

 现代化学专著系列·典藏版 40

# 新型无机材料

郑昌琼 冉均国 主编

 科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

现代化学专著系列·典藏版 40

# 新型无机材料

郑昌琼 冉均国 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书全面介绍了当今国内外重要的新型无机材料的概况和几个重要的发展前景；扼要介绍了新型无机材料对现代科学技术发展的作用；重点介绍了新型无机材料的制备原理、制备新技术、新工艺和新型无机材料的结构、性能与应用；展望了各类新型无机材料的发展前景。全书共分为四篇18章：第一篇，绪论；第二篇，低维材料；第三篇，高技术陶瓷；第四篇，无机生物医学材料。全书取材丰富，既注意基础知识、概念，又重视实际工艺与应用，并注意吸收当今新型无机材料的最新成就。撰写深入浅出，理论联系实际，运用大量图表对现有的新型无机材料进行较全面的概括和反映。

本书可供从事材料科学与工程研究、生产的科技人员和高等院校教师参考，也可作为高等院校材料学专业的高年级学生和非材料专业研究生的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代化学专著系列：典藏版 / 江明，李静海，沈家骢，等编著. —北京：科学出版社，2017.1

ISBN 978-7-03-051504-9

I. ①现… II. ①江… ②李… ③沈… III. ①化学 IV. ①O6  
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 013428 号

责任编辑：胡华强 卢秀娟 杨 震/责任校对：宋玲玲  
责任印制：张 伟/封面设计：铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2017年1月第一版 开本：720×1000 B5

2017年1月第一次印刷 印张：38 3/4

字数：744 000

定价：7980.00元（全45册）

（如有印装质量问题，我社负责调换）





# 前 言

无机非金属材料（简称无机材料）是人类最先应用的材料。以硅酸盐为主要成分的传统无机材料体系（如陶瓷、玻璃、水泥、耐火材料等）在国民经济和人民生活起着极为重要的作用，至今仍然是国民经济重要的支柱产业，仍在继续发展。同时，新材料、新工艺、新装备和新技术也不断涌现。

随着现代科学技术的发展，在无机材料领域中展现了一个新的领域——新型无机材料。它是人工合成的高纯原料经特殊的先进工艺制成的材料，与高新技术发展相辅相成。由于它的高性能与多功能，使它在信息、航空航天、生命科学等现代科学技术各个领域，发挥了极其重要的作用，因此，有人预计 21 世纪将是“第二个石器时代”。

新型无机材料与传统无机材料在材料的组成、制备工艺、材料的性能和用途等方面有很大差别，其结构与性能可以精确地调节与控制。

随着现代科学技术迅猛发展，新型无机材料的开发与生产发展异常迅速，新理论、新工艺、新技术和新装备不断出现，形成了新兴的先进无机材料领域和新兴产业。为适应我国经济建设和教学的需要，我们于 1991 年编写了《新型无机材料》讲义，作为无机非金属专业本科生和研究生教材；1996 年，又进行了修改和补充。这次是在原《新型无机材料》讲义的基础上，融入了作者多年教学和科研实践，吸取了有关教师、科技人员和学生的意见，进行了改写，并新编入了第三篇“高技术陶瓷”。

本书特点：（1）将发展最快的新型无机材料——低维材料（超微、纳米粉末、晶须、纤维、薄膜）归并为一篇，较全面和系统地介绍了它们的现状和发展趋势，并加强了对纳米级材料的制备和应用的介绍；（2）无机生物医学材料是一类具有特殊功能的新材料，它的开发和在医学中的应用展现出重大的社会效益和经济效益，因而，本书将“无机生物医学材料”单独作为一篇；（3）单一材料的性能很难满足实际的要求，因此本书重视材料的交叉复合及复合技术的介绍，以满足各种应用领域对高性能、多功能的需要；（4）发展新材料必须采用新技术、新工艺，因此，本书除单独编写一章“材料制备的新技术”外，在各篇章中结合材料的制备，尽可能地引入材料制备的新技术；（5）不仅综合归纳了国内外新型无机材料的研究和生产成就，吸取其他有关书籍的内容，而且，特别将作者和所在单位多年从事新型无机材料的教学和科研工作成果引入书中。

