

科

学

家

谈

未

来

科

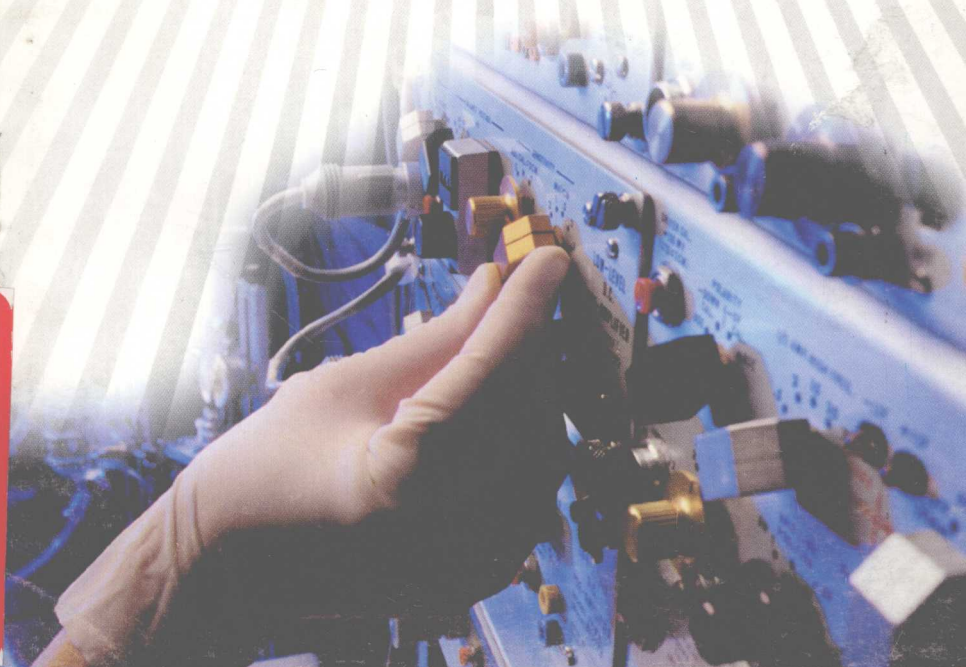
技



材料科学与技术

黄 勇 / 编著

◆ 湖南师范大学出版社



TB3
184

材料科学与技术

黄 勇 编著

湖南师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

材料科学与技术 / 黄 勇编著 . — 长沙 : 湖南师范大学出版社, 2001.6

(科学家谈未来科技)

ISBN7—81081—048—0/G·025

I . 材 ... II . 黄 ... III . 材料科学 IV . TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 030216 号

材料科学与技术

编 著 : 黄 勇

策 划 : 龚维忠

组 稿 : 孙利军

责任编辑 : 张宽信

责任校对 : 佳 明

湖南师范大学出版社出版发行

(长沙市岳麓山)

湖南省新华书店经销 湖南省岳阳印刷厂印刷

850×1168 32 开 3.5 印张 79 千字

2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

印数 : 1—5200 册

ISBN7—81081—048—0/G·025

定价 : 7.00 元

总 序

徐冠华

(国家科学技术部部长)

《科学家谈未来科技》丛书与广大读者见面了。它们精练地介绍了现代科学技术基础知识，并主要论及其未来发展趋势。

丛书共有 14 册，它们涉及物理世界、化学世界、宇宙繁星、茫茫太空、广阔深邃的海洋、人类居住的行星地球、生命之谜、太空生存与地外文明、太空航行、绿色能源、造万物的材料、制造自动化、信息世界、社会可持续发展等。全书图文并茂，向读者展现出自然界的图景，以及人类在生存和发展中改变自然环境的多种技术。它们包含着大量的知识，引导读者不断地追求知识，进入无限宽广的科学技术世界。

在人类发展的历史长河中，科学技术是人类创造的最成熟的知识体系，正是它使人类认识自然、认识自我，摆脱愚昧，从而建立起近现代文明，并将一直指引着人类走向更加文明的世界。

