

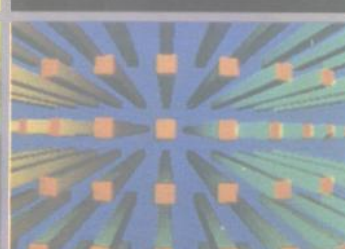
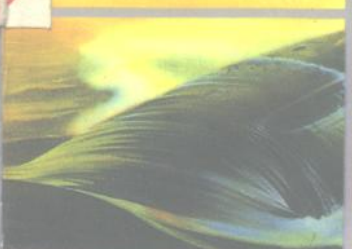
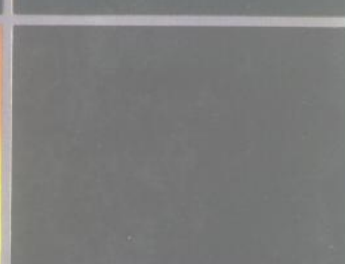
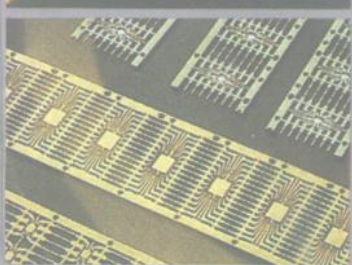
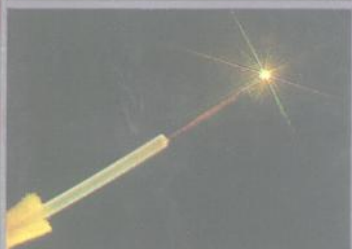


现代高技术丛书



新材料

中国科学技术协会主编
上海科学技术出版社



中国科学技术协会主编



现代高技术丛书

江东亮 闻建勋 编著
陈国民 张骥华

新材料

上海科学技术出版社

现代高技术丛书

新 材 料

中国科学技术协会主编

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所经销 上海市印刷三厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 5.75 插页 4 字数 150,000

1994年12月第1版 1994年12月第1次印刷

印数 1—3,000

ISBN 7-5323-3574-7/TB·24

定价: 9.20元

(沪)新登字108号

现代高技术丛书编审委员会

主 任： 朱光亚

副主任： 高 潮 闵桂荣

编 委(以姓氏笔画为序)：

王守觉	王希季	王国文	邓寿鹏	刘化樵
刘成彦	刘胜俊	江 东 亮	孙延军	孙毓彦
朱光亚	闵桂荣	李 士	杨沛霆	何国祥
张 晶	陈伯镛	陈树楷	陈章良	武明珠
赵文彦	胡成春	胡 英	钟义信	高 潮
郭景坤	顾孝诚	戴绪愚		

序 言

1992年10月召开的党的十四大，以邓小平同志建设有中国特色社会主义的理论为指导，确立了建立社会主义市场经济体制的目标。会议指出社会主义的根本任务是发展生产力，现阶段必须以经济建设为中心，加快改革开放和现代化建设步伐，才能推动社会全面进步。科学技术是第一生产力，经济建设必须依靠科技进步和劳动者素质的提高。现代科技突飞猛进，社会主义市场经济不断发展，我们不懂得、不熟悉的东西很多。因此全党同志不仅要抓紧学习政治、经济和先进经营管理，还要学习现代科学文化。

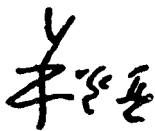
由中国科学技术协会组织编辑、上海科学技术出版社负责出版的《现代高技术丛书》，就是在1992年初小平同志视察南方发表重要谈话，举国上下学习讲话精神、加快改革开放和建设步伐的情况下开始筹划的。经过一年多的努力，现在开始与读者见面了。这套丛书是以高技术的若干领域为主要内容，请国内在这些领域中卓有成就的专家学者撰写汇编而成的，面向广大干部和非专业领域的科技工作者，是一套深入浅出的高级科普读物，重点是为各级领导干部学习高技术知识服务。

什么是高技术呢？需要指出的是，早在60年代这一名词就已在国外出现，但直到现在，对它的含义和范围，大家的认识仍有差异。一般认为，高技术是指以最新的科学发现创造为基础、具有重要应用价值的技术群。正是由于近半个世纪来科学技术日新月异的发展，高技术的内涵和范围也在不断发展和深化。50年代我国制定的《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要》，被列在12项重点任务前列的原子能技术、喷气与火箭技术、半导体技术、电子计算机技术和自动控制技术这5项技术群，就属于这种范畴，当时在我国称之为尖端技术。80年代我国开始引入高技术这一名词，到1986年初制定《高技术研究发展计划纲要》，被评选列入的7个技

