



学科发展战略研究报告

(2006年~2010年)

无机非金属材料科学

国家自然科学基金委员会
工程与材料科学部



科学出版社

www.sciencep.com

学科发展战略研究报告

无机非金属材料科学

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为国家自然科学基金委员会工程与材料科学部组织出版的学科发展战略研究报告系列之一,内容既具有前瞻性和战略性,又具有针对性和可操作性。本书站在国家利益和学科总体的高度,面向未来国家经济建设和社会发展的重大需求,从国际学科发展和中国研究实际出发,论述了无机非金属材料科学各学科的科学内涵与结构体系、重要地位、国内外研究现状和发展趋势,并论证和遴选出“十一五”的基础研究方向和优先资助的领域。

本书为国家自然科学基金委员会工程与材料科学部遴选“十一五”优先领域提供参考,同时对有关决策部门、科研院校及社会公众也具有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

无机非金属材料科学/国家自然科学基金委员会工程与材料科学部.

—北京:科学出版社,2006

(学科发展战略研究报告)

ISBN 7-03-017252-3

I. 无… II. 国… III. 无机材料:非金属材料-研究报告 IV. TB321

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 050241 号

责任编辑:田士勇 吴凡洁 卜 新/责任校对:李奕莹

责任印制:安春生/封面设计:王 浩

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 10 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 10 月第一次印刷 印张: 18

印数:1—3 000 字数: 330 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

**国家自然科学基金委员会工程与材料科学部
学科发展战略研究报告组织委员会**

主 任：周孝信

副主任：黎 明 高瑞平

委 员：车成卫 陈克新 苗鸿雁 马 劲 朱旺喜

雷源忠 王国彪 刘 涛 纪 军 黄斐梨

茹继平 李大鹏 李万红 张亚南 王之中

编 辑：田士勇

无机非金属材料学科发展战略研究顾问组

师昌绪	中国科学院院士	国家自然科学基金委员会
严东生	中国科学院院士	中国科学院上海硅酸盐研究所
李恒德	中国工程院院士	清华大学
梁敬魁	中国科学院院士	中国科学院物理研究所
张孝文	教授	清华大学

无机非金属材料学科发展战略研究组

组 长:

千福熹	中国科学院院士	中国科学院上海光学精密机械研究所
-----	---------	------------------

副组长:

蒋民华	中国科学院院士	山东大学
王占国	中国科学院院士	中国科学院半导体研究所
高瑞平	研究员	国家自然科学基金委员会

成 员 (以姓名汉语拼音为序):

陈克新	研究员	国家自然科学基金委员会
陈立东	研究员	中国科学院上海硅酸盐研究所
陈立泉	中国工程院院士	中国科学院物理研究所
陈湘明	教授	浙江大学
范守善	中国科学院院士	清华大学
冯庆玲	教授	清华大学
冯锡洪	研究员	中国科学院上海硅酸盐研究所
韩高荣	教授	浙江大学
洪彦若	教授	北京科技大学
侯建国	中国科学院院士	中国科学技术大学
黄勇	教授	清华大学
金亿鑫	研究员	中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
李龙土	中国工程院院士	清华大学
李晓光	教授	中国科学技术大学
刘治国	教授	南京大学

罗毅	教授	清华大学
罗宏杰	教授	中国科学院上海硅酸盐研究所
孟庆波	研究员	中国科学院物理研究所
苗鸿雁	教授	国家自然科学基金委员会
南策文	教授	清华大学
欧阳世翕	教授	中国建筑材料科学研究院
施剑林	研究员	中国科学院上海硅酸盐研究所
田永君	教授	燕山大学
王继扬	教授	山东大学
王培铭	教授	同济大学
王天民	教授	北京航空航天大学
王迎军	教授	华南理工大学
吴以成	中国工程院院士	中国科学院理化技术研究所
夏定国	教授	北京工业大学
肖定全	教授	四川大学
许宁生	教授	中山大学
薛增泉	教授	北京大学
杨德仁	教授	浙江大学
殷庆瑞	研究员	中国科学院上海硅酸盐研究所
张立同	中国工程院院士	西北工业大学
张清杰	教授	武汉理工大学
张兴栋	教授	四川大学