在构筑人类文明的过程中，中华民族曾创造了灿烂辉煌的古代文明，但自近代以来，我们落后了。华夏儿

女从反思中觉醒，并经一百多年的艰苦奋斗，才从近代社会转向了现代社会。在未来社会中，更需要崭新的科学技术知识，这就使我们立志，必须终身不断地学习，创造崭新的知识，最大限度地从整体上提高全民的科学文化素质。惟其如此，在新的历史时期，中华民族才能再现辉煌。

丛书的宗旨就在于启迪广大民众，特别是广大青年，在进入人类知识的海洋前，奠定牢固的基础，开拓视野，激起求知的兴趣，立志攀登科学技术的高峰。

徐志华

2001年1月3日

前 言

材料是人类用于制造生活和生产用的机器、构件、器件和产品的物质，是人类赖以生存和发展的物质基础。每一种材料的发现、发明和使用，都会把人类支配和改造自然的能力提高到一个新水平。人类历史已证明材料是人类文明和社会发展的物质基础和先导，是人类进步的里程碑。

随着人类社会进步，科学技术的发展，不断出现新材料，反之新材料发明与应用又促进科学技术发展和人类社会的进步。在现代文明社会中，高新技术的发展更是紧密依赖于新材料的发展。因此，新材料的研究开发与应用，反映一个国家科学技术的水平与工业化的程度。

新材料是指那些新出现或正在发展中的具有优异特性和功能并能满足技术进步所需要的新型材料，新材料的出现和使用往往会给技术进步、新产业形成，乃至整个经济和社会进步带来重大影响。到了 20 世纪 60 年代，人们把材料、信息与能源誉为当代文明的三大支柱。20 世纪 70 年代，又把新型材料、信息技术和生物技术看做是新技术革命的主要标志。世界上每年都有成千上万种新材料品种出现，可以预言，谁掌握了新材料，谁就掌握了未来高新技术竞争的主动权。

根据基本成分，新材料可归纳为新金属材料（new metallic materials），无机非金属材料（inorganic non-metallic materials），高分子材料（polymer materials），先进复合材料（advanced composite materials）四大类。根据材料性质可分为结构材料 and 功能

材料。根据用途可分为能源材料、航空航天材料、信息材料、生物医用材料、汽车材料等等。当前最引人关注的重点材料有以下六类：光电子信息材料、先进复合材料、先进陶瓷材料、新型金属材料、新型高分子材料、超导材料。

现代科技发展，促使新材料研究日益向微观层次深入，多种学科互相交叉、渗透，需要各有关学科包括物理、化学、数学、力学、机械、冶金、化工、电子、计算机等领域专家的协同努力，用新的现代化仪器和新的思想，集中探索研究材料中的微观现象，把宏观性能和微观结构的联系更深刻地揭示出来，总结规律，建立专家系统数据库，按预定的性能进行新材料设计和制备，这是当前材料科学技术进步的必然趋势，也是高技术新材料发展的重要方向和趋势。

当代材料科学技术，正面临新的突破，诸如高温超导材料、纳米材料、先进复合材料、生物医用材料、蓝光材料，以及材料的分子、原子设计等，正处于日新月异的发展之中。我国新材料研制工作起步于20世纪50年代，至今已形成一支能攻坚的科研队伍，创造了显著的经济效益和社会效益，为中国高技术发展和技术进步（核技术，卫星技术）作出贡献，据不完全统计（1988），新材料产值已超过70亿，利税15亿，创汇4000多万美元。我国在新材料及其制备技术的某些方面，拥有明显的资源优势和技术优势，如稀土材料、无机非浅性光学晶体和精细陶瓷材料等。立足我国国情，巩固和发展这些优势，增大科技投入，强化系统集成，将使我国新材料及其制备技术领域在未来的国际竞争中占有一席之地。本书主要介绍材料科学的内涵，并通过金属材料、先进陶瓷材料、新型玻璃和高分子材料的基本知识和应用来阐述新材料技术的基本内容，希望能让读者对材料科学与技术有个基本了解。

