



新材料 及其应用

科学技术文献出版社

新材料及其应用

文学敏 文翠兰 李 昶 编译

喻醒尘 校

科学技术文献出版社

内 容 简 介

新材料是高技术的一个方面，同时又是高技术发展的物质前提，因而现已成为一门日益受到重视的新兴技术领域。

本书是以日本金子秀夫著的《新合金》（1985年出版）和日本化学技术志部1985年出版的《新材料和生物技术》书的新材料部分为基础编译的，系统地介绍了近代出现的各种新型有机、无机和金属材料，其中包括各种新材料的基本原理、制造方法、应用范围和发展前景等。内容丰富充实，图文并茂，文字深入浅出，通俗易懂，可供从事材料和新材料开发和生产的技术人员、管理人员和大专院校师生参考。

新材料及其应用

文学敏 文翠兰 李 昶 编译

喻醒尘 校

科学技术文献出版社出版

北京市和平街一中印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经营

*

787×1092毫米 32开本 6.25印张 135千字

1988年9月北京第一版第一次印刷

印数：1—6000册

科技新书目：176—104

ISBN7-5023-0603-X/TB·2

定价：1.80元

目 录

第一章 新材料概况	(1)
1. 新材料的意义	(2)
2. 新材料发展的背景	(2)
3. 新材料的成长力	(3)
4. 新材料的特点及存在的问题	(4)
第二章 精细陶瓷	(6)
1. 何谓精细陶瓷	(6)
2. 精细陶瓷的特性和用途	(7)
3. 精细陶瓷的制造方法	(9)
4. 精细陶瓷的未来应用	(13)
5. 超硬陶瓷	(16)
第三章 新合金的开发	(19)
1. 开发新合金的设想	(19)
2. 合金组织的研究	(23)
3. 钹磁铁	(29)
4. 铝·锂合金	(40)
5. 吸氢合金	(51)
第四章 高技术中的新合金	(57)
1. 大规模集成电路的电极合金	(57)
2. 光磁性合金	(68)
3. 极低温结构合金	(85)

第五章 新制法开发的合金	(91)
1. 超骤冷粉末烧结合金.....	(91)
2. 单晶合金.....	(103)
3. HSLA合金.....	(110)
4. 非晶态合金.....	(119)
5. 在太空制造合金.....	(127)
第六章 III、V族化合物半导体	(135)
1. 何谓III、V族化合物.....	(135)
2. 与硅半导体比较.....	(136)
3. III、V族化合物单晶的制作方法.....	(137)
4. III、V族化合物半导体的物性.....	(140)
5. 单晶的用途.....	(141)
6. 外延技术.....	(142)
7. 今后的方向.....	(145)
第七章 新型高分子材料	(147)
1. 工程塑料.....	(147)
2. 高效分离膜.....	(149)
3. 导电高分子材料.....	(157)
第八章 新型复合材料	(160)
1. 纤维增强塑料 (FRP)	(160)
2. 纤维增强金属 (FRM)	(167)
3. 纤维增强陶瓷 (FRC)	(187)

第一章 新材料概况

今天，世界正面临着一场发展异常迅速、大有席卷全球之势的新技术革命。这种形势迫使世界各国在考虑如何迎接这一新的挑战，如何使本国适应和赶上这一新浪潮，如何把握住其中出现的有利机会。最近，许多国家对新材料的研究十分活跃，把新材料作为前沿技术来抓。这就是各国在这一浪潮推动下作出的反响之一。

所谓新材料，指的是新近发展起来的和正在发展中的、具有一系列优异性能和特殊功能且对科学技术尤其是对高技术的发展及新兴产业的形成具有决定性意义的一些新材料。新材料的类型很多，但归纳起来大致可分为四大类：一、精细陶瓷材料，这类陶瓷材料有些具有优异的光、电、磁和生物体等功能，如光学纤维、压电陶瓷以及各种人造骨骼和可植入的人造齿等；有些则特别耐高温、耐腐蚀、强度高和具有一定的韧性，可用以制造涡轮机叶片和发动机部件等。二、新型金属材料，如非晶态合金、贮氢合金、形状记忆合金等各种新型合金和超合金等。三、新型高分子材料。这类高分子材料具有以前高分子材料所没有的功能，如分离功能、生物体功能、光学功能和电功能等。四、先进复合材料，如碳纤维或聚芳酰胺纤维（Kevlar）增强塑料、陶瓷纤维或晶须增强金属材料等。

