



学科发展战略研究报告

无机非金属材料学科 发展战略研究报告

► (2016~2020)

国家自然科学基金委员会
工程与材料科学部



科学出版社

学科发展战略研究报告

无机非金属材料学科 发展战略研究报告 (2016~2020)

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无机非金属材料学科发展战略研究报告。根据工程与材料科学部的统一部署,本书从学科的国际发展趋势和国家重大需求出发,论述无机非金属学科的总体发展战略,提出10个优先发展领域:新能源材料、功能晶体、低维碳及二维材料、新型功能材料、先进结构材料、无机非金属材料制备科学与技术、无机非金属材料科学基础、传统无机非金属材料节能环保与可持续发展、信息功能材料与器件、生物医用材料,并介绍上述各领域的内涵与研究范围,科学意义与国家战略需求,研究现状、存在问题与发展趋势分析,发展目标,未来5~10年研究前沿与重大科学问题,未来5~10年优先研究方向。

本书可作为无机非金属材料学科的基础研究顶层设计和科学部署的依据,并为无机非金属材料学科遴选研究方向和项目提供参考,同时,对我国相关领域科学研究人员及社会公众也具有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

无机非金属材料学科发展战略研究报告:2016~2020 / 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部编. —北京:科学出版社, 2019. 1

ISBN 978-7-03-059777-9

I. ①无… II. ①国… III. ①无机非金属材料-发展战略-研究报告-中国-2016-2020 IV. ①TB321

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 277043 号

责任编辑:刘宝莉 牛宇锋 罗 娟 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:师艳茹 / 封面设计:陈 敬

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>

三河市春园印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年1月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2019年1月第一次印刷 印张:17

字数:321 000

定价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

无机非金属材料学科发展战略研究顾问组

干福熹	中国科学院院士	复旦大学/中国科学院上海 光学精密机械研究所
王占国	中国科学院院士	中国科学院半导体研究所
姚 熹	中国科学院院士	西安交通大学/同济大学
张立同	中国工程院院士	西北工业大学
梅良模	教授	山东大学
高瑞平	教授	国家自然科学基金委员会