目 录

前言	(1)
第一章 材料科学基础	(1)
§1 材料是人类历史发展的里程碑	(1)
§2 材料科学与工程的内任联系	(3)
§3 材料的四要素	(4)
§4 材料中的缺陷是优点还是缺点	(5)
§5 微观原子的排列造成晶态和非晶态之别	(6)
§6 小小的电子结构决定了材料的奇异性能	(8)
第二章 先进陶瓷材料	(11)
§1 材料家族的后起之秀——先进陶瓷材料	(11)
§2 坚韧不拔的结构陶瓷	(12)
§3 多功能陶瓷	(13)
§4 陶瓷刀具	(14)
§5 陶瓷可以做发动机吗	(16)
§6 清澈透明的陶瓷材料	(17)
§7 绝缘陶瓷	(19)
§8 有感知和能量转换功能的陶瓷——敏感陶瓷	(21)
§9 航天器保护神——烧蚀材料	(21)
§10 人类健康离不开的陶瓷——生物医用陶瓷	(23)

§ 11	网络的神经——光纤材料	(25)
§ 12	绿色能源材料——燃料电池	(26)
§ 13	高温超导陶瓷	(28)
§ 14	微型陶瓷马达	(30)
第三章	金属材料	(35)
§ 1	金属的大家庭	(35)
§ 2	钢铁是怎样炼成的	(38)
§ 3	金属结构材料	(41)
§ 4	削铁如泥的现代刀具	(44)
§ 5	保持美貌的金属不锈钢材料	(46)
§ 6	金属高温材料	(49)
§ 7	会“吸”铁的磁性金属材料	(51)
§ 8	与电流打交道的金属材料	(53)
§ 9	和光有关的材料	(57)
§ 10	会发声的金属	(62)
§ 11	特殊的金属材料	(66)
第四章	新型玻璃	(71)
§ 1	会变色的玻璃	(71)
§ 2	摔不坏的玻璃——微晶玻璃	(72)
§ 3	神奇的光导玻璃纤维	(74)
§ 4	有微孔的玻璃	(75)
§ 5	原子能技术中大显神通的玻璃	(77)
§ 6	把金属做成玻璃	(79)
第五章	高分子材料	(80)
§ 1	什么是高分子材料	(80)
§ 2	曲折的发展历程	(82)

§ 3 用途广泛的塑料·····	(85)
§ 4 橡胶——汽车和飞机离不开的材料·····	(92)
§ 5 琳琅满目的化学纤维·····	(94)
§ 6 巧夺天工的功能高分子材料·····	(96)
结束语·····	(100)

第一章 材料科学基础

§1 材料是人类历史发展的里程碑

人类发展的历史表明，材料是社会进步的物质基础和先导，是人类进步的里程碑。纵观人类的历史便知它是人类利用材料的历史，可以清楚地看到，每一次重大的发现，都会把人类支配和改造自然的能力提高到一个新的水平，给社会生产力和人类生活带来巨大的变化，把人类物质文明和精神文明向前推进一步。而人类历史的每一个阶段，往往都是以某一种代表性的材料为特征的。图 1.1 形象地显示了人类的进化和材料发展的关系。

