

绿色建筑系列

"十一五"国家重点图书出版规划项目

现代材料概论

Performance

杜彦良 张光磊 ● 主编

Synthesis/
Processing

Property

Structure/
Composition



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>



"十一五"国家重点图书出版规划项目

绿色建筑系列

现代材料概论

杜彦良 张光磊 ● 主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书以传统材料为基础,重点介绍了代表材料科学研究和应用前沿的各种新材料,阐述了材料科学的基本概念、研究方法以及各种新材料的发展和应用等。全书分为3篇,共17章。第1篇为绪论;第2篇为传统材料,包括金属材料、无机非金属材料和高分子材料;第3篇为新型材料,包括纳米材料、环境材料、电子信息材料、智能材料、生物医用材料、磁性材料、超导材料、航空航天材料、新型能源材料、新型建筑材料等。本书适用于与材料相关的各工科专业的本科生或专科生,同时,也可作为科普读物或工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代材料概论/杜彦良,张光磊主编. —重庆:重庆大学出版社,2009.2

(绿色建筑系列)

ISBN 978-7-5624-4767-2

I. 现… II. ①杜…②张… III. 材料科学 IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第206570号

现代材料概论

杜彦良 张光磊 主编

责任编辑:贾兴文 版式设计:贾兴文

责任校对:秦巴达 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:25.25 字数:630千

2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷

ISBN 978-7-5624-4767-2 定价:45.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

材料是人类赖以生存并得以发展的基础和柱石。人类生活在材料世界中,无论是经济活动、科学技术、国防建设,还是人们的衣食住行都离不开材料。

比如,人们的现代生活就与建筑材料密切相关。随着人们物质文化水平的提高,人们对自己的生活空间越来越关注,绿色建筑材料就应运而生了。所谓的“绿色”不仅指城市立体绿化,更主要的是指建筑材料对环境不造成污染。从广义上说,绿色建筑材料不是一种单独的建材产品,而是对建材“健康、环保、安全”等属性的评价,包括对原材料采购、生产、施工、使用以及废弃物等环节的分项评价和综合评价。

本书是“十一五”国家重点图书出版规划项目(绿色建筑系列)的一个重要组成部分。说到材料就不得不说传统的三大材料(金属材料、无机非金属材料和高分子材料),材料的发展日新月异,本书在编写中,借鉴了相关教材和专著,尤其是《材料概论》、《材料科学与工程导论》、《新材料概论》等。结合编者的多年教学经验和石家庄铁道学院的具体情况,总结、整合出了自己的编写思路,即“发展历史与学科前沿相结合,理论基础与应用特点相结合,知识体系与思维模式相结合,科普与引领相结合”。

本教材共由 17 章组成,分成三篇,既成一完整体系,同时各章之间相对独立,各篇之间相互独立,方便根据需要安排授课内容。

第一篇为绪论,分为 3 章。从材料的定义和相关概念出发,引出材料的意义和材料科学与工程的四要素,全面介绍了材料的分类和新材料的发展趋势,为后续章节的学习铺垫基础。

第二篇为传统材料,分为 3 章。分别介绍了金属材料、无机非金属材料和高分子材料的基本知识、发展、制备工艺、性能特点及其应用等。

第三篇为新型材料。主要是从材料的特征和功能角度出发,对目前发展比较成熟的纳米材料、环境材料、电子信息材料、智能材料、生物医用材料、磁性材料、超导材料、航空航天材料、新型能源材料、新型建筑材料等各种新型材料逐一进行了介绍。

本教材的特色在于:

(1)内容的广泛性、科普性、前沿性。本教材内容包括了材料的基础知识,各种传统材料,紧跟时代的各种新型材料等。内容适应现代社会和经济的发展,突出新材料,具有一定的前沿性。另外,本书通俗易懂,具有良好的自学性和参考价值。

(2)面向对象广。本教材面对的对象是工科院校的本科生,尤其是与材料相关的各类专业本科生,同时,也可作为科普读物或专业技术参考书。

(3)科学性。教材整体为一体系,蕴含了材料领域的基本概念、研究方法、科学模式,以及发展和应用等,为学生的专业学习打下扎实的思想基础。

(4)实用性和灵活性相结合。教材各部分内容具有相对的独立性,所以可以根据授课条件或学习兴趣,有选择性的讲授。

随着社会的发展,经济技术的进步,高等学校人才培养有了更高的要求。教育应从以往的知识型、职业型、专业型、业务型人才培养模式转向学习型、创业型、复合型、人格型的人才培养模式。培养具有创新能力和创业精神的人才显得尤为重要。创新是民族的灵魂;创造力是跻身世界强国的根本动力。加强基础、拓宽专业面是专业改革的方向之一,坚决而又稳妥地使学生从掌握基础理论知识向了解专业领域的过渡是本科教育的一个重要环节。