无机非金属材料学科发展战略研究组

组 长：南策文 中国科学院院士 清华大学

副组长：欧阳世翕 教授 中国建筑材料科学研究总院

王继扬 教授 山东大学

成 员：（按姓名汉语拼音排序）

陈弘达 研究员 中国科学院半导体研究所

陈克新 研究员 国家自然科学基金委员会

陈湘明 教授 浙江大学

陈晓峰 教授 华南理工大学

成会明 中国科学院院士 中国科学院金属研究所

顾 辉 教授 上海大学

韩高荣 教授 浙江大学

李贺军 教授 西北工业大学

李 泓 研究员 中国科学院物理研究所

李红霞 研究员 中钢集团洛阳耐火材料研究院有限公司

李晓光 教授 中国科技大学

李言荣 中国工程院院士 电子科技大学

刘昌胜 中国科学院院士 华东理工大学

刘俊明 教授 南京大学

刘兴钊 教授 电子科技大学

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

钱觉时 教授 重庆大学

任文才 研究员 中国科学院金属研究所

田永君 中国科学院院士 燕山大学

王迎军 中国工程院院士 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

谢志鹏 教授 清华大学

俞大鹏 中国科学院院士 北京大学

张国军 研究员 中国科学院上海硅酸盐研究所

张文清 教授 上海大学

前 言

国家主席习近平出席 2014 年国际工程科技大会时发表了题为“让工程科技造福人类、创造未来”的主旨演讲,其中指出,“当今世界,新发现、新技术、新产品、新材料更新换代周期越来越短,工程科技创新成果层出不穷,社会经济发展的需求动力远远超出预测,人类创新潜能也远远超出想象。信息技术、生物技术、新能源技术、新材料技术等交叉融合正在引发新一轮科技革命和产业变革。这将给人类社会带来新的机遇。任何一个领域的重大工程科技突破,都可能为世界发展注入新的活力,引发新的产业变革和社会变革。”新材料是新一轮科技革命和产业变革的物质基础,对于发展我国高技术产业具有重要的先导牵引作用。在新材料中,无机非金属材料品种丰富,已远超出传统无机非金属材料(即玻璃、水泥、陶瓷和耐火材料等量大面广的基础材料)的范畴,特别是随着科学技术的发展,新的无机非金属材料层出不穷,如半导体、先进结构陶瓷、功能陶瓷、新型功能玻璃、光电功能晶体、新能源材料、低维碳及二维材料等。无机非金属材料在应用上遍布国民经济、国防建设和社会发展各个方面,新的生长点源源不断,其成果转化对国民经济的发展、国防力量的增强和人民生活质量的提高等方面都有重大作用,凸显现代科学与技术发展的时代特征和基础研究对国民经济发展的支撑。在学术上,无机非金属材料科学涉及多门学科,与物理学、化学、力学等基础学科以及工程学科密切交叉融合,已成为当今最活跃的学科领域之一。

我国一贯高度重视新材料产业的发展,《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》专门制定了新材料研究的战略规划,包含新材料产业的多个重点领域、前沿技术、基础研究和工程化专题。《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》和《新材料产业“十三五”发展规划》明确了新材料产业“十三五”发展的目标、措施以及重大政策。

主导我国基础研究的国家自然科学基金委员会一直遵循“更注重基础、更注重前沿、更注重人才”(三个注重)的基本思路,对学科发展战略进行研讨规划,加强顶层设计。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制订了四届学科发展战略研究与整体规划,先后有百余名专家学者参与了学科发展战略研讨,并将学科发展战略作为我国无机非金属材料的基础研究顶层设计和科学部署的依据,为我国新兴产业的培育和发展做出了贡献;同时,学科发展战略研究形成的报告为我国本领域科学研究人员,特别是青年科技研究人员,提供了重要参考和指南。1989 年开始组织,于 1995 年完成了本学科领域的第一届发展战略研讨,其发展战略研究报告以“无机非金属材料科学”为名由科学出版社于 1997 年正式出版发行,是我国“九五”“十五”期间无机非金属材料学科基础研究的发展战略指

南。2004 年按照工程与材料科学部整体部署,无机非金属材料学科进行了第二届学科发展战略研讨,2005 年 11 月完成了“十一五”学科发展战略研究报告,同样以“无机非金属材料科学”为名由科学出版社于 2006 年 10 月正式出版发行。2009 年无机非金属材料学科进行了第三届学科发展战略研讨,2009 年 10 月完成了无机非金属材料学科“十二五”发展战略研究报告(该报告没有公开出版)。

自 2006 年版《无机非金属材料科学》出版以来,随着科学技术的快速发展,无机非金属材料的研究也发生了很大变化,一些新的无机非金属材料脱颖而出并迅速成为材料科学及相关学科的热点,如以石墨烯为代表的二维材料、铁基超导材料、多铁性材料、杂化钙钛矿太阳能电池材料、纳米孪晶结构超硬材料和无机非金属超构材料等。2014 年,根据工程与材料科学部的统一部署,无机非金属材料学科开展了第四届本学科的发展战略研讨与“十三五”规划研讨,并于 2014 年 9 月在北京召开了第一次发展战略研讨会,成立了由 30 余位专家组成的发展战略研究组。战略制订按 10 个领域进行,包括 8 个优先发展领域:新能源材料、功能晶体、低维碳及二维材料、新型功能材料、先进结构材料、无机非金属材料制备科学与技术、无机非金属材料科学基础、传统无机非金属材料的节能环保与可持续发展,以及 2 个跨学科交叉优先领域:信息功能材料与器件、生物医用材料。2014 年 11 月完成了工程与材料科学部部署的学科“优先发展领域”全景式发展地貌图和“优先发展领域”凝练报告。随后,各领域研究小组在调研的基础上,分别进一步完善各领域的发展战略研究报告。2015 年 12 月和 2016 年 4 月分别在昆明和洛阳召开了第二次和第三次发展战略研讨会,对前期调研撰写工作进行了充分的研讨交流,初步形成无机非金属材料学科发展战略研究报告稿。2016 年 10~12 月,王继扬教授、欧阳世翥教授等分别在山东章丘和北京进行了统稿,后经多次征求相关领域专家意见、反复修改,于 2017 年 1~3 月征求无机非金属材料学科发展战略研究顾问组专家的意见后最终定稿。

