

**M** 高等学校“十一五”规划教材  
材料科学与工程系列

# 新型材料及其应用

Applications of New Materials

齐宝森 等主编

交叉性 前沿性 融合相关学科 代表材料领域的发展方向  
先进性 科学性 院士专家著书 反映材料科学的最新成果  
可读性 广交性 内容丰富翔实 促进材料工程的应用实践

哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十一五”规划教材  
材料科学与工程系列

# 新型材料及其应用

齐宝森	张 刚	栾道成	房强汉	主 编
常 春	姜 江	钱宇白	边 洁	副主编
李木森	王成国			主 审

哈尔滨工业大学出版社

## 内容简介

本书以材料的开发、特征、性能、应用及发展前景为重点,有选择性地介绍了各类新型材料。全书共分9章,第1章新型材料导论,主要介绍了新型材料的定义、分类、成分(组成)、组织结构与性能之间的关系及发展趋势;第2~9章分别介绍了新型金属材料,新型聚合物材料,新型无机非金属材料,新型复合材料,非晶、准晶与纳米材料,新型功能材料,新能源材料与智能材料。本书力求通俗易懂、避免过多理论推导,以点带面,以达抛砖引玉、引领求知者更加深入学习新型材料的目的。

本书既可作为材料工程领域工程硕士专业的基础必修课程、本科生的选修课程的教材,也适用于广大理工科学生及相关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

新型材料及其应用/齐宝森等主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.9

ISBN 978-7-5603-2594-1

I.新… II.齐… III.材料科学 IV.TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 139505 号

策划编辑 张秀华 杨 桦

责任编辑 费佳明

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 787mm × 1092mm 1/16 印张 19.5 字数 450 千字

版 次 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2594-1

印 数 1 ~ 4 000 册

定 价 26.00 元

---

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

# 前 言

材料是社会技术进步的物质基础与先导,现代高新技术的发展更是紧密依赖于材料的进步,因此材料与能源、信息技术被称为现代人类文明进步的三大支柱。

新型材料指那些新近研制成功或正在研制的、具有比传统材料更加优异的特性和功能,能够满足高新技术发展需要的一类材料。其特点是高性能化、高功能化、高复合化。其应用范围广泛,发展前景广阔。当前,新型材料产业已渗透到国民经济、国防建设乃至人们日常生活的各个领域,从神舟六号载人飞船的胜利返回、上海磁悬浮列车的顺利通车,到儿童玩具商店里的遥控小汽车、机器人等,新型材料的应用已极为广泛。学生与广大的工程技术人员普遍感觉到学习与了解新型材料知识的迫切性与必要性。

然而新型材料毕竟是近年来才快速发展起来的领域,大学各类相关课程介绍甚少而且滞后。为了更好普及新型材料有关知识,满足广大学生和工程技术人员需要,作者结合近年来为工学硕士、工程硕士研究生及本科生讲授新型材料及其应用课程的体会,特联合西华大学、山东交通学院等兄弟院校共同编写此书。本书的编写,力图体现新型材料的特点,以材料的开发、性能和应用为重点,充分反映其先进性、技术性和实用性,在文字叙述上力求通俗易懂、避免过多的理论推导,以适应更广大理工科大学生、工程技术人员以及求知者的需求。应当说明,新型材料种类繁多、五彩缤纷,而且新内容、新知识点不断涌现,本书仅为其一瞥,但愿能起到抛砖引玉的效果,以达引导求知者深入学习新型材料的目的。

全书共分9章。第1、2章由齐宝森编写,第3章由钱宇白编写,第4章由常春编写,第5章由房强汉、边洁、常春编写,第6章由姜江编写,第7、9章由栾道成、张刚编写,第8章由张刚编写。全书由齐宝森、张刚、栾道成、房强汉任主编,常春、姜江、钱宇白、边洁任副主编,并请李木森、王成国教授主审。

本书在编写过程中参考了众多国内外有关教材、著作和研究论文,得到哈尔滨工业大学出版社等多方面的支持和帮助,并且得到山东大学出版基金的资助,谨此表示衷心的感谢。

由于本书涉及多学科,内容广泛,信息量大,加之新型材料、高新技术不断涌现,以及编者水平有限,难免存在疏漏及不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者  
2007. 2