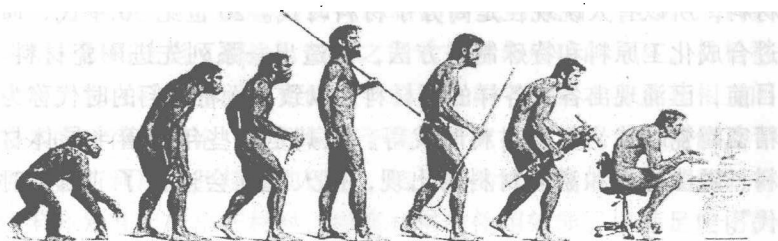


图 1.1 人类的进化和材料发展的关系

早在 100 万年以前，人类开始用石头做工具，后来人们称之为旧石器时代。1 万年以前，人类知道对石头进行加工，使之成

为更精致的器皿和工具，从而进入了新石器时代。在新石器时代，人类还发明了用粘土烧制陶器。后来，人类创造了炼铜技术，生产出各种青铜器物，从而进入了青铜时代。这是人类大量利用金属的开始，是人类文明发展的重要里程碑。如在我国河南安阳殷墟出土的商代晚期的司母戊大方鼎（重 875 公斤），就反映了当时中国青铜制造的高超技术和宏大规模。

5 000 年前，人类已开始用铁。公元前 12 世纪，在地中海东岸已有很多铁器。由于铁比铜更容易得到，更好利用，因而在公元前 10 世纪，铁器工具比青铜器工具更为普遍，人类从此进入了铁器时代。随着冶炼技术的进步和炼钢技术的发明，人类又进入了钢铁时代。在此前后，铜、铅、锌也得到了大量应用，而后铝、镁、钛和稀有金属相继问世，从而金属材料在相当长的历史时期、尤其是 20 世纪使人类社会的生产力水平得到了重要的发展，推动了整个世界文明的发展。20 世纪初，随着人工合成的高分子材料问世，塑料等有机高分子材料已逐步渗透到人类社会生活的方方面面，如今人类生活的各行各业均离不开有机高分子材料，所以有人说现在是高分子材料时代。20 世纪 50 年代，通过合成化工原料和特殊制备方法，制造出一系列先进陶瓷材料。目前，已涌现出各式各样的新材料，以致有人将我们的时代称为精密陶瓷时代、复合材料时代等。尤其是近些年随着半导体材料、磁性材料和激光材料的出现，使人类社会进入了“信息时代”。

总之，人类社会的进步，几乎无不与材料密切相关。每个时代的发展均是以某一种典型的材料为特征的。相反，如果没有这些关键材料的出现，有些技术往往得不到发展或者发展迟缓。如 20 世纪 50 年代镍基合金的出现，将材料使用温度由原来的

700℃提高到900℃，从而导致了超音速飞机的问世；而高温陶瓷的出现则促进了航天飞机的发展。所以说，材料是人类社会发展的基石，是人类历史发展的里程碑。

§2 材料科学与工程的内在线索

“材料”是早已存在的名词，而“材料科学”的提出却是20世纪60年代初的事。1957年苏联人造卫星首先上天，美国朝野上下为之震惊，认为自己落后的主要原因之一是材料落后，于是在有些大学相继成立了十余个材料科学研究中心，从此，“材料科学”这个名词被广泛地引用了。材料科学所包涵的内容往往容易理解为研究材料的组织、结构和性质之间的关系，探索其自然规律，这属于基础研究。而实际上材料是要面向实际，为经济建设服务的，是一门应用科学。研究与发展材料的目的在于应用，一方面材料必须通过合理的制备工艺才能制备出具有实用价值的工程材料来；另一方面材料在使用过程中的情况属于工程问题。因此，“材料科学与工程”也就应运而生。

材料科学与工程就是研究材料的合成与制备、组成与结构、性能、使用效能（用途）四者之间的关系与规律的学科。材料科学与工程在科学方面主要侧重于研究这四个要素本身及其相互间关系的规律和理论，主要偏重于基础研究；而工程方面则侧重于研究如何利用这些规律和理论，结合新的或更有效的合成和制备技术开发并生产出新材料，提高材料的使用效能，以满足使用的要求，因而它主要偏重于应用研究。

材料科学与工程的主要学科目的是：通过研究这四个要素之间相互作用的关系，揭示它们之间相互作用的规律，发展材料设计、制备、性能表征、使用情况和可靠性评价体系等理论。因而，在