术群是生物技术、航天技术、信息技术、激光技术、自动化技术、新能源技术和新材料技术。这一事例不仅说明我们应动态地理解高技术这一概念，而且要认识到，高技术代表着科学技术发展的前沿，代表科学技术在社会进步和经济发展中的巨大力量，对增强一个国家的综合国力起着重要作用。

既然高技术是以最新的科学发现与创造为基础的，需要指出的另一点是，发展高技术、尤其是要实现其产业化，还应十分注意其必须具备的条件，包括掌握有关科学技术知识的人才、研究开发工作所必需的先进仪器装备与大量资金的投入、具有良好素质的工人队伍、大批生产必须具有的经济规模、工艺装备的不断更新需求以及相关高技术的配套发展等等。因此，既要积极进取，又要有敏锐的市场意识，把握机遇，善于经营。

前不久，江泽民总书记在会见全国科技工作会议代表时指出，要进一步确立和贯彻邓小平同志关于科学技术是第一生产力的伟大战略思想，加速科技进步，为90年代乃至下个世纪经济、社会发展提供强大动力。并再一次强调，要在干部特别是领导干部中普及现代科学技术知识。《现代高技术丛书》的及时出版，让更多的人能从中了解高技术的内涵、现状和发展趋势，将是十分有益的。展望世纪之交科学技术的发展，当然还应包括自然科学、技术科学的基础性研究以及全球生态环境变化与影响等方面的深入浅出评述和预测。更全面地介绍与普及现代科学技术知识，为增强全社会的科技意识，各级领导加强对科技工作的领导，把科学技术切实放在优先发展的战略地位，还需要科技界同志们继续努力。



1993年6月3日

前 言

人类历史的发展过程本身就是一部材料发展的历史。一种新材料的出现,往往引起生产力大发展,推动社会进步。从石器、陶瓷器、青铜、铸铁、钢、塑料到形形色式新材料的出现,均标志着一个相应经济发展历史时期。特别是二次大战以来的近五十年,经济的快速发展远远超过过去几个世纪,这与全球范围高新技术产业发展和相应经济增长分不开,从而导致新产业革命加速到来。其基础无不与新材料、新功能的研制和开发休戚相关。例如:单晶硅的问世,导致以计算机为主体的微电子工业的迅猛发展;光导纤维的出现,使整个通信产业起了质的变化,一场信息革命随之而起;又如八十年代中,高温超导材料的发现,引来了全球范围的超导热,预计到2000年前后,就可逐步进入商品化。超导电机、超导磁浮列车、超导计算机和电子器件的应用,将使现有的强电、弱电、微电、光电等整个技术格局发生变化。

新材料发展的另一重要标志是可以根据需要进行设计新材料,一改传统根据材料来设计产品的观念。这种材料设计可以从组成、结构和工艺设计来实现所需功能。更加重要的一点是,一种新材料已经不是只具有某一单一功能,在一定条件下可出现多种功能。从而使材料为高新技术产品的智能化、微型化提供基础。

本书述及新材料各个领域,为了书写方便,仍沿用习惯材料分类方法,按金属、有机高分子和无机非金属材料来编写,重点则放在“新”字上,即传统、熟知量大面广已产业化的材料将不作论述。但对某些传统材料中出现的新性能、新应用则仍加以介绍。随着科学技术发展,各学科之间的相互交叉进一步加强,故很难严格按上述三类加以区分,例如复合材料有人将它列作第四大类材料,它实际上是由上述三大类材料为基础,根据功能要求排列组合而

成。故本书仍以三大类材料为主，在每类中相应增加叙述以此类材料为基的复合材料。读者也可阅读专门复合材料书籍，以补本书分散之不足。此外材料的某种功能又可能在三大类材料中均出现，因此从应用角度看，本书难免在分别叙述时有某些相重之处。

本书作为一本专门介绍材料的高新技术丛书，不仅可使各级领导对新材料发展有一个概貌和它对高新技术发展的基石作用加深了解，同时它又可作为其它领域非材料专业科技人员和管理干部的一部参考书。

本书第一章和第四章由江东亮撰写，第二章由陈国民、张骥华撰写，第三章由闻建勋撰写。由于编写时间仓促，再加上作者本身水平有限，而新材料又如浩瀚大海，日新月异，疏漏之处在所难免，如有不妥之处，望读者不吝指正。