# 目 录

第 1 章 新型材料导论 .....	1
1.1 新型材料与高新技术 .....	1
1.1.1 何谓“新型材料”,“高新技术” .....	1
1.1.2 新型材料是高新技术研究、开发的先导和基石 .....	1
1.2 新型材料的特征与分类 .....	4
1.2.1 新型材料的特征 .....	4
1.2.2 五彩缤纷、绚丽多彩的材料世界 .....	6
1.3 材料的成分、结构与性能之间的关系 .....	7
1.3.1 材料科学的“四要素”与“五要素” .....	7
1.3.2 材料结构、成分、性能与应用之间的关系 .....	8
1.4 新型材料的发展趋势 .....	8
1.4.1 伴随高科技的迅猛发展,对新型材料提出新的总体要求 .....	8
1.4.2 新型材料的发展趋势 .....	9
思考题 .....	12
第 2 章 新型金属材料 .....	13
2.1 概述 .....	13
2.1.1 金属材料仍将是 21 世纪最主要的结构材料 .....	13
2.1.2 金属材料的主要强韧化途径 .....	14
2.2 新型工程结构用钢 .....	16
2.2.1 低合金结构钢 .....	16
2.2.2 新型工程结构用钢的成分与组织设计 .....	18
2.2.3 控制加工工艺过程,提高钢的强韧性 .....	19
2.2.4 控制夹杂物形态 .....	22
2.2.5 微合金化低碳高强度钢 .....	22
2.2.6 微合金化低碳 F-M 双相钢 .....	25
2.2.7 发展新型低合金结构钢 .....	27
2.2.8 积极开发低碳马氏体(M)钢 .....	28
2.3 新型机器零件用钢——非调质钢 .....	29
2.3.1 概述 .....	29
2.3.2 强韧化特点 .....	30
2.3.3 冶金工艺特点 .....	31
2.3.4 性能特点 .....	32

2.3.5 非调质钢的应用 .....	34
2.3.6 非调质钢的发展与研究动向 .....	35
2.4 金属间化合物高温结构材料 .....	41
2.4.1 金属间化合物及其特性 .....	41
2.4.2 改善金属间化合物作为高温结构材料的方法 .....	43
2.4.3 金属间化合物结构材料的发展 .....	43
2.5 刚柔相济的超塑性合金 .....	46
2.5.1 超塑性合金的由来 .....	46
2.5.2 超塑性合金的优点 .....	48
2.5.3 为什么金属会产生超塑性行为 .....	48
2.5.4 外界条件对超塑性的影响 .....	49
2.5.5 超塑性合金的作用 .....	50
思考题 .....	52
<b>第3章 新型聚合物合成材料 .....</b>	<b>53</b>
3.1 概述 .....	53
3.1.1 聚合物材料的发展与分类 .....	53
3.1.2 聚合物材料的性能 .....	54
3.1.3 聚合物材料的强韧化(即改性) .....	55
3.1.4 聚合物材料的发展前景展望 .....	58
3.2 新型工程塑料 .....	59
3.2.1 通用工程塑料 .....	59
3.2.2 特种工程塑料 .....	62
3.3 聚合物液晶材料 .....	64
3.3.1 何谓液晶材料 .....	64
3.3.2 聚合物液晶材料的形成 .....	65
3.3.3 聚合物液晶材料的类型 .....	66
3.3.4 聚合物液晶必须具备的条件 .....	68
3.3.5 聚合物液晶特殊的结构 .....	69
3.3.6 奇妙的效应 .....	69
3.3.7 聚合物液晶材料的应用 .....	70
3.3.8 聚合物液晶材料的发展 .....	73
3.4 导电聚合物材料 .....	74
3.4.1 概述 .....	74
3.4.2 结构型导电聚合物材料 .....	74
3.4.3 复合型导电聚合物材料 .....	75
3.5 聚合物材料与可持续发展 .....	77
3.5.1 废弃聚合物的回收与再利用 .....	77

3.5.2 绿色聚合物——环保与可降解聚合物 .....	81
思考题 .....	85
<b>第4章 新型无机非金属材料 .....</b>	<b>86</b>
4.1 概述 .....	86
4.1.1 无机非金属材料的范围 .....	86
4.1.2 无机非金属材料的分类 .....	86
4.1.3 无机非金属材料的制备方法 .....	87
4.1.4 无机非金属材料的基本特点 .....	90
4.1.5 无机非金属材料的应用发展前景 .....	91
4.2 氧化物陶瓷材料 .....	91
4.2.1 氧化铝(aluminum oxide, alumina) .....	91
4.2.2 二氧化锆 .....	93
4.2.3 ZTA 陶瓷 .....	97
4.3 碳化物陶瓷材料 .....	98
4.3.1 碳化硅(silicon carbide)陶瓷 .....	99
4.3.2 碳化硼(boron carbide)陶瓷 .....	101
4.3.3 碳化钛陶瓷 .....	104
4.4 氮化物陶瓷材料 .....	106
4.4.1 氮化硅陶瓷(silicon nitride ceramics) .....	106
4.4.2 Sialon 陶瓷 .....	108
4.4.3 氮化铝陶瓷(aluminium nitride ceramics) .....	110
4.4.4 氮化硼陶瓷 .....	111
4.5 碳素材料 .....	113
4.5.1 概述 .....	113
4.5.2 石墨材料的分类和应用 .....	118
4.5.3 C <sub>60</sub> 和碳纳米管材料 .....	120
思考题 .....	121
<b>第5章 新型复合材料 .....</b>	<b>123</b>
5.1 概述 .....	123
5.1.1 复合材料的概念 .....	123
5.1.2 复合材料的分类 .....	124
5.1.3 复合材料的性能特点 .....	126
5.1.4 复合材料的现状与发展前景 .....	128
5.2 复合材料用增强材料 .....	130
5.2.1 纤维增强体 .....	130
5.2.2 颗粒增强体 .....	136
5.2.3 片状增强体 .....	136