《现代材料概论》就是这样的一本教材,它可以供材料类专业的专业基础课教材使用,同时也可以作为非材料专业的选修课教材使用,它是大学生了解专业领域的一个“敲门砖”,是培养专业兴趣和专业素质的一个“引擎”。

本书的编写是一种尝试,将力争为材料类专业及非材料类专业的本科教学提供一个较为系统的知识体系和科学观,为培养厚基础、高素质的新世纪人才做出贡献。

本书适用于材料类专业本科生的教材,也可以作为土木、交通、建筑、环境等相关专业的教材或参考书,同时也可作为材料相关领域的工程和技术人员了解基础知识和科学前沿的参考书。

本书由杜彦良、张光磊主编。各章节的编写者分别为:第1、5、13、16章为张光磊;第2、4、11章为赵田臣;第6、8、15章为刁建志;第3、7、12章为丁占来;第9、10、14、17章为杜彦良。全书由张光磊负责统稿。本书由北京工业大学张久兴教授(长江学者)主审,并提出许多宝贵意见,在此表示感谢。

由于编者知识体系的限制,本书的编写难免有不当和不足之处,敬请各位学者和专家多提宝贵意见和建议。

编 者

2008年10月

目 录

第 1 篇 绪 论

第 1 章 材料与人类社会	2
1.1 材料的定义	2
1.2 材料的发展历史	2
1.3 材料的分类	3
1.4 材料对人类文明进步的意义	6
思考题 1	10
第 2 章 材料科学与工程	11
2.1 材料科学与工程的基本要素	11
2.2 材料的功能与性能	12
2.3 材料的成分、结构与性能的关系	12
思考题 2	13
第 3 章 新材料的发展	14
3.1 对新一代材料提出的要求	14
3.2 怎样得到新材料	15
3.3 新材料发展的几个方向	16
思考题 3	20

第 2 篇 传统材料

第 4 章 金属材料	22
4.1 金属材料的结构与性能	22
4.2 碳钢	34

第 3 篇 新型材料

2

第 8 章 环境材料	170
8.1 概述	170
8.2 材料的环境协调性评价	172
8.3 材料的生态设计	175
8.4 绿色包装材料	177
8.5 环境降解材料	180
8.6 绿色建筑材料	185
思考题 8	188
第 9 章 信息材料	189
9.1 概述	189
9.2 微电子芯片材料	190
9.3 半导体光电材料	194
9.4 信息功能陶瓷材料	197
9.5 信息传感材料	201
9.6 光电显示材料	204
9.7 光纤通信材料	207
9.8 磁性和磁光存储材料	209
9.9 纳米信息材料	211
思考题 9	212
第 10 章 智能材料	213
10.1 概述	213
10.2 智能材料与结构的驱动元件	216
10.3 智能材料与结构的传感元件	223
10.4 智能材料与结构的信息处理方法	227
10.5 智能材料与结构的应用	229
思考题 10	231
第 11 章 磁性材料	232
11.1 材料的磁性	232
11.2 材料磁性能的表征	235
11.3 软磁材料	237
11.4 硬磁材料	239
11.5 磁信息材料	242
11.6 有机高分子磁性材料	245
11.7 磁性材料的应用	246
11.8 其他磁性材料简介	248

思考题 11	249
第 12 章 超导材料	250
12.1 超导材料的发展	250
12.2 超导体的特性	252
12.3 超导材料的种类	254
12.4 超导导电理论	258
12.5 超导材料的应用	258
思考题 12	261
第 13 章 生物医用材料	262
13.1 概述	262
13.2 软组织材料	271
13.3 硬组织材料	275
思考题 13	283
第 14 章 航空航天材料	284
14.1 航空航天材料的演变与发展趋势	284
14.2 航空航天用金属结构材料	287
14.3 航空航天用高分子材料	293
14.4 航空航天用陶瓷	294
14.5 航空航天用复合材料	295
14.6 航空航天用功能材料	296
思考题 14	299
第 15 章 新型能源材料	300
15.1 制氢和储氢材料	300
15.2 燃料电池材料	307
15.3 新型二次电池	311
15.4 太阳能电池	316
思考题 15	319
第 16 章 新型建筑材料	320
16.1 概述	320
16.2 新型墙体材料	324
16.3 新型建筑涂料	330
16.4 新型建筑塑料	336
16.5 新型建筑装饰材料	343