无机非金属材料学科发展战略研究小组

结构陶瓷与复合材料研究小组

组 长：张立同

成 员：黄 勇 张清杰 田永君 施剑林

功能陶瓷研究小组

组 长：李龙土

成 员：李晓光 陈湘明 殷庆瑞

信息功能材料研究小组

组 长：王占国

成 员：罗 毅 杨德仁 许宁生

纳米材料与纳米结构研究小组

组 长：范守善

成 员：侯建国 薛增泉

人工晶体研究小组

组 长：蒋民华

成 员：王继扬 冯锡淇 吴以成

新能源材料研究小组

组 长：陈立泉

成 员：夏定国 孟庆波

生物医学材料和仿生材料研究小组

组 长：张兴栋

成 员：冯庆玲 王迎军

生态环境材料研究小组

组 长：王天民

成 员：陈立东

传统无机非金属材料研究小组

组 长：洪彦若

成 员：罗宏杰 王培铭 韩高荣

无机非金属材料学科发展战略研究秘书组

成 员：欧阳世翕 南策文 陈克新 苗鸿雁

特 邀：金亿鑫 肖定全 刘治国

《学科发展战略研究报告》序

未来十五年是我国科技事业发展的重要战略机遇期。胡锦涛同志在全国科学技术大会上指出,我们必须围绕建设创新型国家的奋斗目标,进一步深化科技改革,大力推进科技进步和创新,大力提高自主创新能力,推动我国经济社会发展切实转入科学发展的轨道。

把科技创新作为国家战略,走创新型发展道路,就是要实现经济增长方式从要素驱动型向创新驱动型的根本转变,使得科技创新成为我国经济社会发展的内在动力和全社会的普遍行为,最终依靠制度创新和科技创新实现经济社会持续协调发展。当代科学技术的发展趋势、世界主要发达国家的战略选择以及我国的基本国情,决定了我国不可能选择资源型发展模式或技术依附型的发展模式,必须提高自主创新能力,走建设创新型国家的发展道路。提高自主创新能力,最关键的还是原始创新,而加强基础研究是提高自主创新能力的重要措施之一。“十一五”期间,国家自然科学基金应结合国家发展的战略目标和社会发展与经济进步的重大需求,准确把握国家自然科学基金“支持基础研究,坚持自由探索,发挥导向作用”的战略定位,完善和发展中国特色科学基金制,着力营造有利于源头创新的良好环境,推动学科均衡、协调和可持续发展,培养和造就一批具有国际影响力的杰出科学家和进入国际科学前沿的创新团队,提升基础研究整体水平和国际竞争力,力争在若干主要领域取得突破,为繁荣科学事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

学科是科学基金资助和管理的基本单元。根据国家中长期科学和技术发展规划,遵照学科发展的自身规律和基础研究的特点,认真分析和研究学科发展的国际前沿、动态和趋势,总结国内研究状况和未来的发展需求,把握本学科发展在我国科技、经济、社会发展中的地位 and 作用;从学科发展全局出发,制定学科发展战略规划,明确目标,遴选优先领域和重点研究方向,并对应采取的重大步骤和措施提出建议,是一件十分有意义的工作。制定学科发展战略规划,不仅可以明确科学基金的定位和发挥科学基金的导向作用,而且对实现科学基金资源的优化配置,提高科学基金的资助效益具有十分重要的作用。

学科发展战略研究首先必须体现前瞻性、前沿性和战略性。学科发展战略报告的撰写应把握科学基金的职责和定位,结合国家科技发展战略目标和遵循科学发展规律,瞄准国际前沿。任何一门学科都有其自身的发展规律和特点。因此,在制定学科发展战略的过程中要处理好全局与局部的关系,既要注意发展战略涵

盖的范围，又要做到重点突出，坚持有所为、有所不为，同时也应考虑学科的发展状况以及与世界先进水平之间的差距，遴选适合我国国情的学科发展优先领域和重点研究方向。其次，学科发展战略研究还应体现科学基金的基础性。加强基础研究是提升国家创新能力、积累智力资本的重要途径，是跻身世界科技强国的必要条件。材料科学和工程科学是从工程实践和应用的基础上发展起来的技术基础学科，既有系统的理论体系和自身的客观规律，又有很强的交叉性、集成性和应用性。因此，工程科学与材料科学的学科发展战略研究，不仅要体现科学基金的基础性，还应结合社会进步与经济发展的重大需求，体现国家发展的战略目标。另外，学科发展战略研究还要体现科学基金的导向作用。科学基金的导向作用不仅仅体现在基础研究的资助方向上，而且还应体现在营造良好的源头创新氛围、提倡严谨求实的学风和增强自主创新的信念上。在基础研究中，要耐得住寂寞，要敢于做难事，敢于做前人没有做过的事，敢于做外国人没有做过的事，切实提高我国的源头创新和自主创新能力。

工程与材料科学部各学科处组织相关领域的专家在研讨的基础上制订了本学科发展战略规划，为“十一五”期间学科的科学基金资助工作打下良好的基础。在学科发展战略规划的制定过程中，专家们站在国家利益和学科发展的高度，认真调研、客观分析、积极建议，体现出了高度的责任感和使命感。科学出版社对工程与材料科学部的学科发展战略研究报告的出版给予了积极支持，并对其撰写和定稿提出了宝贵意见。在此表示衷心感谢。

