

科技素质教育丛书

丛书组编 杨叔子



# 人类文明的基石 ——材料科学技术

● 谢长生

华中理工大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY PRESS



科技素质教育丛书

主 组 编 杨叔子

# 人 类 文 明 的 基 石

## — 材料科学技术



● 谢长生

华中理工大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

人类文明的基石——材料科学技术/谢长生  
武汉:华中理工大学出版社, 2000年6月  
ISBN 7-5609-2188-4

I. 人…

Ⅱ. 谢…

Ⅲ. 材料科学-普及读物

IV. TB3-49

## 人类文明的基石 ——材料科学技术

谢长生

责任编辑:徐正达  
责任校对:郭有林

封面设计:刘 卉  
责任监印:熊庆瑜

出版发行:华中理工大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经销:新华书店湖北发行所

录排:华中理工大学出版社照排室

印刷:华中理工大学出版社沔阳印刷厂

开本:850×1168 1/32 印张:7 插页:2

字数:160 000

版次:2000年6月第1版 印次:2000年6月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5609-2188-4/TB·48

定价:9.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

## 内 容 简 介

本书以近年国内外报道的资料为背景材料,从社会需求对材料发展的作用、材料体系种类及发展动态、典型材料性能、材料合成和加工新方法、材料与环境保护、材料设计等方面为读者浏览神奇而又广阔的材料王国提供一张粗线条的导游图。

# 序

世界的变化,日新月异,目不暇接;中国的发展,滚滚向前,势不可挡。在北京大学百年校庆盛典上,江泽民同志深刻指出:当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济已见端倪,国力竞争日趋激烈。其中,科技的竞争,特别是高科技的竞争是关键,是要害;而人才的竞争,特别是人才素质的竞争是基础,是根本。求本之长,必固其根本,欲厦之高,必牢其基础,这是常识。

“科学技术是第一生产力”这一深刻论断,充分表明了大力发展科学技术的重要性与迫切性。没有现代科学,一打就垮,永远受制于人,受人宰割。历史的教训,我们能忘记吗?“科学技术是精神文明建设的重要基础”这一卓越见解,有力揭示了大力普及科学技术的重要性与迫切性。普及科学技术,就是要普及科技知识,传播科学思想,推广科学方法,坚持科学精神的求真求实的人文本质,发掘科学中的丰富的人文内涵。特别是弘扬科学与人文相融合的精神,发挥人作为万物之灵的为真理而斗争的能动性,总之,就是要提高国民素质。没有优秀素质,没有民族精神,一个国家、一个民族,就会异化,就会走邪,就会不打自垮,宁愿受人宰割,自甘为人奴隶。

缘于此,在湖北省新闻出版局领导与组织下,我们参加了“提高国民素质系列丛书”的组织、编写与出版工作,承担了科技素质教育这一部分。考虑到高科技的发展是

当今世界关注的焦点，而西方的“经济合作发展组织”(OECD)将高科技划为 8 个方面：信息、能源、材料、生命、环境、空间、海洋以及软科技；同时考虑到基础科学的重要，如同江泽民同志所讲，“基础研究是科学之本和技术之源”，因此，数学、物理、化学这些基础科学应该涉及；还考虑到世界各主要国家都极为重视“先进制造技术”，没有制造及其进步，也就没有生产资料、消费资料、一切技术手段及其进步，因此，“先进制造技术”也应该涉及。基于这些考虑，我们这套《科技素质教育丛书》，就包含了以下 8 个内容：基础科学、信息、材料、能源、空间、海洋、生命与环境、先进制造。