两年多来,先后有 60 余位专家参加了本研究报告书稿的撰写工作,它是一项汇集了我国无机非金属材料学科众多专家智慧和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。

《无机非金属材料学科发展战略研究报告(2016~2020)》遵循“三个注重”,体现了现代基础研究“双轮驱动”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“十三五”国家自然科学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,报告还有诸多不尽如人意之处,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

2017 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 无机非金属材料学科发展概况	1
1.1 学科的战略地位	1
1.2 学科的发展规律和发展态势	3
1.2.1 学科发展规律	3
1.2.2 学科发展态势	5
1.3 学科的发展现状	6
1.4 学科的发展布局及发展目标	9
1.4.1 学科发展布局原则	9
1.4.2 学科总体布局	10
1.4.3 学科布局重点	11
1.4.4 学科发展目标	14
1.5 政策措施	14
参考文献	16
第 2 章 信息功能材料与器件	17
2.1 内涵与研究范围	17
2.2 科学意义与国家战略需求	18
2.2.1 微电子集成电路材料	18
2.2.2 光电子材料	19
2.3 研究现状、存在问题与发展趋势分析	21
2.3.1 研究现状与问题	22
2.3.2 发展趋势分析	26
2.4 发展目标	29
2.5 未来 5~10 年研究前沿与重大科学问题	32
2.5.1 研究前沿	32
2.5.2 重大科学问题	32
2.6 未来 5~10 年优先研究方向	33
2.6.1 面向新一代微电子的高迁移率 SOI 基材料	33
2.6.2 新型超高密度存储材料与器件	34
2.6.3 光互连材料与器件	34

2.6.4 第三代半导体材料	34
2.6.5 低维异质结构光电子材料	35
2.6.6 量子信息材料	35
参考文献	35
第3章 新型功能材料	38
3.1 内涵与研究范围	38
3.2 科学意义与国家战略需求	39
3.2.1 铁电与介电材料	40
3.2.2 多铁性材料	41
3.2.3 磁性材料	42
3.2.4 先进电子材料	43
3.2.5 超导材料	44
3.2.6 超构材料	44
3.2.7 发光与光存储材料	45
3.3 研究现状、存在问题与发展趋势分析	46
3.3.1 铁电与介电材料	47
3.3.2 多铁性材料	47
3.3.3 磁性材料	48
3.3.4 忆阻材料	49
3.3.5 超导材料	50
3.3.6 超构材料	51
3.3.7 发光与光存储材料	51
3.4 发展目标	52
3.5 未来5~10年研究前沿与重大科学问题	53
3.5.1 铁电/介电材料	54
3.5.2 多铁性材料	54
3.5.3 磁性及稀土替代材料	55
3.5.4 忆阻材料	55
3.5.5 高温超导材料	55
3.5.6 超构材料	55
3.5.7 发光及光存储材料	56
3.6 未来5~10年优先研究方向	56
3.6.1 高能量密度电容器、超低损耗微波介质陶瓷、无铅压电与铁电陶瓷	57
3.6.2 多铁性材料与异质结磁电调控原理设计理论和制备技术	57
3.6.3 磁性及稀土替代材料	58