国家自然科学基金委员会副主任

中国工程院院士



2006年1月17日

前 言

无机非金属材料是材料科学中重要的分支学科，它是研究无机非金属材料的成分和制备工艺、组织结构、材料性能和使用性能这 4 个要素以及它们之间相互关系的科学。

随着现代科学技术的发展，无机非金属材料不再局限于传统的陶瓷、水泥、玻璃、耐火材料及天然矿物材料等。新型的高温、高强度、高硬度的结构材料，各种功能材料（如光电子材料、敏感材料、记忆材料、特殊传输材料、生物材料、纳米材料与器件等新材料）的发展正日新月异。无机非金属材料的应用领域从过去的轻工、建材、冶金、电子、化工扩展到国防军工、航天航空、信息通讯、生物工程、原子能等高新技术领域，是现代工业、农业、国防、科技的重要组成部分。无机非金属材料学科已成为材料科学中最为活跃的分支学科之一。

为了探讨无机非金属材料学科的发展方向，明确前沿领域，促进我国无机非金属材料学科的发展，国家自然科学基金委员会工程与材料科学部于 1997 年正式出版了《无机非金属材料科学》学科发展战略研究报告。该研究报告对无机非金属材料学科的发展和资助工作起到了宏观引导作用。在过去的近 10 年里，随着材料设计理论的发展和制备技术的创新，无机非金属材料的研究也发生了很大变化。据此，在制定“十一五”规划之际，根据工程与材料科学部的统一部署，无机非金属材料学科再次开展了发展战略的研究工作，并于 2004 年 11 月在北京召开了发展战略研究第一次研讨会，成立了由干福熹院士任组长，蒋民华院士、王占国院士和高瑞平研究员任副组长的发展战略研究组，研究组由 41 位专家组成。会上讨论了撰写学科发展战略研究报告的框架，并按照分支学科组织了 9 个研究组，即“结构陶瓷与复合材料”、“功能陶瓷”、“信息功能材料”、“纳米材料与纳米结构”、“人工晶体”、“新能源材料”、“生物医学材料”、“生态环境材料”和“传统无机非金属材料”研究组。各研究组在调查研究、收集资料、征求意见的基础上，分别撰写出本分支学科领域的发展战略研究报告。2005 年 5 月在上海召开了第二次发展战略研讨会，对前期调研撰写工作进行了充分的研讨交流。2005 年 9 月，欧阳世翥教授、金亿鑫研究员在北京进行了统稿，后经多种形式的座谈讨论、征求意见、反复修改，并征求了无机非金属材料学科发展战略研究顾问组的意见后最终定稿。

先后有 60 余位专家参加了本研究报告的编写工作，它是一项汇集了我国无机非金属材料学科众多专家的智慧 and 心血的集体劳动成果。我们谨向指导、关心

和参加本项研究工作的所有专家表示衷心的感谢。

此次《无机非金属材料科学》学科发展战略研究报告注重学科的发展与国家经济和社会的发展相结合,体现现代基础研究“双力驱动”的基本特征。我们期望,本书能对无机非金属材料科学研究工作者及相关领域的领导干部、科技管理人员有所帮助,并为“十一五”基金资助工作打下良好的基础。

学科发展战略的研究是一项动态的工作,报告还有一些不尽人意之处,恳请读者不吝指正。

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部

无机非金属材料学科

2006年8月

目 录

《学科发展战略研究报告》序

前言

第一部分 概 述

第 1 章 无机非金属材料学科发展战略研究报告概述	3
第 2 章 无机非金属材料学科的战略地位	8
2.1 无机非金属材料的特点	8
2.2 无机非金属材料学科的作用	8
2.2.1 无机非金属材料对科学技术发展所起的作用	8
2.2.2 无机非金属材料对国民经济和社会进步所起的作用	11
2.2.3 无机非金属材料对国防建设所起的作用	13

第二部分 无机非金属材料学科的研究现状、 发展趋势与科学问题

第 3 章 材料科学技术的发展趋势	17
第 4 章 主要领域的研究现状、发展趋势与科学问题	19
4.1 结构陶瓷与复合材料	19
4.1.1 结构陶瓷与复合材料的战略地位	19
4.1.2 结构陶瓷和复合材料的研究现状与发展趋势	21
4.1.3 结构陶瓷及复合材料的共性科学问题	36
参考文献	37
4.2 功能陶瓷	40
4.2.1 功能陶瓷的研究现状	40
4.2.2 功能陶瓷材料的发展趋势与重要科学问题	48
4.2.3 功能陶瓷的共性科学问题	62
参考文献	63
4.3 信息功能材料	64
4.3.1 信息功能材料的研究现状	64
4.3.2 信息功能材料发展趋势	90
4.3.3 信息功能材料的共性科学问题	90