目前，“科教兴国”作为我国发展的重要战略而提出、而实施、而不断加强。1999 年 12 月 14 日至 15 日，我国召开了“第二次全国科普工作会议。江泽民同志在贺信中作了重要指标，李岚清同志在会议上作了重要讲话。科普工作是“科教兴国”的重要内容，科学技术为亿万人民所掌握就能成为社会进步的巨大力量。在“科学的春天”阳光照耀下，科普系列书籍百花齐放，争芳斗艳，各显特色，各有千秋。我们这套《科技素质教育丛书》主要考虑到：一要重视发掘科技的人文内涵，力求科学与人文的交融；二要抓住重点，抓住范例，展开论述；三是主要面向高中文化程度以上的读者。当然，这只是一个设想与努力，这一设想与努力的实现还有待于不断地对编写内容进行增、删、改，不断地完善所编写的内容。在此，我们应感谢湖北省新闻出版局邱久钦局长和图书处同志给予的关心与支持！感谢作者的共同努力与辛勤劳动！感谢华中理工大学

出版社的大力支持。

我国社会主义建设事业高潮汹涌澎湃，已奔入新世纪、新千年，我们的社会主义祖国一定要在本世纪中叶达到邓小平同志所指出的第三步战略目标，我们要以大无畏的勇气，面对困难，抓紧机遇，迎接挑战，排除万难，去争取胜利。我们愿在这一伟大的时代中，为提高国民素质而尽到我们绵薄之力。

人孰无过？思孰无误？文孰无讹？书孰无错？书中的错误与不妥之处必然存在，愿读者及时告知，不吝指教。“嘤其鸣矣，求其友声。”这是我们虔诚的心愿。

谨为之序，聊达心情于万一。

中国科学院院士 杨叔子  
华中理工大学教授

2000年1月

# 目 录

|                   |      |
|-------------------|------|
| □ 绪论              | (1)  |
| □ 社会需求——材料发展的强大推力 | (9)  |
| 一、信息与材料           | (10) |
| 1. 信息获取           | (11) |
| 2. 信息传递           | (12) |
| 3. 信息存储           | (14) |
| 4. 信息显示           | (17) |
| 5. 信息处理           | (18) |
| 二、能源与材料           | (19) |
| 1. 燃料电池           | (20) |
| 2. 贮氢材料           | (22) |
| 3. 太阳能电池材料        | (24) |
| 4. 核能用稀有金属材料      | (27) |
| 5. 高能电池           | (29) |
| 三、航空、航天与材料        | (30) |
| 1. 航天飞行器用防热材料     | (32) |
| 2. 高比强度结构材料       | (35) |
| 3. 空间光学材料         | (37) |
| 四、军事与材料           | (38) |
| 1. 军事用结构材料        | (39) |
| 2. 军事用功能材料        | (40) |
| 3. 现代战争与新材料       | (44) |
| 五、人与材料            | (46) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 1. 血液相容性材料                 | (49)  |
| 2. 软组织相容性材料                | (51)  |
| 3. 硬组织相容性材料                | (51)  |
| 4. 生物功能材料                  | (52)  |
| 5. 生物降解材料                  | (52)  |
| 6. 药物传递材料                  | (53)  |
| <b>□ 材料的四大家族</b>           | (55)  |
| <b>一、金属材料:自身的潜力远未穷尽</b>    | (56)  |
| 1. 金属间化合物                  | (58)  |
| 2. 轻金属合金材料                 | (61)  |
| 3. 难熔金属及合金                 | (65)  |
| 4. 稀土合金材料                  | (67)  |
| 5. 形状记忆合金                  | (70)  |
| 6. 非晶态金属材料                 | (75)  |
| 7. 准晶合金材料                  | (78)  |
| <b>二、陶瓷材料:特殊环境中舍我其谁</b>    | (80)  |
| 1. 高温结构陶瓷材料                | (84)  |
| 2. 超硬材料                    | (90)  |
| 3. 功能陶瓷材料                  | (93)  |
| <b>三、高分子材料:源于自然、高于自然</b>   | (99)  |
| 1. 高分子工程材料                 | (101) |
| 2. 高分子功能材料                 | (105) |
| <b>四、复合材料:1 + 1 &gt; 2</b> | (111) |
| 1. 高分子(树脂基)复合材料            | (113) |
| 2. 陶瓷基复合材料                 | (119) |
| 3. 金属基复合材料                 | (126) |
| <b>□ 材料性能——千姿百态,绚丽多彩</b>   | (133) |