1. 新材料的意义

新材料的发展对科学技术和社会的进步有着重大的影响。比如，从历史上看，钢铁材料的出现孕育了产业革命；高纯单晶硅半导体的制造，大大促进了电子信息技术的建立和发展；先进复合材料和一系列新型超合金的开发为空间技术的发展奠定了物质基础；今后，低成本非晶硅光电转换材料的实用将大大推动太阳能作为电力的利用；新型超导材料的开发也将大大推动受控热核反应堆、磁流体发电、大功率发电机以及无损耗输电等现代能源技术的发展；砷化镓化合物半导体的出现将使超高速大规模集成电路成为可能。很明显，新材料是高技术发展的物质基础，在高技术发展过程中，每一重大的突破都是以新材料为前提的。当然，高技术的发展又反过来促进新材料的开发。新材料开发和高技术发展的关系如同一辆推车的两个轮子一样密切，若配合得当，包括产业、社会结构以及生活方式在内的这辆“车子”就会迅速向前，进入一个新的阶段。

2. 新材料发展的背景

新材料开发和进展的背景有以下两方面：一是来自各方面的需要；一是相关技术的进步带来了新材料发展的可能性。在需要方面，例如，①生产条件变化对新材料的需要，现代的生产和科学实验往往需要在极限条件下进行，因而需要耐超高温、超低温、超高压和高耐腐蚀的各种新材料；

②电子信息技术和光技术的发展对各种新型功能材料的需要；③为代替昂贵稀缺材料而对合成材料或复合材料的需要；④来自传统产品升级换代的需要；⑤由于节约能源和开发新能源的需要；⑥来自宇宙空间和海洋等新活动领域开拓的需要……。新材料的开发不仅由于上述各方面的需要，同时还由于相关技术的进步，例如：①由于分子物理学、固体物理学和结晶学等基础学科的进步，材料的物性研究得以开展；②由于相关技术的进步，超微量成分调整、超微细加工技术和材料加工技术等得到发展；③超高压、超真空、极低温、无重力等新环境条件的创立和利用大大有助于新材料的开发研究；④由于材料物性数据的积累、检测技术的进步、数据处理技术的发展，材料的试验和评价技术得以提高。以上这些条件均促进了新材料的开发。

3. 新材料的成长力

目前新材料正处于发展初期，市场规模还很少。然而，新材料今后的发展将十分迅速，它必将成为高技术产业之一。就精细陶瓷而言，1984年美国精细陶瓷的市场规模为59亿美元。据美国商业部预测，到2000年美国精细陶瓷市场规模将达150亿美元，同时世界市场将达300亿美元。据日本通产省调查资料，1981年日本精细陶瓷的市场规模为2,000亿日元，1983年为6,300亿日元，1990年将达到13,000—18,000亿日元，到2000年将增加到28,000—42,000亿日元，年平均增长率为10—20%。此外，在高功能高分子材料方面，1981年日本的市场规模为2,000亿日元，到2000年将增至15,000

亿日元。由此可见，新材料的发展速度是很快的。不久的将来，有些新材料必将形成新的产业。

4. 新材料的特点及存在的问题

4.1 知识密集型

新材料属知识密集型材料。无论开发或生产新材料，均需要有基础理论知识及多学科的技术知识的积累。以精细陶瓷为例，它是经过长期有关粒子物性的研究和通过控制技术的开发而产生的。一般的陶瓷是在 1300°C 的温度下烧结，而精细陶瓷，例如氧化铝，则需在 $2,000^{\circ}\text{C}$ 下烧结，在工业上达到此温度是很难的。要开发能耐 2000°C 的耐火材料和持续保持 $2,000^{\circ}\text{C}$ 的手段则要求相关技术的进步。此外，在原料粉末的调合、精制方面也必须要有技术的积累和有关知识的掌握。鉴于新材料的这一特点，人们不得不把人才的培养视作开发新材料的前提之一。

4.2 需投入大量资金和时间

研究新材料所需时间一般平均为3年，开发所需时间平均为4年。按研究开发收益计，投资效果仅为33%。由于新材料的研究开发需要大量资金和时间，同时又存在相当大的风险，因此，新材料的研究开发往往需要国家的支持和具备研究开发实力的大型企业来进行。大型企业具有分散风险的能力，它可同时进行数个研究开发项目，以便将成功项目的收益弥补失败项目的损失。日本电气公司之所以能够不断开