16.6 新型防水和密封材料	373
思考题 16	377
第 17 章 其他新材料	378
17.1 超硬材料	378
17.2 多孔材料	379
17.3 液晶材料	380
17.4 炭素材料	381
17.5 木材陶瓷	384
17.6 左手材料	385
参考文献	386

第 1 篇

绪 论

第 1 章 材料与人类社会

人类发展的历史证明,材料是社会进步的物质基础与先导,是人类进步的里程碑。从人类的发展史看,每一种重要材料的发展和广泛应用,都会把人类支配和改造自然的能力提高到一个新的高度,给社会生产力和人类生活带来巨大的变化,把人类的物质和精神文明推进一大步。

1.1 材料的定义

材料(material)是能为人类经济地用于制造有用物品的物质。也就是说物质中只有一部分是材料。材料的一大特点就是能为人类使用。另外,经济性也很重要。比如金刚石很硬,一般硬度越大的材料越耐磨,但由于它的稀有和昂贵就不适宜作为耐磨材料。由于要使用材料,因此人类必须熟悉了解材料。

材料是物质,但不是所有物质都可以称为材料。如燃料和化学原料、工业化学品、食物和药物,一般都不算是材料。但是这个定义并不那么严格,如炸药、固体火箭推进剂,一般称之为“含能材料”,因为它属于火炮或火箭的组成部分。

1.2 材料的发展历史

材料的发展过程大致可以分为以下几个阶段。

远古时代,人类最早使用的是竹、木、石、骨之类的原始天然材料,不经加工或简单加工即可制成工具和用具,这是材料发展的初始阶段,这一阶段的特点是人类单纯选用天然材料。早在 100 万年以前,人类就开始以石头做工具,这称之为旧石器时代。1 万年以前,人类对石头进行加工,使之成为更精致的器皿和工具,从而进入新石器时代。在新石器时代,人类还发明了用黏土成型,再火烧固化制成的陶器。新石器时代,人类开始用毛皮遮身;8 000 年前中

国人开始用蚕丝做衣服;4 500 年前印度人开始种植棉花。这些材料在被人类使用的同时,也为人类的文明奠定了重要的物质基础。

铜、铁和而后的其他合金的发现及应用,是材料发展的第二阶段。在这个阶段中,金属(主要是钢和铁)确立了工业材料的绝对权威。在人类社会中,这一阶段持续了很长的时间,并发挥了极其重要的作用。这个阶段的特点是人类从自然资源中提取有用材料。在新石器时代,人类已经知道使用天然的金和铜,但因其尺寸较小,数量也少,不能成为大量使用的材料。后来人类在找寻石料的过程中认识了矿石,在烧制陶器的过程中又还原出金属铜和锡,创造了炼铜技术,生产出各种青铜器物,从而进入青铜器时代。这是人类大量利用金属的开始,是人类文明的重要里程碑。中国在商周(即公元前 17 世纪初—前 256 年)就进入了青铜器的鼎盛时期,在技术上达到了当时世界的顶峰,图 1.1 为古代使用的一个青铜镰刀。5 000 年



图 1.1 青铜镰刀

前,人类开始用铁。由于铁比铜更易得到,更好利用,在公元前 10 世纪,铁工具已比青铜工具更为普通,人类从此由青铜器时代进入铁器时代。

随着科学技术和工业的发展,人类对材料提出了质量轻、功能多、价格低等要求。与此同时,人类已掌握了丰富知识和生产技能,已能人为地制造出一些自然界不存在的材料,来满足社会各种各样的要求,并在材料的研制方面取得了很大的自由度和主动性。这是材料发展的第三个阶段,即进入了人工合成时代。塑料、各种高分子材料、精细陶瓷、新型复合材料、超晶格异质结等材料是这一阶段的代表。到了近代,18 世纪蒸汽机的发明和 19 世纪电动机的发明,使材料在新品种开发和规模生产等方面发生了飞跃。

目前人类正进入信息社会,材料、能源和信息技术是当前国际公认的新技术革命的三大支柱。一个国家的材料的品种、数量和质量,已成为衡量该国科学技术、国民经济水平和国防力量的重要标志。

1.3 材料的分类

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。世界各国和不同的科学家对材料的分类方法不尽相同,可以从不同的角度对材料来进行分类。

(1) 按材料的发展进行分类

一般将材料分为传统材料(traditional material)与新型材料(advanced material)两大类。

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(或称为先进材料)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,大幅度增加附加值而成为新型材料;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。