5.2.4 织物增强体 .....	137
5.2.5 毡状增强体 .....	137
5.3 聚合物(树脂)基复合材料 .....	138
5.3.1 概述 .....	138
5.3.2 纤维增强聚合物基复合材料 .....	139
5.3.3 颗粒填充聚合物基复合材料 .....	141
5.3.4 聚合物基层状复合材料 .....	141
5.4 金属基复合材料 .....	142
5.4.1 连续纤维增强金属基复合材料 .....	143
5.4.2 晶须增强金属基复合材料 .....	143
5.4.3 颗粒增强金属基复合材料 .....	143
5.5 陶瓷基复合材料 .....	144
5.5.1 纤维增强陶瓷基复合材料 .....	144
5.5.2 晶须增强陶瓷基复合材料 .....	148
5.5.3 颗粒弥散强化陶瓷基复合材料 .....	148
5.5.4 纳米陶瓷(基)复合材料 .....	149
5.6 梯度功能材料研究进展 .....	149
5.6.1 概述 .....	149
5.6.2 梯度功能材料的研究动态 .....	150
5.6.3 前景展望 .....	155
思考题 .....	156
<b>第6章 非晶、准晶与纳米材料 .....</b>	<b>157</b>
6.1 材料的稳定态与亚稳态 .....	157
6.1.1 亚稳态常见的几种类型 .....	157
6.1.2 为什么非平衡的亚稳态能够存在 .....	157
6.2 非晶态材料 .....	158
6.2.1 非晶态的形成 .....	158
6.2.2 非晶态的结构特性 .....	159
6.2.3 非晶态合金的性能 .....	161
6.2.4 非晶态合金的制备与应用 .....	162
6.3 材料的准晶态 .....	166
6.3.1 准晶的形成 .....	166
6.3.2 准晶的结构特征 .....	167
6.3.3 准晶的性能 .....	167
6.3.4 准晶的应用 .....	167
6.4 纳米材料 .....	168
6.4.1 概述 .....	168



6.4.2 纳米材料的结构特征·····	171
6.4.3 纳米材料的性能·····	176
6.4.4 纳米材料的合成与制备·····	177
6.4.5 纳米材料的应用·····	180
6.4.6 实现“在原子和分子水平上制造材料和器件”的梦想·····	185
思考题·····	186
<b>第7章 新型功能材料</b> ·····	<b>187</b>
7.1 概述·····	187
7.1.1 功能材料的发展·····	187
7.1.2 功能材料的特征与分类·····	187
7.1.3 功能材料的现状与展望·····	188
7.2 新型电功能材料——超导材料·····	190
7.2.1 超导材料的开发历程·····	190
7.2.2 超导体的几个特征值·····	193
7.2.3 超导材料的类型·····	195
7.2.4 超导材料的应用·····	197
7.3 生物医学材料·····	201
7.3.1 生物医学材料的发展概况·····	202
7.3.2 生物医学材料的用途、基本特性及分类·····	202
7.3.3 金属生物医学材料·····	203
7.3.4 生物陶瓷·····	205
7.3.5 生物医用聚合物材料·····	210
7.3.6 生物医学材料的发展趋势·····	213
思考题·····	214
<b>第8章 新能源材料</b> ·····	<b>215</b>
8.1 锂离子电池材料·····	215
8.1.1 概述·····	215
8.1.2 锂离子电池负极材料的研究·····	217
8.1.3 锂离子电池正极材料·····	224
8.1.4 二次锂离子电池电介质研究的进展·····	237
8.2 镍氢电池材料·····	243
8.2.1 概述·····	243
8.2.2 镍氢电池的正极材料·····	244
8.2.3 镍氢电池的负极材料——储氢合金·····	247
8.2.4 Ni-MH 电池的电解液·····	257
8.3 燃料电池材料·····	257
8.3.1 概述·····	257