本书由四川大学材料科学与工程学院有关教师参加编写。郑昌琼教授、冉均

国教授任主编。各章编写分工为：第一章，郑昌琼教授；第二章，李伯刚副教授、冉均国教授；第三章，李大成教授、冉均国教授；第四章，刘恒教授、冉均国教授；第五章，苟立教授、李伯刚副教授、冉均国教授；第六章，冉均国教授、郑昌琼教授（6.3.3.1节）；第七章，冉均国教授、郑昌琼教授（7.6和7.7节）；第八章，冉均国教授；第九章，尹光福教授；第十章，苟立教授；第十一章，周大利教授；第十二章，冉均国教授；第十三章，冉均国教授；第十四章，李伯刚副教授、冉均国教授；第十五章，郑昌琼教授；第十六章，郑昌琼教授；第十七章，郑昌琼教授、尹光福教授；第十八章，郑昌琼教授。四川大学彭少方教授仔细审阅了全部书稿，提出了许多宝贵的、建设性的修改意见；此外，李大成教授在校阅书稿中，做了大量工作，在此表示衷心感谢。本书的出版得到科学技术学术著作出版基金委员会和四川大学的资助和支持，在此一并致谢。

由于新型无机材料面广，又涉及多门学科知识，限于篇幅，不可能全面介绍，撰写中也难免有错误和不当之处，恳请读者和专家指正。

作者

2002年5月于成都

# 目 录

## 第一篇 绪 论

第一章 材料科学与工程发展简述 .....	( 1 )
1.1 材料科学与工程 .....	( 1 )
1.2 新材料的特点及发展趋势 .....	( 3 )
1.3 新型无机材料 .....	( 6 )
1.4 新型无机材料应用的重要领域 .....	( 8 )
参考文献 .....	( 12 )
第二章 制备材料的新技术 .....	( 14 )
2.1 溶胶 凝胶技术 .....	( 14 )
2.2 等离子体技术 .....	( 23 )
2.3 激光技术 .....	( 34 )
参考文献 .....	( 38 )

## 第二篇 低维材料

第三章 零维材料——超微粒子 .....	( 40 )
3.1 超微粒子的概念 .....	( 40 )
3.2 超微粒子研究的历史、现状及发展趋势 .....	( 42 )
3.3 超微粒子的基本性质 .....	( 45 )
3.4 超微粉体的应用 .....	( 52 )
3.5 对先进陶瓷超微粉的基本要求 .....	( 56 )
3.6 粉料性能的表征 .....	( 56 )
3.7 超微粉末的制备方法概况 .....	( 61 )
3.8 气相法制备超微粉末 .....	( 62 )
3.9 液相法制备超微粉末 .....	( 73 )
3.10 高纯 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 微粉的制备 .....	( 103 )
3.11 高纯 $\text{TiO}_2$ 微粉的制备 .....	( 106 )
3.12 固相法制备超微粒子 .....	( 109 )
参考文献 .....	( 112 )

第四章 一维材料——晶须和纤维 .....	(114)
4.1 晶须 .....	(114)
4.2 纤维.....	(126)
4.3 一维纳米材料.....	(147)
参考文献 .....	(153)
第五章 薄膜 .....	(155)
5.1 概述.....	(155)
5.2 薄膜及其特性.....	(155)
5.3 无机薄膜制备工艺概论.....	(157)
5.4 薄膜形成过程.....	(173)
5.5 薄膜的结构与缺陷.....	(177)
5.6 薄膜的力学性能.....	(179)
5.7 金刚石薄膜.....	(183)
5.8 类金刚石薄膜.....	(201)
5.9 新型功能薄膜.....	(212)
参考文献 .....	(228)

### 第三篇 高技术陶瓷

第六章 高技术陶瓷制备原理及技术 .....	(230)
6.1 概述.....	(230)
6.2 高技术陶瓷的制备技术.....	(234)
6.3 高技术陶瓷的某些重要原理.....	(265)
6.4 陶瓷材料的发展趋势.....	(286)
参考文献 .....	(287)
第七章 先进结构陶瓷 .....	(289)
7.1 概述.....	(289)
7.2 氮化硅陶瓷.....	(292)
7.3 塞龙陶瓷.....	(300)
7.4 碳化硅陶瓷.....	(304)
7.5 氧化锆陶瓷.....	(308)
7.6 陶瓷基复合材料.....	(315)
7.7 碳/碳复合材料 .....	(322)
参考文献 .....	(330)
第八章 纳米陶瓷 .....	(332)
8.1 概述.....	(332)