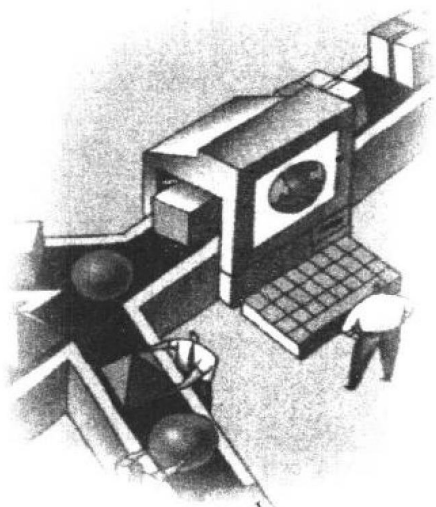
|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 一、力学性能:支撑世界不可或缺 .....    | (134) |
| 二、物理、化学性能:感知世界无微不至 ..... | (139) |
| 三、师法自然:永恒的话题 .....       | (145) |
| 1. 生物结构的优良特征 .....       | (147) |
| 2. 仿生材料学 .....           | (148) |
| 3. 智能材料 .....            | (151) |

## □ 材料的合成与加工——高新技术综合应用的大舞台

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| .....                                | (157) |
| 一、人造特殊环境:新材料的诞生之地 .....              | (158) |
| 1. 微重力条件下诞生的新材料 .....                | (159) |
| 2. 载能束在新材料制备中身手不凡 .....              | (160) |
| 3. 材料的自蔓延高温合成 .....                  | (164) |
| 4. 陶瓷的微波烧结技术 .....                   | (165) |
| 5. 材料的爆炸复合 .....                     | (167) |
| 6. 机械合金化 .....                       | (168) |
| 7. 纳米材料与纳米技术 .....                   | (169) |
| 二、材料产业化:最大效益原则 .....                 | (173) |
| 1. 材料工业:一个需要耐心的行业 .....              | (174) |
| 2. 综合竞争力:新材料开发与应用必须面对的问题 .....       | (176) |
| 3. 产、学、研结合:缩短新材料实用化进程 .....          | (179) |
| 4. 市场牵引与学科推动:纳米材料与纳米技术向我们走来<br>..... | (182) |
| 三、绿色材料:人类的责任 .....                   | (185) |
| 1. 绿色材料的主要内涵 .....                   | (186) |
| 2. 典型绿色材料 .....                      | (187) |
| 3. 降低环境负担的材料加工技术 .....               | (193) |
| 4. 绿色材料的评价方法:生命周期评估 .....            | (194) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| □ 梦想与追求——材料由经验设计到科学设计 ..... | (197) |
| 一、出发点与回归点 .....             | (199) |
| 二、微观与宏观 .....               | (200) |
| 1. 晶体结构与宏观性能 .....          | (200) |
| 2. 显微结构与宏观性能 .....          | (203) |
| 3. 复合结构与宏观性能 .....          | (204) |
| 4. 微观结构与宏观性能的定量关系 .....     | (204) |
| 三、希望之光 .....                | (206) |
| 1. 计算机模拟在晶体点缺陷计算中的应用 .....  | (206) |
| 2. 分子模拟方法及在 高分子材料中的应用 ..... | (207) |
| 3. $C_3N_4$ 的晶体结构预言 .....   | (209) |
| 4. 数据库、知识库技术在材料设计中的应用 ..... | (210) |
| 主要参考文献 .....                | (212) |

# 绪 论



REN LEI WEN MING DE JI SHI

——材料科学技术

人类文明的基石



人类居住的地球已运转了亿万年,人类自身的进化也大致经历了几百万年的时间。翻开人类进化史,我们不难发现,材料的开发、使用和完善贯穿其始终。从天然材料的使用到陶器和青铜器制造,从钢铁冶炼到材料合成,人类成功地生产出满足自身需求的材料,进而使自身走出深山、洞穴,奔向茫茫平原、辽阔海洋,飞向广袤太空。