8.3.2 熔融碳酸盐燃料电池(MCFC) .....	261
8.3.3 固体氧化物燃料电池(SOFC) .....	264
8.3.4 质子交换膜燃料电池(PEMFC) .....	269
思考题 .....	278
<b>第9章 智能材料</b> .....	<b>279</b>
9.1 概述 .....	279
9.1.1 智能材料的发展历程 .....	279
9.1.2 智能材料的定义与特性 .....	280
9.2 神秘的形状记忆智能材料 .....	281
9.2.1 形状记忆效应(SME)的概念 .....	281
9.2.2 SME 的实质 .....	283
9.2.3 SMA 材料与开发过程 .....	284
9.2.4 SMA 的应用 .....	285
9.2.5 形状记忆陶瓷与形状记忆聚合物材料的开发、应用 .....	286
9.3 发展中的电流变液智能材料 .....	289
9.3.1 概述 .....	289
9.3.2 电流变液的分类及电流变液效应 .....	290
9.3.3 电流变液的影响因素 .....	291
9.3.4 电流变液的应用 .....	292
9.3.5 电流变液材料的研究进展 .....	293
思考题 .....	294
<b>参考文献</b> .....	<b>295</b>

# 第 1 章 新型材料导论

## 1.1 新型材料与高新技术

众所周知,材料、能源与信息技术是现代文明的三大支柱,而能源与信息技术的发展在一定程度上又依赖于材料的进步。因此,世界上许多国家都把材料与材料科学列为重点发展学科之一,材料的质量、数量和品种又成为衡量一个国家科学技术、国民经济水平和国防力量的重要标志之一。材料是人类生活和从事生产的物质基础,是衡量人类社会文明程度及劳动力发展水平的标志,是人类进化的里程碑。人类历史上的石器时代、青铜器时代、铁器时代都是以材料作为时代的重要标志,现今人类正跨入人工合成新型材料的崭新时代。现代科学技术特别是高新技术的发展给新型材料的研制和开发创造了必要条件和可能,而新型材料的出现和使用又往往会给技术进步、高科技和产业化的形成,乃至整个经济和社会带来重大影响。

### 1.1.1 何谓“新型材料”,“高新技术”

新型材料一般系指那些新近研制成功或正在研制的、具有比传统材料更加优异的特性和功能,能够满足高新技术发展需要的一类新材料。它具有多学科交叉和知识密集、技术密集的特点,是一类品种繁多、结构特性好、功能性强、附加值高、更新换代快的材料。目前全世界已经注册的新材料约有 30 万种,并且还以每年大约 5% 的速度迅速增长,其中相当一部分具有发展成为新型材料产业的潜力。

高新技术是相对意义上发展变化着的一个概念,它可分为三个层次:第一层次称做技术的改进;第二层次称做技术的复合;第三层次称做技术的创造。

新型材料是高新技术的一个组成部分,它不但具有高新技术产业的特点,即高效益、高智力、高投入、高竞争、高风险、高势能,而且是其他高新技术产业得以发展和应用的基础和先导;同时,新型材料的发展亦有赖于其他高新技术的支撑或支持。它们之间联系密切,互相依存、互相促进,共同推动经济发展和社会进步。例如,没有半导体材料的工业化生产,就没有电子计算机的问世;没有耐高温的轻质高强结构材料,就没有宇航业的发展;没有低损耗的光导纤维,就没有光纤通信,更不会使整个通信产业发生革命性的变化。

### 1.1.2 新型材料是高新技术研究、开发的先导和基石

21 世纪是知识经济、信息时代,新型材料作为高科技、高新技术研究、开发的先导和基石,其作用将展现得更加淋漓尽致。

例如,支撑微电子工业的集成电路近十年来发展迅速,更新换代快,集成度遵循著名的摩尔定律每 18 个月翻一番,线宽以 70% 的比例递降:1992 ~ 1994 年为  $0.5 \mu\text{m}$ , 1995 ~

1997年为 $0.35\ \mu\text{m}$ ,1998~2000年则为 $0.25\ \mu\text{m}$ 。然而,采用现有的材料和加工技术,集成度将很快达到极限,若要继续提高集成度必须另辟蹊径。在众多的材料和加工技术中,纳米材料和纳米加工技术是最有希望的。利用纳米材料和纳米加工技术可实现集成电路的三维集成和加工,实现在原子和分子尺度上的集成。

又如,由于控制环境污染方面的要求,在21世纪,地面运输工具将使用高比强度、高比刚度材料,以减轻自重,如汽车每减重100 kg,每升油可多行驶0.5 km。美国到2003年单位体积燃料的里程数由12 km/L提高至35 km/L,该目标的实现,37%靠车辆的轻量化,40%靠提高热效率,而这两项均与所使用的新型材料直接相关。此外,太阳能的高效率利用、高功率燃料电池发电,均是以高性能新型材料的研制和开发为先导的。