材料的发展中,科学与工程彼此密切结合,构成一个学科整体。

§3 材料的四要素

材料科学与工程就是研究材料的合成与制备、组成与结构、性能、使用效能四者之间的关系与规律的学科,这四个方面的通常就称为材料的四要素。材料的四要素对材料来讲都是非常重要的,他们是相互依存、相互关联的。四要素之间的关系可以用一个四面体来表示,如图 1.2 所示。

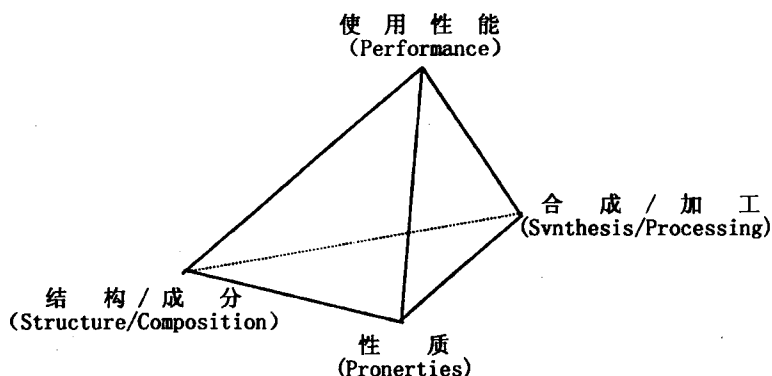


图 1.2 材料的四要素之间的关系

所谓结构包括能用肉眼或低倍放大镜观察到的宏观结构,能用光学或电子显微镜观察到的微观组织和能用场离子显微镜观察到的原子像,以及电子结构等;所谓性能,包括力学性能、物理性能、化学性能,以及冶金和加工性能等工艺性能;所谓合成或加工,是指包括材料的制备、加工、后处理(循环处理)在内的各项生产工艺;所谓使用性能,则是指材料的应用效果和反响(例如有些材料在使用过程中组织结构不稳定,或易受环境的影

响,使性能迅速下降)。随着科学技术的不断进步和发展,对材料的要求越来越高,材料的制备工艺显得格外重要。比如陶瓷材料虽然有很多的优点,但如果不通过合理的工艺改善陶瓷的性能,降低生产成本,将影响陶瓷材料的实际应用。

§4 材料中的缺陷是优点还是缺点

世界上不存在毫无缺陷的固体材料,所有材料都包含杂质、裂纹及其他缺陷。这些缺陷对材料性质带来了极大的影响。缺陷按其几何尺度分为零维缺陷(点缺陷)、一维缺陷(线缺陷)、二维缺陷(面缺陷)、三维缺陷(体缺陷)四类。

大家都知道这些缺陷的存在会降低材料的力学、电学性质。如很多材料的破坏都是因为该材料中存在的裂纹逐渐延伸直至使材料断裂,比如我们在撕一块布的时候,往往先在布上划一个小口,再用力拉的时候布就很容易被撕开。但同时我们也可以利用这些材料的缺陷为人类造福。下面我们主要从材料的缺陷为人类所利用的一面进行阐述。

著名学者弗伦克尔和肖特基曾指出,材料中的点缺陷不足为奇,它们是由于材料中原子不规则热运动的结果。这种热运动就好比是井然有序的教室里总有调皮的同学站起来离开了自己的座位,挤到别的座位上或站在座位之间,这样就留下了空位。材料在较高温度下,总有一些原子获得足够的动能,离开材料的正常位置,同时留下空位。这些原子或是留在材料的表面,或是进入正常点阵位置之间。这类点缺陷对半导体技术有重大意义,存在这类点缺陷时,正常原子的位置可以被另外一种化学元素的原子占据,如在硅晶体中加入一些磷原子,这些磷原子有可能占据硅原子的位置,由于磷原子有一附加的外层电子,此电子很容易为

