.1.2 生物医学材料分类	122
8.1.3 生物医学材料的特征与评价	124
8.2 硬组织相容性材料	126
8.2.1 医用不锈钢	127
8.2.2 医用钛合金	128
8.2.3 氧化铝生物陶瓷	129
8.2.4 羟基磷灰石	131
8.3 软组织相容性材料	132
8.4 血液相容性材料	135
8.5 生物降解材料	137
8.5.1 生物降解支架	137
8.5.2 纳米药物载体	139
参考文献	141
第九章 环境材料	143
9.1 环境材料的提出	143
9.2 环境材料的定义和研究内容	144
9.3 材料的环境协调性评价	144
9.3.1 LCA 的流程	144
9.3.2 材料的环境性能数据库	145

9.3.3 材料的 LCA 实例——纸杯与塑料杯的竞赛	147
9.3.4 LCA 的局限性	147
9.4 材料的生态设计	147
9.4.1 工业生态学	147
9.4.2 材料流分析	148
9.4.3 材料的生态设计	148
9.5 材料的环境友好加工	148
9.5.1 降低材料环境负担的技术	148
9.5.2 清洁生产理论	148
9.6 传统材料的环境材料化	149
9.6.1 金属的环境材料化	149
9.6.2 无机非金属材料的环境材料化	151
9.6.3 高分子材料的环境材料化	152
9.7 天然材料的加工和应用	153
9.7.1 木材(竹材)	153
9.7.2 甲壳素	153
9.7.3 稻壳	153
9.8 绿色包装材料	154
9.8.1 绿色包装材料的设计原则	154
9.8.2 典型绿色包装材料	154
9.9 绿色建材	155
9.9.1 绿色建材的分类	155
9.9.2 生态水泥和生态混凝土	155
9.9.3 环境功能玻璃	155
9.9.4 装饰建材	156
9.10 环境净化、替代和修复材料	157
9.10.1 环境净化材料	157
9.10.2 环境替代材料	158
9.10.3 环境修复材料	158
9.11 环境降解材料	158
9.11.1 环境降解塑料的主要类型	158
9.11.2 生物降解塑料的应用	159
9.11.3 存在的问题和发展前景	159
参考文献	160
第十章 智能材料	161
10.1 智能材料概述	161
10.1.1 智能材料的发展	161

10.1.2	智能材料的基本概念	161
10.1.3	智能材料的研究内容	163
10.2	电/磁流变液智能材料	167
10.2.1	一般介绍	167
10.2.2	电流变液的分类及电流变效应	168
10.2.3	电流变液的影响因素	169
10.2.4	电流变液材料的研究进展	170
10.2.5	磁流变液与电磁流变液	171
10.3	磁致伸缩智能材料	172
10.3.1	磁致伸缩效应	172
10.3.2	磁致伸缩智能材料的特性	173
10.3.3	磁致伸缩智能材料的应用	174
	参考文献	175
第十一章	形状记忆材料	176
11.1	形状记忆效应	176
11.1.1	马氏体相变	176
11.1.2	形状记忆效应	177
11.1.3	形状记忆机理	179
11.2	形状记忆合金	180
11.2.1	Ti-Ni 系形状记忆合金	182
11.2.2	铜基系形状记忆合金	183
11.2.3	铁基系形状记忆合金	184
11.2.4	形状记忆合金的应用	185
11.3	形状记忆陶瓷	191
11.3.1	氧化锆基陶瓷的形状记忆效应	191
11.3.2	形状记忆陶瓷的应用	192
11.4	形状记忆聚合物	193
11.4.1	聚合物形状记忆机理	194
11.4.2	几种主要的形状记忆聚合物	195
11.4.3	形状记忆高聚物的应用	197
	参考文献	198
第十二章	梯度功能材料	200
12.1	梯度功能材料及其特点	200
12.1.1	梯度功能材料概念的提出	200
12.1.2	梯度功能材料的特点与分类	201
12.2	热防护梯度功能材料	202
12.2.1	热防护梯度功能材料的设计	203