再如,要提高热机效率势必会升高工作温度,所以要求制造热机的结构材料在高温下具有足够的强韧性、耐热性。这是一般钢铁材料无法达到的,而用新型工程陶瓷材料制成的高温结构陶瓷柴油机,可节油30%,热机效率提高50%。目前还研制出在 $1400^\circ\text{C}$ 下工作的涡轮发动机陶瓷叶片,大大提高了效率。这说明,开发新型材料可提高现有能源的利用率。

众所周知,切削刀具是机械制造中的重要工具。19世纪80年代普遍使用的是合金钢制作的车刀、铣刀,切削速度10 m/min;到20世纪40年代采用硬质合金,刀具也改成负前角,切削速度提高至60~70 m/min;而进入80、90年代来,采用陶瓷刀具,由 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 到立方氮化硼,切削速度由200 m/min提高至500 m/min;而刀具表面强化处理更是锦上添花,高速钢表面经PVD或CVD制成TiC、TiN的复合涂层,可制备形状复杂、精度要求高的耐冲击、耐磨刀具,使钻头寿命提高5倍以上。

新型材料的开发和使用给人类生活带来的便利是实实在在的,人类在推进文明发展的同时,已更加注重自身生活质量和周围环境的改善。因此,生物材料和环境相容性材料的开发和使用将会受到重视。随着人口老龄化和生活质量的提高,人体器官的修复与更换变得十分必要。利用生物材料,人们可以生产出人造肝、人造肾、人造膜、人造皮肤和人造血管等,还可以制造出药物缓释系统的新型材料,以控制药物的释放时间和速度。

长期以来,人类在材料的提取、制备、生产以及制品的使用与废弃的过程中,消耗了大量的资源和能源,并排放出废气、废水和废渣,污染着人类自身的生存环境。有资料表明,从1970年至1995年的25年间,人类消耗了地球自然资源的1/3;美国每年排放工业废料约120亿吨,其中约有7.5亿吨是有害的(可燃、腐蚀、有毒),与材料生产相关的工业所排放的有害废料约占90%。现实要求人类从节约资源和能源、保护环境,从社会可持续发展的角度出发,重新评价过去研究、开发、生产和使用材料的活动;改变单纯追求高性能、高附加值的材料,忽视生存环境恶化的做法;探索发展既有良好性能或功能,又对资源和能源消耗较低,并且与环境协调较好的材料及其制品。图1.1给出了材料的“生命周期”示意图。由图可见,从矿物开采,原材料加工、冶炼,材料半成品加工,产品生产使用等各个环节都会向我们居住的地球或大气层排放污染物。为此,应该用系统工程的方法,综合考虑材料的生产、使用、回收利用等各个环节,达到污染物的零排放。此外,从原子、分子、

显微和复合结构等不同尺度精心设计和人工合成高性能的新型材料,如复合材料、纳米材料、超合金、信息功能材料、灵巧和智能材料等,以减少对地球矿藏的依赖,这也是降低环境污染的有效措施。

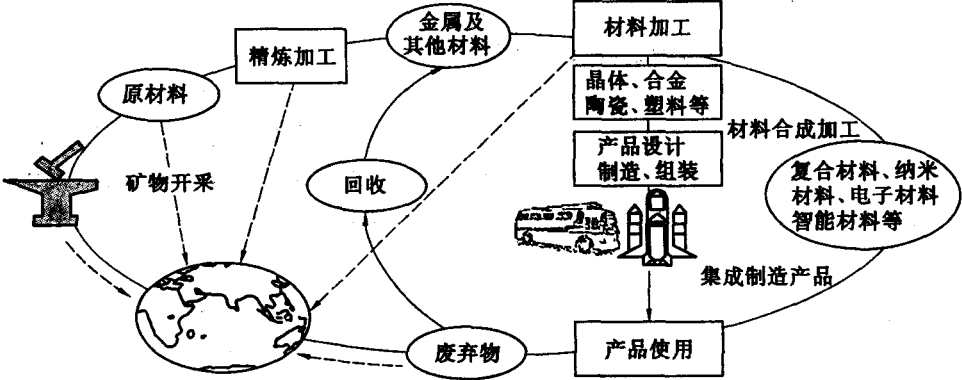


图 1.1 材料的“生命周期”示意图

未来各种新兴产业的发展,无不依赖于新型材料的进步。像开发海洋用的深潜器及各种海底设施需要耐压、耐蚀的新型结构材料;卫星、宇航设备需要轻质高强度的新型材料;医学上制造人工脏器、人造骨骼、人造血管等要用各种具有特殊功能且与人体相容的新型生物医学材料等。