8.2	纳米陶瓷的制备	( 334 )
8.3	单相纳米陶瓷的制备	( 341 )
8.4	复相纳米陶瓷	( 353 )
8.5	非晶晶化法制纳米陶瓷材料	( 361 )
8.6	纳米陶瓷的结构与性能	( 363 )
8.7	纳米陶瓷的应用及展望	( 371 )
	参考文献	( 372 )
<b>第九章</b>	<b>功能梯度材料</b>	( 374 )
9.1	概述	( 374 )
9.2	功能梯度材料的设计及评价	( 377 )
9.3	功能梯度材料合成与制备	( 395 )
9.4	功能梯度材料的应用及展望	( 402 )
	参考文献	( 405 )
<b>第十章</b>	<b>晶体</b>	( 408 )
10.1	概述	( 408 )
10.2	晶体的性能及应用	( 408 )
10.3	人工晶体的制备	( 413 )
10.4	人工晶体的表征	( 416 )
10.5	激光晶体	( 419 )
10.6	非线性光学晶体	( 423 )
10.7	压电晶体	( 426 )
	参考文献	( 430 )
<b>第十一章</b>	<b>敏感陶瓷</b>	( 431 )
11.1	概述	( 431 )
11.2	敏感陶瓷的结构与性能	( 431 )
11.3	热敏陶瓷	( 432 )
11.4	气敏陶瓷	( 437 )
11.5	湿敏半导体陶瓷	( 443 )
11.6	压敏半导体陶瓷	( 446 )
11.7	光敏半导体陶瓷	( 450 )
	参考文献	( 453 )
<b>第十二章</b>	<b>机敏(智能)无机材料</b>	( 454 )
12.1	概述	( 454 )
12.2	压电陶瓷和电致伸缩陶瓷	( 456 )
12.3	机敏陶瓷	( 460 )
12.4	智能陶瓷	( 464 )

12.5	具有形状记忆效应的陶瓷材料	(468)
12.6	可相变氧化锆( $ZrO_2$ )陶瓷	(468)
12.7	自修补自愈合陶瓷材料	(469)
12.8	陶瓷基复合材料的自诊断	(470)
12.9	混凝土材料的诊断和自愈合混凝土	(471)
12.10	光导纤维	(472)
12.11	变色材料	(473)
12.12	电(磁)致流变流体材料	(474)
	参考文献	(476)
<b>第十三章</b>	<b>快离子导体陶瓷</b>	(478)
13.1	概述	(478)
13.2	离子导电机理	(479)
13.3	典型离子导电陶瓷	(482)
13.4	快离子导电陶瓷的应用及发展前景	(491)
	参考文献	(497)
<b>第十四章</b>	<b>高温超导陶瓷</b>	(499)
14.1	超导电性与超导材料	(499)
14.2	高温超导陶瓷的结构	(502)
14.3	高温超导电性的微观机制	(505)
14.4	高温超导陶瓷的制备方法	(506)
14.5	高温超导陶瓷的应用	(509)
	参考文献	(514)
<b>第十五章</b>	<b>功能精细复合材料</b>	(515)
15.1	概述	(515)
15.2	功能复合材料的复合效应	(516)
15.3	功能复合结构材料的结构参数	(517)
15.4	复合材料的界面	(520)
15.5	精细功能复合材料的制备	(521)
15.6	功能精细复合材料的现状及应用	(524)
	参考文献	(529)

## 第四篇 无机生物医学材料

<b>第十六章</b>	<b>生物医学材料概论</b>	(530)
16.1	生物医学材料学与相关学科	(530)
16.2	生物医学材料发展简述	(530)

16.3	生物材料和生物医学材料的定义 .....	( 531 )
16.4	生物医学材料的生物功能性 .....	( 532 )
16.5	生物医学材料的生物相容性 .....	( 532 )
16.6	生物医学材料的生物安全性评价 .....	( 533 )
16.7	生物医学材料的消毒与灭菌 .....	( 533 )
16.8	生物医学材料的范围及其分类 .....	( 534 )
16.9	无机生物医学材料 .....	( 536 )
	参考文献 .....	( 539 )
<b>第十七章</b>	<b>接近惰性的生物陶瓷 .....</b>	<b>( 540 )</b>
17.1	概述 .....	( 540 )
17.2	氧化铝陶瓷 .....	( 540 )
17.3	氧化锆陶瓷 .....	( 544 )
17.4	碳素材料 .....	( 546 )
17.5	接近惰性的生物玻璃材料 .....	( 563 )
	参考文献 .....	( 563 )
<b>第十八章</b>	<b>生物活性陶瓷 .....</b>	<b>( 569 )</b>
18.1	概述 .....	( 569 )
18.2	生物活性玻璃和玻璃陶瓷 .....	( 569 )
18.3	磷酸钙生物活性陶瓷 .....	( 573 )
18.4	磷酸钙骨水泥 .....	( 589 )
18.5	磷酸钙复合人工骨材料 .....	( 597 )
18.6	磷酸钙生物活性材料的医学应用 .....	( 600 )
	参考文献 .....	( 601 )