12.2.2	热防护梯度功能材料的制备方法	206
12.2.3	热防护梯度功能材料的特征评价	209
12.3	梯度折射率材料	210
12.3.1	梯度折射率材料的折射率梯度类型	210
12.3.2	梯度折射率材料的制法	212
12.4	梯度功能材料的应用	214
	参考文献	217
第十三章	复合材料	219
13.1	复合材料概述	219
13.1.1	复合的目的	219
13.1.2	复合材料的定义	220
13.1.3	复合材料的分类	220
13.1.4	复合材料的命名	221
13.1.5	复合材料的性能特点	221
13.1.6	复合材料的制备方法	222
13.2	增强材料	223
13.2.1	玻璃纤维	223
13.2.2	碳纤维	223
13.2.3	芳香族聚酰胺纤维	224
13.2.4	石棉纤维	225
13.2.5	硼纤维	226
13.2.6	碳化硅纤维	226
13.2.7	无机类晶须	228
13.3	纤维增强树脂	228
13.3.1	纤维增强热固性树脂	228
13.3.2	纤维增强热塑性塑料	231
13.4	金属基复合材料(MMC)	236
13.4.1	概述	236
13.4.2	金属基复合材料性能	237
13.4.3	铝基复合材料的性能和应用	238
13.4.4	镁基复合材料的性能和应用	239
13.4.5	其他金属基复合材料的性能及应用	240
13.4.6	耐高温金属基复合材料的性能和应用	240
13.5	陶瓷基复合材料	241
13.5.1	陶瓷基复合材料	241
13.5.2	陶瓷基复合材料应用	243
13.6	碳/碳复合材料	244

13.6.1 碳/复合材料的制备	244
13.6.2 碳/复合材料的特性及用途	245
参考文献	246
第十四章 纳米材料	248
14.1 基本概念	249
14.1.1 纳米与纳米结构	249
14.1.2 纳米材料与纳米物质	250
14.1.3 纳米科技(Nano-ST)	251
14.2 纳米材料的诞生、发展与纳米科技的起源	251
14.3 纳米科技的崛起	253
14.3.1 纳米科技崛起的原因	253
14.3.2 纳米技术的国际竞争态势	254
14.4 纳米材料的特异效应	256
14.4.1 表面效应	256
14.4.2 小尺寸效应	257
14.4.3 量子尺寸效应	257
14.4.4 宏观量子隧道效应	258
14.5 纳米结构单元	258
14.5.1 团簇与纳米微粒	258
14.5.2 碳纳米管与同轴纳米电缆	259
14.5.3 纳米薄膜	260
14.6 纳米组装体系	261
14.7 纳米块体材料	262
14.7.1 纳米块体材料的微观结构	262
14.7.2 纳米块体材料的性能	264
14.8 纳米结构与纳米材料的应用	271
14.8.1 纳米结构的应用	271
14.8.2 纳米材料的应用	273
参考文献	278
第十五章 软物质	280
15.1 概述	280
15.2 软物质的基本特征	280
15.3 软物质中熵的作用	282
15.4 软物质的自组织	283
15.5 几种典型的软物质体系	286
15.5.1 聚合物	286
15.5.2 胶体	286

15.5.3 液晶	289
15.5.4 膜和表面活性剂	291
参考文献	293

第一章 材料科学与工程综论

1.1 材料及其分类

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的那些物质。材料是物质，但不是所有物质都可以称为材料。燃料和化学原料、工业化学品、食物和药物，一般都不算是材料^[1]。材料总是和一定的用场相联系，可由一种或若干种物质构成。同一种物质，由于制备方法或加工方法不同，可成为用途迥异的不同类型和性质的材料。

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。20 世纪 70 年代人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。80 年代以高技术群为代表的新技术革命，又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志，就是因为材料与国民经济建设、国防建设和人民生活密切相关。