总之,在当前激烈的竞争中,谁掌握了最先进的新型材料,谁的高新技术及其产业就能得到迅猛发展。与此同时,高新技术及其产业的发展,又对新型材料提出了更新、更高和更为迫切的要求,如高强度、高韧性、耐高温、耐低温、耐磨损、抗腐蚀、抗疲劳等,同时还要求构件质量轻、成本低、生产工艺简单等。这是推动材料科学技术发展的一个关键因素。

目前,世界各国对新型材料的研究开发、生产和应用都十分重视,并把它列为带头学科和优先发展领域。如美国的研究机构、企业和大学均有许多课题进行新型材料的研究,据 1972 年美国国家科学院的白皮书报告,全美科技人员中有 25% 从事材料问题的研究,而且还有 25% 以某种形式参与材料的研究;1986 年《科学的美国人》杂志在专题讨论有关材料研究的文章中指出“材料科学的进展决定了经济关键部门增长速率的极限范围”;1990 年,美国总统的科学顾问更是明确地说“材料科学在美国是最重要的学科”;美国的许多技术性问题是采用新型材料来解决的,如高性能的飞机就是一个突出的例子。我国也在 1986 年把新型材料列入了“863 高技术计划”的 7 个重点发展领域之一;在国家基础研究重大项目 973 计划中选择的 6 个研究领域,材料就是其中之一;另外在国家科技攻关计划、火炬计划、高技术研究成果产业化等项目中,新型材料都是重要内容。在世界范围内,一场研制新型材料的高技术角逐正方兴未艾,新型材料产业化的竞争也愈演愈烈,无论在我国,还是全世界,新型材料的发展已进入了一个黄金时期。

## 1.2 新型材料的特征与分类

### 1.2.1 新型材料的特征

#### 1. 新型材料获得途径与传统(普通)材料不同

新型材料是过去不曾有、自然界中亦不存在的人造材料。传统的材料是利用天然原材料加以提炼、加工而成的。而新型材料是在研究并掌握了物质结构、变化规律的基础上,根据人类的需要,通过对原子、分子等的选择、组合,并创造必要的环境条件,得到的具有预期性能的物质,所以是人工合成或人工创造的。在新型材料的研究和制造中人们是主动的,原因有以下3点。

(1)研制新型材料是出于人类的主观需要,因而有明确的目的要求。此点自始至终贯穿于整个新型材料的研究、试验和制造过程中,因而是有目的的“创造”。

(2)新型材料的研制是在人类已掌握各方面必需知识的基础之上进行的。由于人类已经越来越多地掌握了物质结构及其变化规律,及由此对性能产生的影响,因此新型材料的出现绝不是偶然事件,也绝不是盲目的摸索,而是人类科学、技术发展的必然结果。现在探索和创造新型材料有以下3种途径。

①利用极限条件。如超高温、超高压、极低压等,以获得有特异性的原子排列特点的材料。

②通过形态和纯度的控制。如超细化、超薄膜化、多孔质化等设计和控制技术,创造出具有高纯度、完全结晶、非晶态等极限状态的新材料。

③材料复合。如金属、陶瓷、有机材料等的相互复合,利用其复合效应开发高性能材料。

(3)新型材料不像传统材料那样靠大规模、连续生产维持竞争能力,它们一般生产规模小,经营分散,更新换代快,而且品种变化频繁。

#### 2. 新型材料是多学科相互交叉、相互渗透、相互促进,综合研究的成果

新型材料的出现是多种学科相互交叉、渗透和互相促进,综合研究和进步的成果;是基础学科(如物理、化学、生物、数学等)与理化专业技术(如微电子、计算机、冶金学等)新成果交织在一起的成果。新型材料的研究、制造是以先进的科学、技术为基础的,是包括物理、化学、冶金学等多种学科综合研究和进步的成果。因此,其涉及面广,知识密度高。如果没有各种学科最新研究成果的指导或支持,新型材料的设计、研究是不可能的,即使有了设想和设计也不可能制造出来。

新型材料工业本身亦是知识、技术密集型的新产业,其产品——新型材料具有极高的附加价值。例如由精密陶瓷材料制成的人造齿售价高达1 000万日元/kg,而碳纤维达1~2万日元/kg,钢材仅为100日元/kg,可见其相差甚远。