参考文献	91
4.4 纳米材料与纳米结构	94
4.4.1 研究现状	94
4.4.2 发展趋势	107
4.4.3 重要科学问题	111
参考文献	115
4.5 人工晶体	116
4.5.1 国内外研究现状和发展趋势	116
4.5.2 共性科学问题	132
参考文献	133
4.6 新能源材料	134
4.6.1 研究新能源材料意义	134
4.6.2 发展现状及趋势	136
4.6.3 重要科学问题	145
参考文献	146
4.7 生物医学材料和仿生材料	149
4.7.1 生物医学材料	149
4.7.2 仿生材料	163
参考文献	171
4.8 生态环境材料	172
4.8.1 研究现状与发展趋势	172
4.8.2 重要科学问题	189
参考文献	190
4.9 传统无机非金属材料	192
4.9.1 水泥及混凝土	193
4.9.2 玻璃	199
4.9.3 陶瓷	205
4.9.4 耐火材料	211
4.9.5 传统无机非金属材料共性科学问题	219
参考文献	220
第5章 无机非金属材料学科的共性科学问题	223

第三部分 无机非金属材料学科的发展战略

第6章 发达国家无机非金属材料学科的发展战略	229
6.1 美国的发展战略	229

6.2 欧盟的发展战略	232
6.3 日本的发展战略	234
6.4 美国、欧盟、日本的研究发展战略的共性与差异	236
参考文献	238
第7章 我国无机非金属材料学科的发展战略	239

第四部分 无机非金属材料学科的优先 发展领域和重点支持方向

第8章 无机非金属材料学科的优先发展领域	245
8.1 纳米材料与纳米结构	245
8.2 光电子材料	247
8.3 新能源材料	249
8.4 生物医学材料	251
8.5 环境协调的材料制备技术	252
第9章 无机非金属材料学科的重点支持方向	254
9.1 结构陶瓷和复合材料	254
9.2 功能陶瓷	254
9.3 信息功能材料	255
9.4 纳米材料与纳米结构	257
9.5 人工晶体	258
9.6 新能源材料	260
9.7 生物医学材料和仿生材料	261
9.8 生态环境材料	262
9.9 传统无机非金属材料	263
第10章 发展无机非金属材料学科的措施与建议	265
致谢	269

第一部分 概 述

第 1 章 无机非金属材料学科发展

战略研究报告概述

1. 无机非金属材料学科的战略地位

材料一般分为无机材料和有机材料,无机材料中除金属以外的材料都是无机非金属材料。最早,无机非金属材料只包含传统的陶瓷、玻璃、水泥和耐火材料,随着科学和技术的发展,又将半导体、先进结构陶瓷、功能陶瓷、新型功能玻璃、人工晶体、非晶态材料、碳素材料等都纳入到无机非金属材料领域中。

无机非金属材料品种繁多,新材料层出不穷,在国民经济和国防建设中的应用极其广泛。由于无机非金属材料学科具有多学科交叉的时代特征,其发展蓬勃,新的生长点不断涌现。

与其他材料一样,无机非金属材料对于科学技术的发展起着基础和先导作用。报告中以人工晶体、宽禁带半导体 GaN 及相关材料、先进功能陶瓷、纳米材料和结构等 20 世纪后半叶特别是 90 年代发展起来的部分新材料为例,说明了一种关键的无机非金属材料突破可以推动若干技术领域的发展,一类无机非金属材料的出现可以带动一个新的科学技术领域的诞生。

传统无机非金属材料是国家基本建设所必须的基础材料,量大面广,其质量提升和性能改进都将产生重大的经济效益和社会效益,文中例举的新型耐火材料就是很好的说明。而无机非金属新材料,如片式电子陶瓷元器件材料、光纤放大器材料、白光发光二极管、激光透明陶瓷、巨磁阻材料、生物医用材料等,在形成高技术产业、改造传统产业、节能和建立新能源、环保和节约资源等方面都对国民经济和社会进步发挥着重要作用。

无机非金属材料的高硬度、低密度、耐高温、耐腐蚀、耐磨和优异的环保性能以及特殊的光声、电等性能,在航空航天、兵器、舰船等国防领域得到越来越多的应用,如陶瓷基复合材料、结构陶瓷、特种功能陶瓷、人工晶体、石英玻璃等已成为武器装备中不可或缺的关键材料。无机非金属材料对国防建设发挥着越来越重要的作用。

无机非金属材料在学术上涉及多门学科,在组成上涵盖了多类材料,在应用上遍布国民经济、国防建设和社会需求等各个领域。所以,无机非金属材料对国民经济的发展、国防力量的增强和人民生活质量的提高等方面都有着重大作用。由于无机非金属材料学科交叉性,其发展非常活跃,新材料层出不穷,新的学科不断涌现,成为当今最活跃的学科领域之一。