# 第一篇 绪 论

---

## 第一章 材料科学与工程发展简述<sup>[1~9]</sup>

### 1.1 材料科学与工程

#### 1.1.1 材料的重要性

材料是人类生活和生产活动必需的物质基础，同人类文明密切相关。历史上，人们把材料作为人类进步的里程碑，如“石器时代”、“铜器时代”、“铁器时代”等。到 20 世纪 60 年代，人们把材料、信息、能源誉为当代文明的三大支柱；20 世纪 70 年代又把新材料、信息技术、生物技术作为新技术革命的主要标志，现在这些技术仍然是 21 世纪发展的主导。现代科学技术发展的历史表明，材料对推动科学技术的发展极其重要，没有半导体材料的发现和发展，就不可能有今天的计算机技术；没有高强度、高温、轻质的结构材料的发展，现代航空、航天技术不会这样发达。相反，有些技术由于材料的研究、开发所存在的问题没有得到解决而无法实现，如太阳能的利用，便因光电转换材料的问题，而使太阳能在能源中所占比例很小。世界上工业发达国家，把材料作为优先发展的领域，就是因为材料是一切科学技术发展的先导与物质基础，也是改善人民生活质量所必需的一个重要方面。新材料的出现往往给产业和社会带来划时代的变化。没有材料的进步，一切新技术就失去生命力。新技术革命发展的要求，也刺激了新材料的发展。可以说，每一种重要的新材料的发现、开发和应用，都把人类支配自然的能力提高到一个新的水平，给社会生产和生活面貌带来巨大的改观，把物质文明程度推向前进。新材料的研究、开发、应用和一个国家的工业活力及军事力量的增长，都有着十分密切的关系。

#### 1.1.2 材料的分类与材料学科的综合性

材料可从不同的角度进行分类。按材料化学组分，可分为：金属材料、无机非金属材料（简称无机材料）、有机高分子材料（简称高分子材料）以及由几种材料通过复合工艺组成的复合材料；按材料性质，可分为：结构材料、功能材料；按材料用途，可分为：能源材料、建筑材料、航空材料、信息材料、生物医学材料、耐火材料、研磨材料、耐酸材料等等。

金属材料有两种：纯金属状态作材料使用的，如用作导电体的铜和铝；几种金属组合或加入适当的杂质成分以改善其原有特性使用的，如合金钢和铸铁等。金属的键合无方向性，其结晶多是立方、六方的最密堆积结构，富于展性和延性，用热处理方法可以改变其结构与组织状态，赋予各种特性，是用途广、用量最大的一种材料。除特殊金属材料外，一般情况下都存在着由于腐蚀而不耐久的问题。

无机材料是由多种元素以适当的组合形成的数目庞大的无机化合物构成，包括以硅酸盐为组成的硅酸盐材料，天然的如石材，人造的如水泥、瓷器、玻璃等经典硅酸盐材料。单质的碳、硅和锗是具有金刚石结构的共价键巨大分子，也属于无机材料的一类，其中，硅和锗是主要的半导体材料，已独立成为材料的一个分支。20世纪40年代以来，不断出现新型的无机材料，其组成已远远超出硅酸盐的范围，有氧化物、氮化物、硼化物、硫化物及其他盐类和单质。无机材料多是由兼有离子键和共价键的结晶构成的，因此，它们的一般特性是硬度大、强度高、抗化学腐蚀性强、对电和热的绝缘性良好，但其致命的缺点是质地脆。近年来公认的纳米陶瓷，可望解决陶瓷的韧性问题。