材料除了具有重要性和普遍性以外，还具有多样性。由于多种多样，分类方法也就没有一个统一标准。从物理化学属性来分，可分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和不同类型材料所组成的复合材料。从用途来分，又分为电子材料、航空航天材料、核材料、建筑材料、能源材料、生物材料等。更常见的两种分类方法可以把材料分为结构材料与功能材料；传统材料与新型材料。结构材料是以力学性能为基础，以制造受力构件所用材料，当然，结构材料对物理或化学性能也有一定要求，如光泽、热导率、抗辐照、抗腐蚀、抗氧化等。功能材料则主要是利用物质的独特物理、化学性质或生物功能等而形成的一类材料。一种材料往往既是结构材料又是功能材料，如铁、铜、铝等。传统材料是指那些已经成熟且在工业中已批量生产并大量应用的材料，如钢铁、水泥、塑料等。这类材料由于用量大、产值高、涉及面广，又是很多支柱产业的基础，所以又称为基础材料。新型材料(先进材料)是指那些正在发展，且具有优异性能和应用前景的一类材料。新型材料与传统材料之间并没有明显的界限，传统材料通过采用新技术，提高技术含量，提高性能，大幅度增加附加值可以成为新型材料；新材料在经过长期生产与应用之后也就成为传统材料。传统材料是发展新材料和高技术的基础，而新型材料又往往能推动传统材料的进一步发展^[1]。

1.2 材料是人类社会进步的里程碑^[1]

人类从猿人发展为现代人、发展到有文字记载的文明人的历史，可以说就是

一部材料和技术的演变史。我国是一个文明古国，中华民族在材料的开发应用方面谱写了世界史中的光辉篇章。丝绸之路闻名世界，至今为人称道，它就是把中华民族发现、发展的丝绸材料和制品推向世界的见证。相传五千年前黄帝时，我们的祖先便发明了养蚕造丝。比丝绸更早，在史前文化中便有了陶器的制作，并逐渐发展为世界闻名的中国瓷器文化。我国的青铜器文化也很有名，相传蚩尤就曾炼铜制剑。我们从图 1-1 中可以看到人类人口增长、材料技术进步和人类文明发展之间的密切关系。人类从利用自然界的石块，经过炼铜、制铁，发展到制作硅材料和高分子材料等；而技术上也从用手、骨工具、陶器、蒸汽机到利用计算机；知识上也从各种直观认识发展到自然科学和社会科学的各门学科^[2]。纵观人类发现材料和利用材料的历史，每一种重要材料的发现和广泛利用，都会使人类支配和改造自然的能力提高到一个新水平，给社会生产力和人类生活水平带来巨大的变化，把人类的物质文明和精神文明向前推进一步。

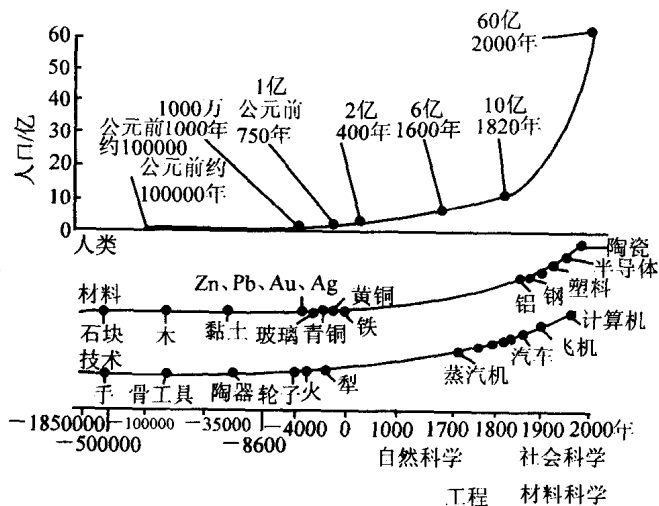


图 1-1 人类、材料和技术的演变史^[2]

早在一百万年以前，人类开始用石头做工具，标志着人类进入旧石器时代。大约一万年以前，人类知道对石头进行加工，使之成为精致的器皿或工具，从而标志着人类进入新石器时代。在新石器时代，人类开始用皮毛遮身。8000 年前，中国就开始用蚕丝做衣服，4500 年前，印度人开始种植棉花，这些都标志着人类使用材料促进文明进步。在新石器时代，人类已知道使用自然铜和天然金，但毕竟数量太少，分散细小，没有对人类社会产生重要影响。

大约在 8000~9000 年前，还处于新石器时代，人类已发明了用黏土成型，再火烧固化而成为陶器。陶器，不但用于器皿，而且成为装饰品，是对人类精神文明的一大促进，历史上虽无陶器时代的名称，但其对人类文明的贡献却不可估