江东亮 1993年11月

目 录

第一章 概论	1
一、新材料的含义.....	1
二、新材料的分类.....	2
三、新材料的基本性能.....	3
四、新材料在近代高新技术中的地位 and 作用.....	4
第二章 新型金属材料	6
一、高温合金.....	6
二、超塑性合金.....	12
三、形状记忆合金.....	19
四、阻尼合金.....	25
五、金属玻璃.....	30
六、超导材料.....	37
七、磁性材料.....	41
八、贮氢合金.....	47
九、半导体材料.....	51
十、敏感材料.....	56
十一、电子信息材料.....	62
第三章 新型有机材料	69
一、有机非线性光学材料.....	69
二、高分子导体.....	73
三、高分子压电材料.....	79
四、液晶材料.....	83
五、塑料光学纤维.....	88
六、光致抗蚀剂.....	91
七、光化学烧孔.....	94

八、高分子超离子导体	98
九、光电导聚合物	105

第四章 新型无机非金属材料	110
一、热机用高温结构陶瓷	110
二、陶瓷基复合材料	116
三、超硬材料	123
四、电子材料	128
五、敏感材料	133
六、光电子材料	137
七、激光和光通信材料	143
八、非晶态材料	149
九、无机涂层	154
十、超导材料	158
十一、生物工程材料	164
十二、灵巧材料	167

第一章 概 论

一、新材料的含义

人类物质和精神文明的进步和材料的发展史是息息相关的。从石器时代、青铜器时代、铁器时代发展到今天的高分子(塑料)、陶瓷(图 1-1),材料品种成千上万倍地增加,出现了各种各样新性能的材料,成为当前高新技术发展的支柱。从超级市场五光十色的生活用品到航天飞机、人造卫星,处处依赖于新材料的发展。为了与传统材料(天然原料制成材料)加以区别,本书只介绍与近代各种高新技术相关联的材料,即是采用新工艺、新技术合成的具有各种特殊机能(光、声、电、磁、力、超导、超塑性等)或者比传统材料在性能上有重大突破(例如超强、超硬、耐高温等)的一类材料,称之为新材料。

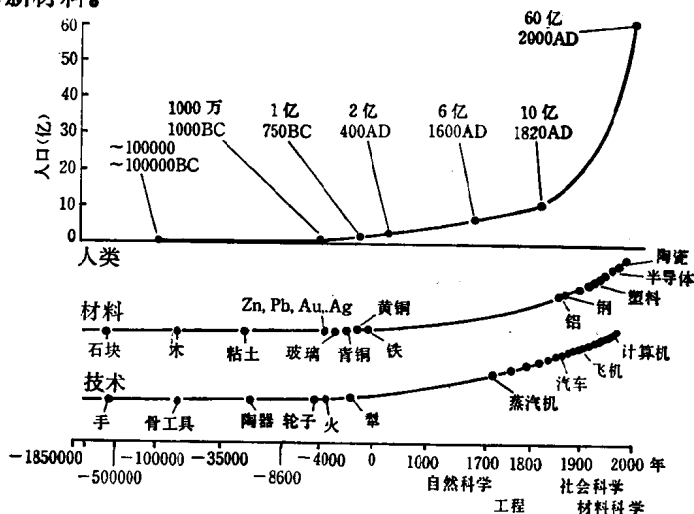


图 1-1 人类、材料和技术演变史

二、新材料的分类

一般,在学科上材料是按化学分类的,可分为金属、有机、无机三大类。也可如表 1-1 所列,从不同角度进行分类:

表 1-1 材料的分类

材 料 分 类	化学分类	金属材料	
		无机材料	
		有机材料	
	状态分类	单晶材料	
		多晶材料	
		非晶态材料	
		复合材料	
	物理性分类	高强材料	绝缘材料
		高硬材料	导电材料
		高温材料	超导材料
		透光材料	磁性材料
	功能性分类	铁电材料	激光材料
		压电材料	电光材料
		热电材料	声光材料
		光电材料	磁光材料
	用途分类	结构材料	光学材料
		耐火材料	感光材料
		耐酸材料	电工材料
		耐磨材料	电子材料

由于材料科学的发展,大量基础研究的开展,以及各学科之间的相互渗透,不仅从原子、分子性质,结合键性等等来区分材料,更重要的是对大量材料性能与其结构、工艺等关系的了解,使得原来可以比较容易区分的材料的属性变得模糊起来。例如传统上认为导电性是金属固有的,而如今有机、无机材料均可出现导电性。而复合材料的出现,更使它融多种材料性能于一体,或者出现截然不同的性能。因此从性能来分就可能某一性能三大类材料均要述及,