(2) 按原子结合键类型进行分类

从原子结合键类型,或者说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组成的复合材料。

金属材料的结合键主要是金属键;无机非金属材料的结合键主要是共价键或离子键;而高分子材料,其结合键主要是共价键、分子键和氢键。随着科学技术的发展,人类已从合成材料的时代步入了复合材料时代。因为要想合成一种新的单一材料使之满足各种高要求的综合指标是非常困难的,但如果把现有的金属材料、无机非金属材料和高分子材料通过复合工艺组成复合材料,则可以利用它们所特有的复合效应使之产生原组成材料不具备的性能,而且还可以通过材料设计达到预期的性能指标,并起到节约材料的作用。

我们将复合材料单独作为一类。以上4类材料每一类又可以分为若干类,如表1.1~表1.4。

表 1.1 金属材料的分类

金属材料	黑色金属	碳钢	
		合金钢	渗碳钢、工具钢、弹簧钢、模具钢、不锈钢、低合金高强度钢
	有色金属	重有色金属	铜、镍、锡、铅、锌
		稀有色金属	钛、锆
		轻金属	铝、镁
		稀土金属	
		贵金属	金、银、铂
		难熔金属	钨、钼、钽、铌

表 1.2 无机非金属材料的分类

无机非金属材料	传统材料	陶瓷	日用陶瓷、卫生陶瓷、建筑陶瓷、化工陶瓷、电瓷
		玻璃	平板玻璃、仪器玻璃、光学玻璃
		水泥	
		耐火材料	
	新型材料	高温材料	
		新型玻璃	玻璃纤维、微晶玻璃
		特种陶瓷	结构陶瓷、功能陶瓷
		人工晶体	
		半导体材料	
		非晶态材料	

表 1.3 高分子材料的分类

高分子材料	塑料	聚乙烯、聚四氟乙烯、工程塑料、泡沫塑料
	橡胶	
	纤维	人造棉、涤纶、腈纶、锦纶、尼龙
	其他	涂料、功能高分子材料

表 1.4 复合材料的分类

复合材料	以基体材料分类	树脂基复合材料
		陶瓷基复合材料
		金属基复合材料
	以增强体分类	纤维增强复合材料
		晶须增强复合材料
		颗粒增强复合材料
		金属纤维增强复合材料

(3) 按材料的用途进行分类

根据材料用途或者对性能的要求特点,一般将材料分为结构材料和功能材料两大类。

当把材料的“强度”作为主要功能时,即要求某种材料制成的成品能保持其形状,不发生变形或断裂,这种材料称为结构材料。结构材料是以力学性能为基础,用于制造受力构件的材料,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、抗辐射、抗腐蚀、抗氧化等。这类材料是机械制造、建筑、交通运输、航空航天等工业的物质基础。注意,并非所有考虑到力学性能的材料都称为结构材料。有些材料使用的是其特殊的力学特性,这样的材料称为力学功能材料,如减振合金、形状记忆合金、超塑性合金、弹性合金等。

若主要要求的材料性能为其化学性能和物理性能时,这些材料被称之为功能材料。功能材料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。如考虑其化学性能的功能材料有:储氢材料、生物材料、环境材料等;考虑其物理性能的功能材料有:导电材料、磁性材料、光学材料等。电子、激光、能源、通讯、生物等许多新技术的发展都必须有相应的功能材料。可以认为,没有许多功能材料,就不可能有现代科学技术的发展。

有些材料往往既是结构材料又是功能材料,如铁、铜、铝等。

(4) 按原子的排列方式进行分类

同样的元素组成,同样的结合键,只是由于原子排列方式的不同,也可以形成具有不同性质的材料。按原子排列形式的不同,材料可分为晶体、非晶体、准晶体和液晶等。

1.4 材料对人类文明进步的意义

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。为了满足时代的要求及推动时代的发展,材料科学将大有作为。在制定 21 世纪科学和社会发展总的规划时,世界各国无一不把材料科学和工程作为最重要发展的领域之一。从某种意义上说,材料是一切文明和科学的基础,材料无处不在,无处不有。它使人类及其赖以生存的社会、环境存在着紧密且有机的联系。

1.4.1 材料与人类的日常生活

从古到今,材料与人类日常生活密切相关。材料的发展与进步不断改善与提高人类的生活质量,从人类社会发展进程的简图(图 1.2)可以看到,历史学家早就按人类使用材料的特点来划分历史发展的阶段。远古时代,人类只能使用天然的石头作为工具,故称之为石器时代。火的发现使人类多了一种改造自然的武器,人类对材料的使用由天然材料向人工材料发展,开始了陶器时代,接着是铜器时代、铁器时代、钢铁时代和新材料时代(也即信息时代)。