发出新产品、新材料，就是因为它的企业规模大、研究开发对象范围广。又如美国杜邦公司，它不仅企业规模大，同时具有完备的研究开发体制。杜邦公司的研究开发投资额对销售额的比率一般为3.4%左右。该公司下设72个研究所，拥有研究人员4,000人，每年增加研究人员2—3%。这些条件使杜邦公司得以不断开发出世界首创的新材料，如超高强工业用合成纤维聚芳酰胺（Kevlar）和一系列高效分离膜等

4.3 技术上属未完成型

新材料一般在技术上是尚未完成的，需不断提高性能和改进生产技术。随着生产技术的提高，新材料的成本将不断下降，性能将不断提高。例如，碳纤维刚投产时的价格为500美元/磅，而现在降至20—30美元/磅，同时性能也有很大的提高，1972年碳纤维的抗张强度一般为300公斤/毫米²，而现在达600公斤/毫米²左右。因此，在开发新材料时不应慑于新材料刚出现时的高价或在性能上暂时存在的一些问题。

4.4 品种多、产量小、研制和生产部门分散

新材料品种多、产量小，同时又分散在各个不同部门进行研制和生产，难以统一规划和领导，难以对其产值进行总的统计，所以不易引起人们的重视。一个新元件、一件新产品或一代新计算机的出现，往往轰动一时，虽然这些新产品都要依赖新材料才得以出现，但“为别人做嫁衣裳”的新材料却往往为人们所忽视。以上这些都是新材料开发中的特点和所存在的问题。

第二章 精细陶瓷

1. 何谓精细陶瓷

陶瓷的典型代表有：瓷器、耐火材料、水泥、玻璃、研磨材料等。制造陶瓷的方法近十年来发展迅速，这是由于在电子、能源等领域中，日益需要耐热性、机械强度、耐腐蚀性、绝缘性及各种电性能远远超过原有陶瓷的高性能陶瓷，我们称这种陶瓷为精细陶瓷。为区别起见，把以前的陶瓷称为旧陶瓷。

在组成上，旧陶瓷是用杂质较多的天然原料(如硅酸)，在常温下成形、在高温下烧结而成的烧结体。而精细陶瓷是用高纯度的天然原料，加入添加剂后的烧结体。

精细陶瓷的出现是由于制造方法在下列两方面取得进展的结果。

第一，可进行微观结构的控制。过去只是简单地捏和原料然后进行烧结，而现在则是在捏和及烧结前，对其粉粒进行控制，既可改变添加物（铋、钴、锰等）的种类，也可改变烧结温度。

第二，可进行宏观结构控制。例如制成纤维状，使之成为象玻璃那样的脆性物质而又具有柔软性，同时还可使之成为多孔质的结构，扩大表面积、提高反应活性。

陶瓷与具有延展性的金属和可塑性的塑料不同，较难成形和加工，因此，作为工业材料发展缓慢。现在由于制造方法的改进，一跃而成为仅次于铁和塑料的材料，受到广泛重视。

应指出的是，微细结构的控制，可使陶瓷具有介电性、压电性（加压时产生电，通电时发生振动），半导体性等性能。因此，精细陶瓷被广泛用作电子材料，它是目前需要量最大的领域。

2. 精细陶瓷的特性和用途

陶瓷材料的形态可分为单晶、烧结体、玻璃、复合体和接合体，这些形态各有利弊。例如，单晶具有精密功能，但成形加工困难，成本高，而且从整体看，硬而脆，不但作功能材料有问题，就是作结构材料也有问题。因此，要与树脂（硅树脂、环氧树脂等）进行复合，再用纤维增强后使用。

以下列举其特性与利用的实例：利用陶瓷的坚硬性制作车床刀片、人造金刚石、切削、研削工具；利用其高耐热性，制作燃气轮机、喷气发动机的涡轮；利用其不导电性制作电线的绝缘件、集成电路衬底；利用其惰性（化学稳定性），制作搪瓷（珐琅）制品、人工齿、骨等；透光性陶瓷可作光纤、玻璃等。精细陶瓷的应用实例如表2.1所示。

最近的发展趋势是，原料从一直以氧化铝为主的氧化物系转为非氧化系（碳化物、氮化物、硼化物等）。这是因为氧化物系陶瓷，在耐热性、硬度方面的应用受到限制，例如，要提高热效率，就必须提高发电用燃气轮机、飞机发动