造成叙述累赘。故本书仍按化学分类来介绍,比较方便,但也难免有相互交叉,例如敏感材料,三大类都有,但每一类只涉及属于本类专业范畴的材料。另外为了与传统材料相区别,每一类材料均冠以“新型”二字以示区别。对大家熟悉的金属材料,如钢、铁、有色金属就不再叙述。同样如一般硅酸盐材料(水泥、玻璃、瓷器等)在无机材料篇中均略去。有机材料也如此。重点是与各高新技术发展和应用密切相关的各类新材料。

三、新材料的基本性能

近代化学和物理学的进展,为揭示物质的本质的奥秘提供了理论基础。有力地推动了人们对材料物性的认识。然而,生产和科学技术日新月异的发展对材料性能的要求也是无止境的。汽车是近代人类文明的一种代表。它的发展史可以代表对材料发展的这种无止境需求的典型例子。从老式汽车到近代赛车,可以说对三大类材料均是一种最好的指示。例如汽车发动机为了提高效率,节省油耗,减少污染,无论从发动机的设计、燃烧技术,还是材料的选择均作了不懈努力。又如为了安全、舒适,进一步提高汽车的全自动控制目标,为此发展了一大批传感器材料、高强度复合材料、有机高分子材料和陶瓷发动机材料。

因此对新材料来说,它的性能要求完全是迎合高技术各个领域发展的需求。因此除了一般金属、有机高分子和无机材料所固有性能之外,更多强调的是其特殊性能。例如声-光、电-光、热-电、磁-光、核性能、超塑、超弹等性能。而这些性能又与材料的组成、结构密切相关。组成的微小差异或结构差异均会使材料性能相差甚远。而对组分和结构的控制又在很大程度上依赖于制备科学的进步。因此可以毫不夸张地说,新材料、新性能(或者比原有性能有大的飞跃)的出现与新技术、新工艺的出现休戚相关。例如超大规模集成电路的出现除了要求硅单晶片尺寸质量外,又与各种平面工艺、分子束外延、扩散等新技术新工艺密切联系在一

起。又如高性能 Si_3N_4 、 SiC 、 ZrO_2 陶瓷出现高强、高韧,除了组分要求外,往往与新型气压烧结工艺 (Gas Pressure Sintering) 和热等静压工艺 (Hot Isostatic Pressure) 等相联系在一起。因为上述先进工艺保证了材料出现均匀、微细、致密结构,而这种结构是与强度、韧性存在着依赖关系的。也可以说即使相同成分材料,由于采用不同工艺手段,制备出不同形态材料,它们往往显示出不同特性和不同用途。例如成分都是氧化铝 (Al_2O_3) 的材料,单晶 Al_2O_3 为无色透明无气孔的晶体,硬度、强度、光性都有明显的各向异性,导热性良好,但缺乏韧性,易碎。烧结的多晶氧化铝陶瓷一般是不透明或半透明的,包含有少量气孔,强度、硬度等力学性能与方向基本无关。它具有一定韧性,导热性是各向同性的。至于泡沫状陶瓷则是多孔、疏松、强度低、导热性差,是典型的绝缘和隔热材料。与这些状态相对应的材料主要是单晶、陶瓷、玻璃非晶态三大类或者由它们组合而成的复合材料。故不同状态的材料有其不同特性。

四、新材料在近代高新技术中的地位和作用

一个国家使用的材料品种或数量的多寡是衡量她的科学技术和经济发展的重要标志。生产力的发展推动了科学技术进展。随着物理学、化学、材料科学的发展,以天然原料为主构成的材料逐步被人造、合成材料所替代,材料品种更是日新月异。到了 20 世纪 60 年代,材料已经是当前高新技术发展的支柱。无论是交通、能源、航空航天、通信信息、核工程、海洋工程、生物工程等领域无所不是建立在新材料开发基础上。例如,如果没有光导纤维的出现,很难想象光通信技术的发展。又如激光技术的出现,它一开始即与材料有着密切联系,当红宝石固体激光器件研制成后,为了探索性能更好的激光物质,从而发展出一系列激光晶体和钎玻璃,接着又出现用气体、半导体、染料等作为激光的工作物质。而电子技术高度发展更与大批压电、铁电、磁性、介电、绝缘材料的开发是不

可分割的。这里还可以举空间技术发展为例，如果没有各种耐高温材料、复合材料、烧蚀材料、涂层材料的研制成功，就很难想像今天航天飞机能够遨游太空，也不可能实现登月飞行，诸如此类例子举不胜举。然而高新技术的发展是永无止境的，它会对材料不断提出新的性能要求或者更完美的性能。随着向小型化、集成化、多功能化、高可靠性器件的发展，薄膜材料、多功能材料的开发就日益迫切。总之，新材料的发展将贯穿在我们经济生活中的每一个领域。它的重要性和作用是不言而喻的。如果我们在超导材料上能够解决临界温度(T_c)高达液氮温度(77K)的材料，那么高温超导材料在各个领域的实际应用——高磁场超导磁体、超导高能加速器、受控热核反应、超导输电、储能、磁悬浮列车等等就将成为可能。而高温超导陶瓷的出现以及 C_{60} 的发现必将引起一场新的技术革命。