有机高分子材料是由C—C共价键为基本结构的碳氢化合物高分子构成，天然的如木材、皮革、橡胶、棉、麻、丝等都属于这一类。20世纪20年代以来，已陆续合成出各种高分子材料，极大地扩大了材料的品种。有机高分子材料的一般特点是质量轻、耐腐蚀、绝缘性良好、易于成型加工，但强度、耐高温性和使用寿命较差。

复合材料是由有机高分子、无机非金属和金属等材料通过复合工艺而组成的一种多相材料，其特点是不仅保持原组分的部分特性，而且还具有原组分不具备的性能。将以上原来分属不同学科的知识融为一体，是近年来材料发展的新趋势。1974年国际上成立了材料研究协会（materials research society, MRS），协会发展很快，学术活动很活跃，反映不同材料领域的学者融合交流知识的愿望。人才培养也体现了这种趋势。美国等国家的大学中有关材料专业的变化表明，单一的冶金专业数目逐年下降，而材料专业却急剧增加。为加强材料科学的研究，从1960年开始，各国还纷纷建立材料研究所（室）、材料科学技术中心和工程研究中心，加强对材料的综合研究与开发工作。

中国于20世纪70年代末，一些大学相继开始设立材料系或材料科学与工程系，且逐年都有增加。目前，许多大学都设有材料或材料科学与工程系的院、系；同时，还设立了材料研究所（室），把材料的研究与教学融为一体。

### 1.1.3 材料科学与工程性质与范围

材料虽然非常重要，发展也快，但是就材料整体来说，认为它已构成一门科学，还是近40年的事。20世纪50年代末、60年代初，美国学者首先提出材料

科学这个名词。由于材料的获得、质量的改进以及使材料成为人们可用的器件或构件，都离不开生产工艺和制造技术等工程知识，所以，人们往往把材料科学与工程相提并论，而称为“材料科学与工程”。

材料科学与工程有以下几个特点：

(1) 材料科学是多学科交叉的新兴学科 对每类材料来说，各自早就是一门学科了。例如金属材料与物理冶金与冶金学等有关；有机高分子材料传统上是有机化学的一个分支；无机非金属材料则是无机化学中的一部分。各经典学科都积累了丰富的专门知识和基础理论，材料科学理所当然地继承了其中的精粹部分。此外，材料科学与许多基础学科还有不可分割的关系，如固体物理学、电子学、光学、声学、固体化学、量子化学、有机化学、无机化学、胶体化学、表面与界面科学、数学、计算机科学等。作为正在发展中的生物医学材料，当然脱离不开生物学、医学。材料科学的边界和范围，随科学技术的发展而不断变化，研究的内涵也在变化。因此，材料科学工作者要有广阔而坚实的基础知识，也要有因需要而变更研究课题的能力和素质。

(2) 材料科学与工程技术有不可分割的关系 材料科学是研究材料的组织结构与性能的关系，从而发展新材料，并合理有效地使用材料。但是，材料要能商品化，还需经过一定经济合理的工艺流程才能制成，这就是材料工程。反之，工程要发展，也需要研制出新的材料才能实现。因此，材料科学与工程是相辅相成的。广义而言，控制材料的微观结构也是一种工程。例如，界面工程就是当前控制陶瓷材料和复合材料韧性及结合力的一个有效途径。

(3) 材料科学与工程有很强的背景 这 and 材料物理有重要区别。研究材料中的基本规律，目的在于为发展新型材料提供新的途径和新技术、新方法或新流程；或者为较好地使用已有材料，充分发挥其作用，进而能对使用寿命做出正确的估算。因此，材料科学与工程是一门应用基础科学，它既要探讨材料的普遍规律，又有较强的针对性。材料科学研究，往往通过具体的研究找出普遍的规律性，进而促进材料的发展和推广应用。

根据上述学科性质，可以把材料科学与工程定义为：“关于材料组成、结构、制备工艺与其性能及使用过程相互关系的知识开发及应用的科学”。

## 1.2 新材料的特点及发展趋势

什么是新材料？一般是指那些正在发展的或将要发展的，具有优异性能或特殊功能，在不久的将来可能达到实用化阶段的材料。新材料和常规材料之间没有明显的界限，新材料中相当一部分是从现有材料的基础上发展出来的，但也有一部分是根据科学的新发现而研制成功的。