表2.1 精细陶瓷应用实例

材料	特 性	应用领域	用 途	物 质
电子材料	压电性	点火元件, 压电滤波器、表面波器件, 压电变压器、压电振动件	引燃器, FM, TV, 钟表, 超声波, 手术刀	$\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$, ZrO_3 , LiNbO_3 , 水晶
	半导体	热敏电阻、非线性形半导体, 气体吸附半导体	温度计, 加热器, 太阳电池, 气体传感器	$\text{Fe} \cdot \text{Co} \cdot \text{Mn} \cdot \text{SiO}$, BaTiO_3 , CdS , Cu_2S
	导电性 绝缘性	绝缘体	集成电路衬底	ZrO_2 , MoSi_2 , Al_2O_3 , MgAl_2O_4
磁性材料	磁性	硬质磁性体	铁氧体磁铁	$(\text{Ba}, \text{Sr})\text{O} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$
		软质磁性体	存储元件	$(\text{Zn}, \text{M})\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($\text{M} = \text{Mo}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Mg}$ 等)
超硬材料	耐磨耗性		轴承	Al_2O_3 , B_4C
	切削性		车刀	Al_2O_3 , Si_3N_4
光学材料	荧光性	激光二极管 发光二极管	全息摄影 光通信, 计测	GaP , GaAs GaAsP
	透光性	透明导电体	透明电极	SnO_2 , In_2O_3
	透光偏光性	透光压电体	压电磁器件	(Pb, La) $(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$
	导光性		通信光缆	玻璃纤维

机等工作温度, 但以前的陶瓷, 其耐热性和强度有一定的限度。如果使用氮化硼 (Si_3N_4), 由于热膨胀系数小, 热传导率高, 在1, 200℃高温下的热冲击强度为70公斤/毫米²以

上。另外，作为超硬材料，要求使用寿命长，耗损小，因而开发了不象金刚石那么昂贵，但性能又比原来的陶瓷优异的氮化硼陶瓷。

3. 精细陶瓷的制造方法

用陶瓷作结构材料时，最重要的成分是原料粉，如果原料粉的纯度不高，不是超细微粒，就得不到高质量的成形体。所谓理想的粉末应该是：①形状规整（正方形）。②粒径小而均匀。③没有结块。④高纯度。⑤可控制相。其制造方法目前已有很多种。

3.1 氮化硅的制造方法

氮化硅 (Si_3N_4) 最有希望用作结构陶瓷，其制造方法和特点如下：

①金属硅直接氮化法 将硅粉放入氮气中，加热至 $1,200—1,400^\circ\text{C}$ ，就产生强烈的放热反应，而得到氮化硅粉末。目前批量生产尚有困难，但比其他制造方法简便，所以仍是当前的主要方法。存在的问题是，在原料制造过程中，易混进杂质，使纯度下降。因此，必须开发高纯度、超细微粒的精制技术。

②高纯硅还原氮化法 将氧化硅 (SiO_2) 和碳 (C) 放入氮气中，加热至 $1,400—1,600^\circ\text{C}$ ，发生吸热反应而得到氮化硅。这种方法虽然原料便宜，产品纯度高，经济效益好，但由于产生各种副反应，还很难得到均质的高纯原料粉。

③气相合成法 使氯化硅 (SiCl_4) 和氨 (NH_3) 在

1,000℃—1,200℃下进行气相反应。这也是一种利用氯化硅的方法。由上述原料产生的中间体亚胺 ($\text{Si}(\text{NH})_2$)，使其热分解，生成氮化硅粉末。此法虽然成本高，但可得到高纯度超微粒粉末，是制造精细陶瓷原料粉的最佳方法。存在的问题是，需进一步减少氧、氯的含量，改进冷却成形的方法。

(注)：也有人在考虑生成 α -型或非晶质的氮化硅粉末，但当前要解决的课题是质地均匀，价格低廉。

精细陶瓷的结晶形状有 α -型和 β -型。例如， α -型 Si_3N_4 粉末是在1,350℃下生成的，超过了1,350℃则生成 β -型 Si_3N_4 。 α -型活性较高。 α -活化率越高，易烧结性越好，但与 β -型相比，制造困难，成本也高。

3.2 精细陶瓷的烧结方法

所谓烧结，就是加热处理成形体，使粒子间产生熔融接合。为了促进熔接，得到致密的烧结体，必须添加烧结助剂，但添加烧结助剂可能会失去原来物质的优异性质。因此，使用什么样的烧结助剂是很重要的。