在与自然界交互作用过程中,人类首先学会了生产和使用工具,使工具更耐用是人类先民不断发现新材料的动力。从石器时代、青铜器时代到铁器时代,强度更高、韧性更好、在特殊环境中(如高温、腐蚀、冲击等)的稳定性更强,成为对材料的主要性能要求。但是,随着人类的视野从身边的宏观世界向宇观和微观的延伸,突破自身感官的局限性,扩展自己感知、观察世界的能力,成为人类的强烈需求。人类需要了解:小至原子的迁移、亚原子粒子运动,大至天体演化、斗转星移;生物的遗传奥秘与无生命体内部的“呐喊”(小至金属内部马氏体相变,大至地壳运动都伴随有声波)……因此,材料的物理性能(主要指电、磁、热、声、光性能)、化学性能和生物性能等成为人类关注的热点,各类功能材料应运而生。

有了性能各异的各类材料,人们制造出了巨型飞机,环游世界不必经历凡尔纳笔下的斐利亚·福克所付出的艰辛 80 天;人们架设了“信息高速公路”,在“地球村”信步和交换信息,“天涯若比邻”成为现实;人们将人造卫星送入太空,利用精密的全球导航系统,使在蓝色海洋中航行的船只,可以避免“泰坦尼克号”的悲剧……对一般人而言,他们所看见的是蓝天上飞行的飞机,公路上奔驰的



豪华轿车,办公桌上放置的神奇电脑,家中使用的电冰箱和彩色电视机……难以见到称之为“材料”的东西。当然,这一现象不足为怪。但是,材料作为人类文明基石的作用是不容忽视的,犹如支撑万丈高楼的地基石一样,材料支撑着人类文明。因而,史学家用石器时代、青铜器时代和铁器时代作为人类文明进化的标志。

带着对未来的美好憧憬,人类跨入了 21 世纪。有人认为本世纪将是信息时代、知识经济时代,但是,在这样的时代中,材料的基石作用仍然无法改变。同时,材料的另一作用——高新技术的先导,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,集成度遵循著名的莫尔定律每 18 个月翻一番,线宽以 70% 的比例递降:1992—1994 年为 0.5 微米,1995—1997 年为 0.35 微米,1998—2000 年则为 0.25 微米。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集成。又如,由于控制环境污染方面的要求,在本世纪中,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 公斤,每升油可多行驶 0.5 公里。美国要求到 2003 年单位体积燃料的里程数由目前的 12 公里/升提高到 35 公里/升,这个目标的实现,37% 靠车辆的轻量化,40% 靠提高热效率,而这两项均与使用新材料直接相关。此外,太阳能的高效率利用、高功率燃料电池发电,均是以高性能材料的研制和开发为先导的。

新材料的开发和使用给人类生活带来的便利是实实在在的。在 21 世纪,人类在推进文明发展的同时将会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、人造胰、人造皮肤和人造血管等,还可以制造出



药物缓释系统材料,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三分之一;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。从图中可见,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材料,减少对地球矿藏的依赖,也是降低环境污染的有效措施。目前人们正在研制开发的复合材料、纳米材料、超合金、信息功能材料、灵巧和智能材料等,都具有这种特征。

要实现从原子、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材料,除了注重社会需求,还必须强调材料科学与工程领域自身的学科特征,更新研究方法,创造新的研究硬件环境。一般而言,材料科学与工程领域研究材料组成(不同尺度的结构和成分)、合成和加工方法、材料性能、寻找材料用途和使用四大主题及其相互关系,如图 1-2 所示。其中,“寻找材料用途和使用”提供了本学科与社会交互作用的通道,经由这一通道,社会向材料工作者提供需求信息,材料工作者向社会提供能满足需求的材料或材料产品;“合成和加工方法”与社会也存在一定的相互作用,这