#### 3. 新型材料具有高新性能,能满足尖端技术和设备制造的需要

新型材料,是高新技术、高新设备得以完成和实现的重要条件和保证。例如,不需高压和钢瓶,也不需要低温致冷设备和绝热保护来贮存氢是一项高新技术,是利用新能

源——氢的关键,但是如果没有新型的贮氢材料,这一高新技术是不可能实用化的;光导纤维的开发使光纤通信这一高新技术得到实际应用;高纯单晶硅半导体材料的研制成功,使集成电路问世,开创了微电子学这一新领域。而以新型材料砷化镓制作的电子器件比硅制器件的运算速度快 5~10 倍,甚至高达 100 倍,从而可使计算机的运算速度达到 100 亿次/s,所以新型半导体材料的出现才使对无线电波的控制有了希望。

令人可喜的是一大批超轻质、耐高温、耐腐蚀、超高强、超电导以及耐超低温等极限材料已经成为航天、海洋、新能源、生物工程以及信息技术等领域的主要应用材料。

#### 4. 新型材料发展的驱动力由军事需求向经济需求转变

回顾 20 世纪,由于国防和战争的需要,核能的利用和航天航空技术的发展,成为新型材料发展的主要驱动力。

而在 21 世纪,卫生保健、经济持续增长以及信息处理和应用等将成为新型材料发展的最根本的动力。工业和商业的全球化更加注重材料的经济性、知识产权价值和其与商业战略的关系,新型材料在发展绿色工业方面也会起重要作用。未来新型材料的发展将在很大程度上围绕如何提高人类的生活质量而展开。

#### 5. 新型材料的开发与应用联系更加紧密

现代社会经济的发展要求新型材料的开发必须与其具体应用紧密相连,没有明确目的的研究开发往往得不到足够的资金支持,而且研究成果也很难转化为生产力。针对特定应用目的开发新型材料可加快研制速度,提高材料的使用性能,便于新型材料走向实际应用,并且可减少材料的“性能浪费”,从而节约了资源。

推进新型材料的研发及其产业化的关键是加强材料科技研究与商业应用的联系,这就要求新型材料研究要预先进行商业化应用考虑,并开展相应的应用研究工作。

#### 6. 新型材料应注重与生态环境及资源的协调性

面对资源、环境和人口的巨大压力,世界各国都在不断加大生态环境材料及其相关领域的研究开发力度,并从政策、资金等方面都给予更大支持。材料的生态环境化及其产业在资源和环境问题制约下满足经济可承受性,是实现可持续发展的必然选择。环境协调性已经成为研究开发新型材料的指导思想。发展新型材料和改造基础材料更重视从生产到使用的全过程的影响,如资源保护、生产制备过程的污染和能耗、使用性能和回收再利用的问题等。

生态环境材料的三个特征是:优异性能并节约资源、减少污染和再生利用。目的是实现资源、材料的有机统一和优化配置,达到资源的高度综合利用以获得最大的资源效益和环境效益,为形成循环型社会的材料生产体系奠定基础。

因为新型材料具有极其重要的作用,所以受到世界各国的高度重视,竞相开展研究工作,投入大量人力、物力、财力,从而加速了新型材料的发展。

应该指出,新型材料和传统材料并无明确的界限,新型材料的发展必须以传统材料为基础,而且从数量和影响看,传统材料仍将占有十分重要的地位,但是要实现质量的不断提高,品种的不断增加,性能的不断改进和成本的不断下降,就必须对传统材料开展更多、更深入的研究工作。传统材料在很多情况下会发展成为新型材料,而新型材料又推动了

传统材料的进一步发展。目前新型材料已成为各种高新技术发展的关键,如高效燃气轮机和内燃机,太阳能的利用,磁流体发电、高能蓄电、超导输电等,均需使用各种新型材料。因此,加强新型材料的研究和开发势在必行。

### 1.2.2 五彩缤纷、绚丽多彩的材料世界

材料世界门类繁多、五花八门、多种多样,用途广泛,真可谓“五彩缤纷、绚丽多彩”。世界各国和不同学科的科学家,对材料的分类方法不尽相同,因此材料的分类方法也没有一个统一的标准。

#### (1) 按材料使用性能或用途的侧重点不同分类

可把材料分为结构材料和功能材料两大类。结构材料是着重于利用其力学性能的一大类材料,它是机械制造、工程建设、交通运输、能源乃至航空航天等各种工业的物质基础。提高质量、增加品种、降低成本仍是其重要任务。另外,开发新型结构材料,满足高强度、高韧性、耐高温、耐磨、耐蚀、抗辐照等性能要求也是急需解决的关键问题。人们可喜地看到新型陶瓷结构材料、复合材料和聚合物结构材料的相继开发,为结构材料注入了新的生命力,正在受到高度重视。