至于新材料和高新技术对国防军工的重大意义更是不言而喻的。两伊战争、海湾战争实际上是高技术的对抗，而高技术均是以新材料为后盾的。如果没有隐身材料的出现，就很难实现低空突防。没有可靠快速的卫星监测和计算机系统的配合，爱国者导弹的威力就无从发挥。没有精确红外夜视仪就不可能在晚上进行偷袭和击中目标。因此高新技术发展谁领先谁就在战争中占主导地位。而没有各种高性能、多功能的材料为基础，高新技术也就成了无米之炊了。

第二章 新型金属材料

一、高温合金

1. 高温合金的定义

高温合金是指在 $600\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 高温下能满意工作的金属材料。然而决定其在高温下能否正常使用还需考虑施加在构件上的应力。高温合金出现于20世纪30年代,其发展和使用温度的提高与航空航天技术紧密相关。40年代末,喷气发动机问世,对优质高温合金需求日益增加,现在它的应用领域已涉及舰艇、火车、汽车、火箭发动机、核反应堆等广泛高技术领域。这些领域对高温部件的使用性能要求,促使高温合金的使用温度不断提高,性能不断改善。反过来,高温合金的性能提高,又扩大了应用领域。

图2-1为一台航空燃气轮机,其主要部件,占发动机重量的

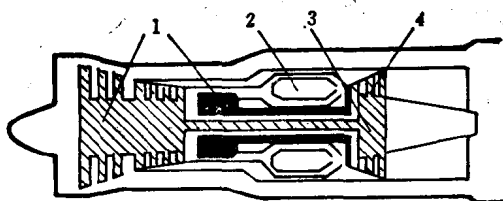


图2-1 航空燃气轮机中使用的高温合金示意

1—压气机叶片; 2—燃烧室; 3—涡轮盘; 4—涡轮叶片

70%由高温合金构成。可以说高温合金是燃气轮机的生命。发动机的涡轮前温度、推力、耗油率和寿命,都取决于高温合金的性能和质量。发动机的燃烧室为温度的最高区域,如把涡轮前温度由 900°C 提高到 1300°C ,则发动机推力将会增加到130%,耗油率会大幅度下降。新型发动机都追求高的涡轮前温度,这里必须采用

耐高温的镍—钴基合金制造燃烧室、涡轮盘和涡轮叶片。

80年代的波音 757 和 767 与 60 年代的波音 727 比较,燃油消耗降低了 35%,其中就有高温合金的功劳,如 767 飞机发动机上使用单晶涡轮叶片,使整个热效率提高了 30% 左右。

航天飞机发动机的高压氧涡轮泵和高压氢涡轮泵上的叶片,都是高铬—钴—钨基高温合金,通过定向凝固精密铸造制成。

从本世纪 40 年代到 70 年代的 30 年中,镍基高温合金平均以每年提高 10℃ 的速度使其使用温度几乎达到基体金属熔化的极限。与此同时,航空航天事业也以同步发展。随着人类飞向太空,核动力火箭、光子火箭的研制,对高温材料的要求将不断提高。这里主要限于对高温金属合金作一介绍。其它类型材料的高温特性,请参阅有关章节。

2. 高温合金的分类

耐热金属材料的分类以及其使用温度范围如表 2-1 所示,高温合金是一般耐热钢使用温度以上的金属合金材料。

表 2-1 耐热合金的简单分类

耐 热 金 属 材 料	耐热钢	低合金耐热钢 铁素体系耐热钢 奥氏体系耐热钢		500℃ ↓ 700℃
	高 温 合 金	铁基(铁镍基)高温合金 钴基高温合金 镍基高温合金 弥散强化合金	狭义高温合金	700℃ ↓ 1200℃
		共晶定向凝固高温合金 钼基、铬基、钨基合金		

(1) 铁基高温合金 铁基高温合金由奥氏体不锈钢发展而来,40 年代在 18-8 型不锈钢中加入钼、铌、钛等元素,使该钢在 500~700℃ 条件下的持久强度提高。其中有美国的加工硬化型奥氏体耐热钢, Fe-25Ni-16Cr-6Mo, 沉淀强化型 Fe-Ni-Cr, Fe-Ni-Co-Cr 系高温合金, 如 A286, Incoloy 901 等。第二次世界