图 1.2 人类社会发展进程的简图

就现代生活来讲,人们的衣、食、住、行、休闲、娱乐更是样样离不开材料,新材料的出现使人们的生活质量发生了极大的变化。以穿衣为例,衣料早已由天然的棉、毛、丝、麻发展到各种的人造纤维(人造棉)与合成纤维(尼龙、的确良、腈纶等)。现在世界上编织纤维中已经约有 54% 是化学纤维,化学纤维具有耐磨损、不起皱、色泽鲜艳等优点。日常生活中,尼龙袜子给我们带来的方便,大家都有所体会。其他方面,大家也能举出不少例子。

总之,材料与食物、居住空间、能源、信息共同组成了人类生活的基本资源。

1.4.2 材料与新技术革命

材料既是人类社会进步的里程碑,又是社会现代化的物质基础与先导。材料,尤其是新材料的研究、开发与应用水平反映着一个国家的科学技术与工业水平。

(1) 电子技术

从电子技术的发展史来看,新材料研制与开发起了举足轻重的作用。1906年发明了电子管,从而出现了无线电技术、电视机、电子计算机;1948年发明了半导体晶体管,促进了电子设备的小型化、轻量化、节能化及成本的降低、可靠性的提高与寿命的延长;1958年出现了集成电路,使计算机及各种电子设备的发展产生了飞跃。此后,集成电路发展十分迅速,这就是以硅为主的半导体材料发展的结果。进入20世纪90年代,集成电路的集成度进一步提高,加工技术达到 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ (研究水平已达 $0.1\text{ }\mu\text{m}$),每位存储器的价格就降低了。这些都与硅单晶体的生长和硅片的加工技术密切相关,即对单晶纯度与缺陷的要求不断提高,单晶直径不断增加,晶片的加工精度和表面质量提高,使芯片成品率大为提高,而价格急剧降低,这就是硅材料研究与加工水平提高的直接结果,也是为什么计算机的功能越来越好而其价格却不断下降的重要原因。

制造大规模集成电路的主要材料是单晶硅片。集成电路的功能特性每年都在提高,1965年,摩尔提出了摩尔定律,预言芯片的容量每18个月就要增加一倍。1971年,一个芯片上有3000个晶体管,1998年已达 10^7 个。芯片除用于制造计算机外,还可以用于其他各种电器,如录相机、洗衣机、厨房设备、家用电器以及各种自动控制设备。现在,科学家从计算机芯片的工作原理中获得启发,创造性地将半导体技术和生物技术结合起来,开发研制出生物芯片。生物芯片可广泛用于医学临床检测及药物开发、环境监测等领域,对人类生活与健康将产生多方面的深远影响。在芯片所用材料上,人们也在继续探索。1999年,德国汉诺威大学的研究人员又研制成了锗处理器,运算速度比目前的硅处理器提高了一倍。可以说,半导体材料是整个电子技术和计算机产业的基础,一个国家在芯片技术方面的成就决定着这个国家在整个战略产业和高技术产业方面的成就。

(2) 远程通信技术

若光有计算机没有远程通信技术,整个世界的发展不会有今天这样快,而远程通信技术的发展又与光导纤维的问世密切相关。虽然著名的美国科学家贝尔100年前就做过用光传输声音的实验,但现代光纤是在英籍华人高琨博士的研究基础上发展起来的。1966年高博士发现提高玻璃的纯度可以减少光传播过程中的损耗。1970年美国康宁公司将这一科研成果转化为商品,用高纯石英玻璃制造出了现代光导纤维。光导纤维被誉为百年不遇的发明。这种光纤是一种比头发还细的高纯度玻璃丝,一根细丝就能同时传输2000路通话,并且不失真,不受环境干扰,不易被窃听,传输还特别快,光缆一秒钟传输的距离若改用铜缆则要花上20个小时,快了72000倍。因此光导纤维的出现使信息传输发生了巨大变化,对国民经济、国防、科学文化以及社会生活都产生了巨大的影响。现在,世界各国都相继建起了大规模光纤电话网和长途干线,并且还铺设了数万千米的跨海洲际通信光缆。从光纤通信过程示意图1.3可以看出,光纤通信的实现除了依赖于光导纤维以外,还需要有强大能量密度的单色光