对氮化硅来说，还未发现象氧化镁那样的优质烧结助剂。目前所用的氧化镁和氧化钇，因在高温下产生液相，会导致强度下降。

由于氮化硅是很难烧结的材料，必须研制优质烧结助剂，或采用细粉末原料粉，而不用烧结助剂的烧结方法。

①常压烧结法 将烧结助剂混入原料粉中然后成形，并在一个大气压下进行烧结。

②热压烧结法 将粉末放入模中，不用烧结助剂，同时

进行加压成形和烧制。为得到致密的制品，有效的方法是降低烧结温度，但还难以大量生产复杂的产品，现仅用来生产特殊材料。

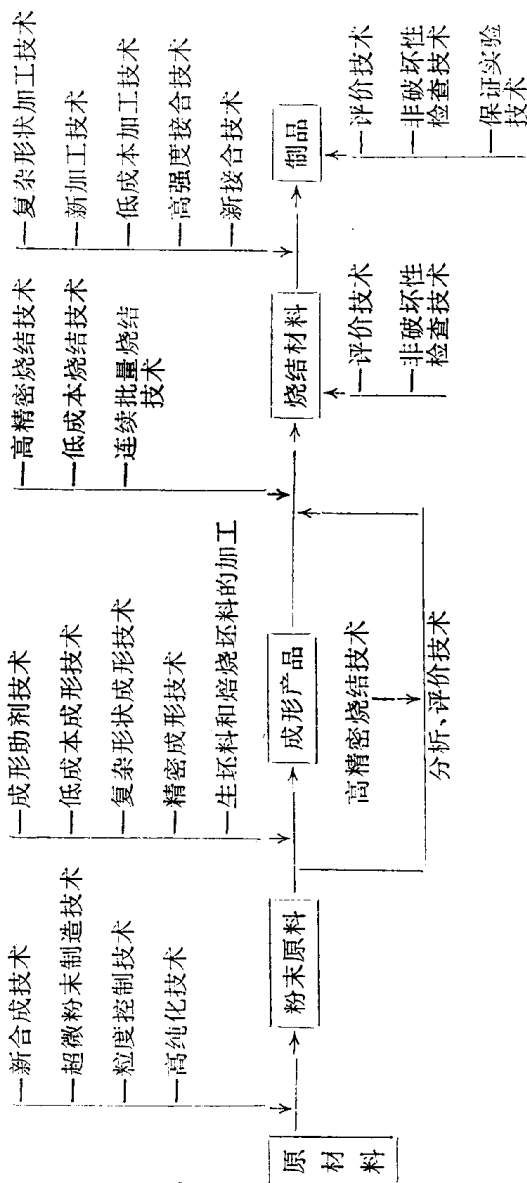
③反应烧结法 是在制造氮化物中利用某些物质起反应的一种方法。例如，在高温加热的硅粉成形体中吹入氮气，通过氮与硅的反应，使氧化硅的生成和烧结同时进行。这种方法可制出复杂形状的产品，成本也低，但很难得到高密度制品。

④热等压压缩 此法原来是美国的巴特尔研究所，在50年代后半期为结合核燃料而开发的。60年代正式在工业上应用。1969年用作粉末钢的高速烧结法，以后逐年扩大应用范围。在日本，为提高超硬合金等的性能，在70年代初，采用这种热等压压缩法，现已用于陶瓷的烧结。

热等压压缩法是改进的热压烧结技术。热压烧结法是对模型中的原料，向一个方向加压（一轴向加压），压力达150—300公斤/厘米²。而热等压压缩法是采用氩、氮、氦惰性气体作传递压力的介质，对高压容器中的原料粉，一面从四面均匀施加500—2,000公斤/厘米²的气体压力，一面进行热处理。此法的优点是：可在低于热压烧结法的温度下进行烧结。由于构成结晶粒子很微细，没有方向性，可得到高硬度、强韧性的产品。还由于此法不使用模子，可制得复杂形状的烧结体。

采用热等压法制得的陶瓷切削工具于1977年投入市场后，已用来生产高密度的氧化物磁性材料，但要实现工业化，还需解决以下课题：缩短操作时间，降低处理费用，准确测定和控制热等压法的密封室内的温度，以及开发可进

今后对精细陶瓷的技术开发课题如下:



- 各种评价技术、数据积累
- 设计技术
- 薄膜制造技术、涂复技术、单晶生长技术
- 高功能、高韧性材料的开发