## 1.2.1 新材料的特点

新材料是知识密集、资金密集的新兴产业，它们中的多数是固体物理、固体化学、冶金学、陶瓷学、生物学、信息等学科的新成就。新材料的发展与新技术密切相关，从新材料的合成与制造来看，往往是利用极端条件或技术作为必要的手段，如超高压、超高温、超真空、超低温、超高速冷却、超高纯等等。新材料是多种学科互相渗透的结果。新材料的特点是品种多、式样多、更新换代快，对其性能的要求越来越趋向于功能化、极限化、复合化、精细化。

## 1.2.2 新材料的发展趋势

进入 20 世纪 80 年代后期，世界各国对新材料的研究与开发都十分重视，放到重要位置进行安排。中国对新材料的发展也采取了重要的措施，在高技术新材料的研制开发上，实施了配套的国家高技术发展计划（“863”计划）、国家重大基础研究计划（“973”计划）和高技术产业计划（火炬计划）。

20 世纪 80 年代以来，新材料发展的主要趋势简述如下：

(1) 结构材料的复合化 把不同材料通过适当的复合工艺组合在一起，往往产生比原来材料性能都要好的材料，从而成为当前材料发展的一个重要趋势。20 世纪 80 年代，已研制成功一些高比强度和高比模量的复合材料，如碳纤维增强树脂基复合材料、碳/碳复合材料等，取得很好的效益，预期新的品种将日益增多。

(2) 信息材料的多功能集成化 由于超大容量的信息网络和超高速计算机的发展，对集成电路的要求愈来愈高，集成度逐年增高，近年来，又由二维转向三维。除了集成度的改变外，化合物半导体材料 GaAs 受到高度重视，因用其制作的器件运算速度比硅器件高好几倍。此外，GaAs 具有光学效应，可使信息的产生、处理、检测、存储等不同功能在同一块集成电路上完成。特别是由于原子加工技术的发展，如分子束外延（MBE）、金属有机气相沉积（MOCVD）等，可以把单层分子或原子排列在一起，成为所谓超晶格材料。例如，在 GaAs 基片上，把 Ga、Al、In、P、As 或 Sb 相结合为多层堆积，通过不同掺杂，达到控制能带结构、带隙、能态密度、光学吸收系数、折射率等各种参数，从而获得多功能材料。许多先进实验室都在研究这种材料与器件一体化的新技术。

(3) 低维材料迅速发展 这里所谓的低维材料，是指在三维空间中至少有一维处于微细尺度范围或由它们作为基本单元构成的材料。如果按维数，材料可分为：① 零维，指在空间三维度均在微细尺度，如超微粒子；② 一维，指在三维空间中有一维处于微细尺度，如晶须、纤维；③ 二维，指在三维空间中有一维处于微细尺度，如薄膜；④ 三维，如块体。低维材料是近年来发展最快的材料领域。20 世纪 70 年代初以来，纳米科技对新技术革命起了重要作用。纳米科技

将是 21 世纪新技术革命的主导。作为低维材料的主体部分，纳米材料和科技是纳米科技领域最富有活力、研究内涵十分丰富的学科分支。由于纳米材料具有明显不同于块体材料和单个分子的独特体积效应、表面效应、量子尺寸效应、宏观量子隧道效应，从而使其具有奇异的力学、电学、磁学、热学、光学、化学活性、催化和超导性能等特性，使纳米材料在信息、生物医学、能源、环境、宇航、先进制造技术、化工、冶金、陶瓷、轻工、核技术、国防等领域，具有重要的应用价值，将发挥巨大作用。

纳米微粒（零维）是指颗粒尺寸为纳米量级（1~100 nm）的超细微粒，它展现出许多特有的性质，在催化、滤光、光吸收、医药、磁介质及新材料等方面有广阔的应用前景。

一维材料中最重要的是光导纤维，由于其信息传输量远比用铜、铝的同轴电缆大，而且光纤有很大的保密性，所以发展很快，正普遍使用光导纤维代替铜、铝电缆传输。目前，高纯石英玻璃的光耗已下降到 0.15 dB/km，中继距离在 200~500 km；发展的多组分氟化物玻璃，光损耗可降到 0.01~0.001 dB/km，中继距离可增至 500 km 以上。

纤维可以用来增强其他块状材料。细丝的直径越小，表现的强度愈高，因而，纤维就成为复合材料的重要组成部分。实用的纤维有碳纤维、硼纤维、陶瓷纤维如 SiC、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 纤维等。一维材料中强度和刚度最高的要算晶须了，可以接近理论强度值，金属和陶瓷都可以生长成晶须。20 世纪 80 年代，有机化合物的晶须也生长出来了。