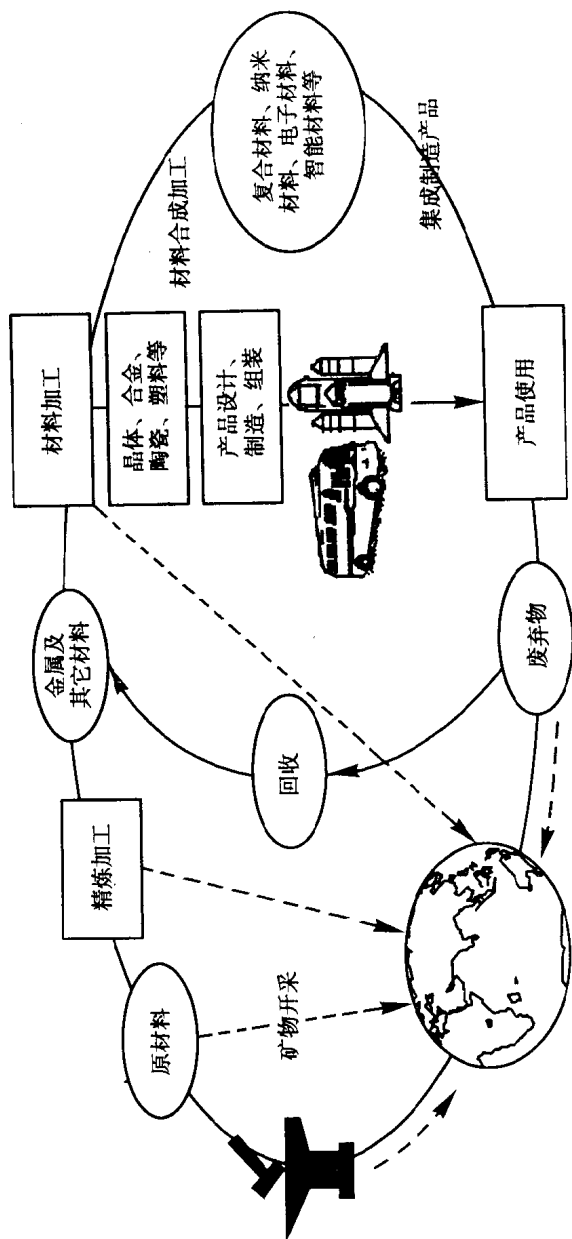


图 1-1 材料的“生命周期”示意图  
(虚线箭头表示可能的污染源)



主要体现在对环境的影响方面,例如,加工过程中污染物的排放、能耗大小等;“材料组成”主要研究材料内部的化学成分的作用、晶

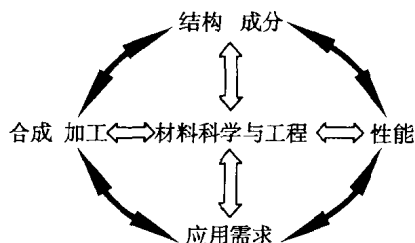


图 1-2 材料科学与工程领域中的四大主题及其相互关系

体结构、显微结构、复合结构的成因,以及这些结构对性能的影响;“材料性能”主要研究性能的评价方法、测试方法及影响因素。“材料组成”、“材料性能”、“材料合成和加工方法”是材料科学与工程领域研究的内核,它们与众多的基础学科(如物理、化学、力学等学科)和工程学科(如计算机、机械、电子、真空等学科)存在联系,因此材料科学与工程属交叉学科。科学技术高度发达的今天,材料科学与工程领域发生着日新月异的变化,主要特征体现在:

① 新构思、新观念不断涌现,成为此领域迅速发展的强大推力。例如,材料低维化,由三维块体材料向二维薄膜材料、一维纤维材料、零维原子簇和纳米粉体材料发展;材料梯度化,利用特殊制备方法可将不同的两种材料平缓地、无界面地连接在一起;材料复合化,包括纤维复合、颗粒复合、纳米复合、原位复合等;材料仿生化,师法自然可以做到结构仿生(形似)和功能仿生(神似);材料智能化,集传感、执行功能为一体。

② 营造特殊环境,利用极端手段,制备特殊材料,获取特殊性能。例如,在微重力条件下制备超纯晶体材料、特殊自润滑材料、优良磁性材料和超导材料等;在高温、高压条件下合成金刚石、氧化物和非氧化物超硬材料;在快速冷却条件下生产非晶态材料、微