热能渐渐激活而释放到整个晶体点阵中去，成为半导体中附加的自由运动的载流子。这样在硅晶体中加入一定量的磷元素之后，硅中的自由电子的浓度增高了。与此相比，若在硅晶体中加入硼原子，由于硼原子比硅原子少一个电子，因而硼原子有接受一个电子的倾向，而在晶体中形成“空穴”。在外电场的影响下，“空穴”可以移动，即形成正的载流子。那么我们就可以将含硼或磷的蒸汽控制扩散到单晶硅靠近表面的区域以后，形成“电子”和“空穴”交替导电的区域。在制造晶体管和微电子电路的所谓平面工艺中，广泛应用了这种效应。

如果没有材料的缺陷，钢铁材料将会非常坚硬，是现实材料的成百上千倍，很难找到一种加工办法将其加工成所需的形状，我们的祖先在铁器时代也不会制出一件件精美的兵器和农具。所以正是由于缺陷的存在才使得钢铁材料比较好加工。我们可以用“地毯折痕”为比喻，来形象的描述钢铁的这一塑性加工过程；例如有一条地毯上面有一条折痕，再从边上通过拉力使折痕移动，需要很大的拉力才能使其滑动。反之，用脚使折痕一步步地往前移却比较省力。这种“折痕”我们称之为位错，正因为位错的存在才使得材料的塑性变形变得更容易。

总之，材料的缺陷既有其有利的一面又有其不利的一面，我们应尽可能利用其为人类造福。

§5 微观原子的排列造成晶态和非晶态之别

众所周知，晶体与非晶体在宏观性质与外在表现上均有着明显的差别。晶体有规则的几何外形、固定的熔点、特征衍射谱线，非晶体却不是这样。常见的晶体有冰、食盐等，非晶体有玻璃、松香等。冰有固定的熔点（0℃），而松香与玻璃却只存在

软化温度，没有固定的熔点。又如同种化学组成的晶态与非晶态的 X 射线衍射图谱存在显而易见的差别，如图 1.3 所示。所有的这些不同均是由二者微观原子的排列不同引起的。

晶体是由原子或分子经周期性排列组成的，在原子结构尺度上是短程有序，长程亦有序的。而非晶体却不是这样，在原子结构尺度上，像液体那样不存在原子或分子的周期性排列或长程有序，仅仅存在大小为几个埃的短程有序。简单来说就是晶态物质是“短程有序、长程亦有序”，而非晶态物质则是“短程有序，长程无序”。举个例子容易看明白，方石英晶体与非晶态石英的结构如图 1.4 所示。

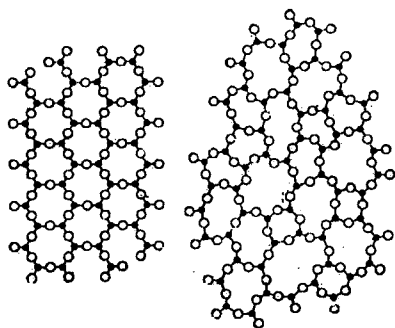
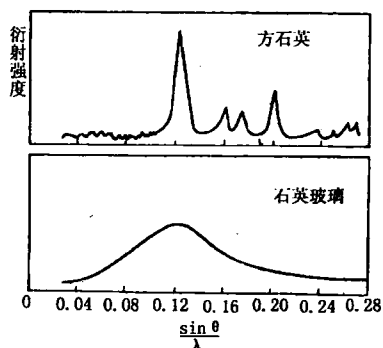


图 1.3 晶态石英与非晶态石英的 X 射线衍射图 图 1.4 非晶态石英与晶态石英的结构图

石英玻璃结构可描述为：每个硅原子与周围四个氧原子组成 $[\text{SiO}_4]$ 四面体，是有序的；各四面体之间通过角顶互相连接形成三维空间网络，但其排列是无序的。因此整个玻璃是一个不存在对称性及周期性的体系。由图 1.4 可以看出，两者都有共同的四面体单元，不同的是在晶体结构中每个四面体都是有规则地和其他所有四面体保持一定方向及周期距离，而在石英玻璃中不存