功能材料则是指除强度之外还具有其他功能的材料,即侧重于以特殊的物理、化学性能为主的材料。它们对外界环境具有灵敏的反应能力,即对外界的光、热、电、压力等各种刺激可以有选择地完成某些相应的动作,因而具有许多特定的用途。电子、激光、能源、通信、生物等许多新技术的发展都必须有相应的功能材料。可以说,没有众多功能材料的出现,就不可能有今日科学、技术的飞速发展。与结构材料相比,功能材料的发展尤为突出,并因此而使材料科学进入了一个崭新阶段。

#### (2) 在工程上,或从成分、特性的角度分类

可将材料划分为金属材料、无机非金属材料(包括陶瓷、半导体等)、聚合物材料以及复合材料4大类。每种材料各具不同的结构特性和功能特性。

国外也有把固体材料分成金属材料、无机非金属材料、聚合物材料、复合材料和半导体材料5类。

#### (3) 按材料应用对象的不同进行分类

可将材料分为结构材料、电子材料、航天航空材料、汽车材料、核材料、建筑材料、包装材料、能源材料、生物医学材料、信息材料等。

#### (4) 按材料的某种特殊用途(功能)分类

可将材料分为超导材料、贮氢材料、形状记忆材料、信息材料、非晶态材料、磁性材料、生物医学材料、机敏材料、智能材料等。

#### (5) 按材料的结晶状态进行分类

可将材料分为单晶材料、多晶材料、非晶材料、准晶材料以及液晶材料等。

#### (6) 按材料的物理性能分类

可将材料分为高强度材料、高温材料、超硬材料、导电材料、绝缘材料等。

#### (7) 按材料发生的物理效应分类

可将材料分为压电材料、热电材料、铁电材料、光电材料、激光材料、磁光材料、声光材



料等。

#### (8) 从化学的角度进行分类

可将材料分为无机材料与有机材料。

#### (9) 传统材料及新型材料则是另外一种对材料的分类方法

传统材料是指已在大量生产、价格一般较低、在工业应用上已有长期使用经验和数据  
的材料。新型材料则指具有优异性能的高科技产品、正在努力商业化或研制之中、并具  
有一定保密性的材料。以上的划分方法有一定的相对性,新型材料解密后,开始商业化及大  
量生产并积累了经验之后,就成为传统材料;也可能一些传统材料采用特殊高科技工艺加  
工后,具有了新的、更优良的性能,则就成为新型材料。

## 1.3 材料的成分、结构与性能之间的关系

材料的所有性能都是其化学成分和其内部的组织、结构在一定外界因素(载荷性质、  
应力状态、工作温度和环境介质)作用下的综合反映,它们之间有很强的依赖关系,相辅相  
成,而又是不可分割的,它们是材料科学的核心,同时又是认识和开发新型材料的理论基  
础。

### 1.3.1 材料科学的“四要素”与“五要素”

材料科学是研究各种固体材料的成分、组织结构、制备加工工艺与性能之间关系的科  
学。它包含 4 个基本要素:材料的合成与制备、成分与组织结构、材料特性和使用性能。  
这 4 个基本要素既概括了材料科学的范围,又共同支撑着材料科学,它可用如图 1.2 所示  
的四面体来表示。四面体的各顶点为材料的成分/组织结构、制备合成与加工工艺、材料  
的固有特性和使用性能。

材料的成分/组织结构反映材料的本质,是决定其性能的内在因素。它包含材料的原  
子结构、结合键、原子排列方式(晶体与非晶体)和组织状态(显微组织、晶体缺陷和冶金缺  
陷等),是认识材料和开发材料的理论基础。材料的制备合成与加工工艺,着重研究获取  
材料的手段,以工艺技术的进步为标志,其方法和对性能影响随材料种类的不同而不同。  
材料的固有特性表征了材料固有的物理性能(如电、磁、光、热等性能)、化学性能(如抗氧  
化和抗腐蚀、聚合物的降解等)和力学性能(如强度、塑性、韧性等)等,是选用材料的重要  
依据。使用性能或服役性能则是把材料的加工和服役条件相结合来考察材料的各种行  
为,它往往成为材料科学的最终追求的目标。

材料科学的四要素之间有很强的依赖关系,相辅相成而又不可分割的。工程技术  
的发展促进了材料科学的深入,而材料科学的新发现又推动材料制备技术的发展。

考虑到四要素中的材料“成分”和“组织结构”不能等同,例如相同成分的材料通过不  
同的合成或加工工艺,可得出不同的组织结构,从而材料的性能或使用性能都不会相同。  
因此,应该把它们区分开来,则材料科学与工程组成由四面体变成如图 1.3 所示的六面  
体。这种改变不但赋予材料设计一个恰当的位置,而且使用性能与材料特性的关系就更  
加明确了,即前者是后者在不同环境(温度、气氛与受力状态)下的表现。