3.6.4 高性能忆阻材料、器件结构与性能	58
3.6.5 高温超导材料和应用研究	58
3.6.6 超构材料的结构设计及其新效应器件	58
3.6.7 发光及光存储材料	58
参考文献	58
第4章 功能晶体	61
4.1 内涵与研究范围	61
4.2 科学意义与国家战略需求	62
4.3 研究现状、存在问题与发展趋势分析	64
4.3.1 研究现状	64
4.3.2 存在问题	67
4.3.3 发展趋势	68
4.4 发展目标	73
4.5 未来5~10年研究前沿与关键科学问题	75
4.5.1 未来5~10年的研究前沿	75
4.5.2 关键科学问题	75
4.6 未来5~10年优先研究方向	76
4.6.1 用于高平均功率密度固体激光器的激光晶体和磁光晶体研究	77
4.6.2 大尺寸优质非线性光学晶体及扩展波段的非线性光学晶体	77
4.6.3 电光晶体和压电晶体的研究和应用	78
4.6.4 高性能闪烁晶体及其探测器器件应用研究	79
4.6.5 大尺寸高质量弛豫铁电单晶生长及其应用研究	80
4.6.6 基于光学超晶格的全固态有源光子芯片的功能化及集成技术	81
4.6.7 化合物半导体光电功能晶体的研究及其应用	81
4.6.8 第三代半导体光电功能晶体的研究及其应用	82
参考文献	84
第5章 生物医用材料	87
5.1 内涵与研究范围	87
5.2 科学意义与国家战略需求	87
5.3 研究现状、存在问题与发展趋势分析	92
5.3.1 研究现状	92
5.3.2 存在问题	93
5.3.3 发展趋势	94
5.4 发展目标	99
5.5 未来5~10年研究前沿与重大科学问题	100

5.5.1	高活性组织修复材料的构建及其在微环境中的作用机制	101
5.5.2	生物医用材料的高活性和生物功能化表/界面	101
5.5.3	生物适配材料	102
5.5.4	基于 3D 打印技术构建组织修复部件基础研究	103
5.5.5	新型纳米生物材料及其生物学新效应研究	103
5.6	未来 5~10 年优先发展方向	104
5.6.1	生物活性材料	105
5.6.2	生物材料的表/界面	105
5.6.3	生物适配材料	106
5.6.4	诊疗用纳米生物材料	107
5.6.5	基于 3D 打印技术的组织再生构件快速成型制造	107
	参考文献	107
第 6 章	新能源材料	109
6.1	内涵与研究范围	109
6.1.1	内涵	109
6.1.2	研究范围	110
6.2	科学意义与国家战略需求	111
6.3	研究现状、存在问题与发展趋势分析	113
6.3.1	太阳能转换材料	115
6.3.2	燃料电池材料	121
6.3.3	热电材料	126
6.3.4	新能源储存材料	127
6.4	发展目标	133
6.5	未来 5~10 年研究前沿与重大科学问题	134
6.5.1	新能源材料对新能源的吸收机制	134
6.5.2	新能源材料能量转换机制	135
6.5.3	新能源材料与器件性能及工作状态下其关键过程的测试与表征	135
6.6	未来 5~10 年优先研究方向	136
	参考文献	136
第 7 章	低维碳及二维材料	138
7.1	内涵与研究范围	138
7.2	科学意义与国家战略需求	140
7.3	研究现状、存在问题与发展趋势分析	142
7.3.1	研究现状与问题	143
7.3.2	发展趋势	148