薄膜（二维材料）的发展也很快，特别是电子技术的发展，需要各种性能的薄膜材料。当前，发展最快的要算金刚石薄膜，半导体薄膜等。此外，L-B 膜是几十年前由 Langmuir 和 Blodgett 提出和发展的一个有序、紧密排列的分子组合系统，即以某些有机或生物分子在液面上形成一层规整的单分子膜，而后移植至固体载体上。由于其电子所处状态和外界环境的影响，L-B 膜可表现出不同的电子迁移规律，完成特定的电光、光电或电子学功能，如成为绝缘体、铁电体、导体或半导体等，从而有可能作为光学薄膜用于非线性光学、光开关、放大或调幅；作为敏感与传感元件用于显示或探测器；用于环保或表面改性的保护膜。

(4) 非平衡态（非稳定）材料日益受到重视 很多材料都是处于非平衡态的，钢就是其中之一。而这里所指的平衡态材料是用现代新技术，如离子注入、激光处理、及其他快冷手段得到的某些金属或合金，它们一般处于饱和状态或非晶态，性能特殊。这不但在实用方面已制得很多新型高性能材料，在理论方面也有新的突破。

(5) 正在发展中的几类材料 首先是高温超导材料，它是 21 世纪发展的重点之一。1982 年 Bednorz 和 Müller 发现超导临界温度  $T_c \approx 35$  K 的氧化物超导材料，引起世界各国科学家的极大兴趣，纷纷进行高临界温度超导材料研究，已研



制出  $T_c$  高达 125K 的氧化物系列超导材料。用超导材料制造电子器件已接近实用阶段，而应用于电子系统则存在许多问题，如电流密度不够高、脆性和稳定性问题等，是今后必须克服的难题。寻求  $T_c$  接近室温的超导材料是长期的研究课题。

中间化合物材料，也是今后发展的重点之一。它是两种以上金属或类金属所形成的化合物，涉及范围十分广泛，用途也日益扩大。半导体材料 GaAs、InSb、GaAs/GaAlAs 等都是具有重要特性的中间化合物。NdFeB 磁能积比钢的磁能积提高了 100 倍，可见中间化合物在硬磁材料方面大有可为。中间化合物具有熔点高、结合力强的优点，因而有可能成为在高温下工作的结构材料，但由于一直存在脆性问题，尚不能实际应用。20 世纪 80 年代，由于加硼对  $Ni_3Al$  的塑性的改善，又露出一线曙光，目前，正探索多种中间化合物及改进其塑性的途径，如通过微量元素的加入、合金化的类型和比例的选择，以及利用改进工艺的措施，有可能发现比高温合金工作温度还要高的新材料。

陶瓷材料中的功能陶瓷品种已很多，而且还在不断增加。特别值得强调的是，作为高温结构材料，陶瓷材料也是很有希望的候选者。当前，实验中的陶瓷绝热汽车发动机，可节油 30%。

高分子材料也出现新的势头。高分子结构材料正向高强度、高模量、工作温度更高的方向发展。高分子功能材料的品种增加很快，高分子材料导电性、磁性等物理性能的开发已有不少成果。

生物医学材料发展迅猛，是 21 世纪国际经济发展的支柱产业之一。

新材料发展的总趋势：一是向深层加工发展；二是功能材料和器件的一体化。

### 1.3 新型无机材料

传统的无机材料（玻璃、陶瓷、水泥、耐火材料）是以硅酸盐为主要原料制成的，已有漫长的历史。我国是历史上最早制造出瓷器的国家，陶瓷是中华文化的杰出成就之一。由于传统无机材料对国民经济和人民生活有极其深刻的影响，至今仍继续发展着，新材料、新工艺、新技术仍在不断涌现，生产规模也日益扩大，直到今天，它们在现代工业和日常生活中起着和继续起着多方面的重要作用。随着近代科学技术的发展，在无机材料中出现了一个新的领域——先进（新型）无机材料领域。新一代的无机材料的发展，将使它在高性能要求的领域发挥不可预料的作用。近 10 年来，一些有远见的人士认为，人类正在踏入第二个“石器时代”的边缘。据报道，无机材料需求量的增长居于各类材料之冠。

新材料的陆续出现和应用面的不断扩大，改变了原有传统无机材料——硅酸盐材料的面貌。自 20 世纪 40 年代以来，由于各种新技术的发展，在原有硅酸盐