7.4 发展目标	150
7.5 未来 5~10 年研究前沿与重大科学问题	152
7.6 未来 5~10 年优先研究方向	153
7.6.1 晶圆尺寸电子级低维碳和二维材料的制备科学	153
7.6.2 低维碳和二维材料在光电器件中的应用探索	153
7.6.3 低维碳和二维材料在电子器件中的应用探索	153
7.6.4 低维碳和二维材料在能源等领域的应用探索	153
7.6.5 石墨炔研究及新型低维碳和二维材料探索	154
参考文献	154
第 8 章 先进结构材料	160
8.1 内涵与研究范围	160
8.1.1 超硬材料	161
8.1.2 先进结构陶瓷	161
8.1.3 高性能结构复合材料	162
8.2 科学意义与国家战略需求	165
8.2.1 超硬材料	165
8.2.2 先进结构陶瓷	166
8.2.3 高性能结构复合材料	167
8.3 研究现状、存在问题与发展趋势分析	168
8.3.1 超硬材料	168
8.3.2 先进结构陶瓷	170
8.3.3 高性能结构复合材料	173
8.4 发展目标	176
8.5 未来 5~10 年研究前沿与重大科学问题	177
8.5.1 超硬材料	177
8.5.2 先进结构陶瓷	177
8.5.3 高性能结构复合材料	178
8.6 未来 5~10 年优先研究方向	179
8.6.1 超硬材料	179
8.6.2 先进结构陶瓷	179
8.6.3 高性能结构复合材料	180
参考文献	180
第 9 章 传统无机非金属材料的节能环保与可持续发展	185
9.1 内涵与研究范围	185
9.1.1 内涵	185

9.1.2 研究范围	185
9.2 科学意义与国家战略需求	189
9.2.1 水泥和混凝土	189
9.2.2 玻璃	190
9.2.3 耐火材料	191
9.3 研究现状、存在问题与发展趋势分析	192
9.3.1 水泥和混凝土	192
9.3.2 玻璃	196
9.3.3 耐火材料	200
9.4 发展目标	203
9.4.1 水泥和混凝土	203
9.4.2 玻璃	203
9.4.3 耐火材料	203
9.5 未来5~10年研究前沿与重大科学问题	204
9.5.1 水泥和混凝土	204
9.5.2 玻璃	205
9.5.3 耐火材料	207
9.6 未来5~10年优先研究方向	208
9.6.1 水泥和混凝土	208
9.6.2 玻璃	209
9.6.3 耐火材料	210
参考文献	211
第10章 无机非金属材料科学基础	214
10.1 内涵与研究范围	214
10.2 科学意义与国家战略需求	215
10.2.1 计算材料科学	215
10.2.2 材料基因组工程	216
10.2.3 结构-性能关系和微结构效应	217
10.2.4 相图-多尺度微结构和介观材料科学	218
10.3 研究现状、存在问题与发展趋势分析	220
10.3.1 计算材料科学	220
10.3.2 材料基因组工程	221
10.3.3 结构-性能关系和微结构效应	222
10.3.4 相图-多尺度微结构和介观材料科学	223
10.4 发展目标	226

10.4.1 计算材料科学	226
10.4.2 材料基因组工程	226
10.4.3 结构-性能关系和微结构效应	226
10.4.4 相图-多尺度微结构和介观材料科学	227
10.5 未来 5~10 年研究前沿与重大科学问题	227
10.5.1 计算材料科学	227
10.5.2 材料基因组工程	228
10.5.3 结构-性能关系和微结构效应	230
10.5.4 相图-多尺度微结构和介观材料科学	230
10.6 未来 5~10 年优先研究方向	231
10.6.1 计算材料科学	231
10.6.2 材料基因组工程	231
10.6.3 结构-性能关系和微结构效应	232
10.6.4 相图-多尺度微结构和介观材料科学	232
参考文献	233
第 11 章 无机非金属材料制备科学与技术	236
11.1 内涵与研究范围	236
11.1.1 陶瓷材料	236
11.1.2 薄膜材料	238
11.2 科学意义与国家战略需求	239
11.3 研究现状、存在问题与发展趋势分析	241
11.3.1 陶瓷制备技术	241
11.3.2 薄膜制备技术	244
11.4 发展目标	248
11.5 未来 5~10 年研究前沿与重大科学问题	249
11.5.1 陶瓷制备技术	249
11.5.2 薄膜制备科学与技术	250
11.6 未来 5~10 年优先研究方向	252
参考文献	253

第 1 章 无机非金属材料学科发展概况

1.1 学科的战略地位

材料是用于制造有用物件的物质,通常可分为无机材料和有机材料两大类。在无机材料中,除金属材料以外都称为无机非金属材料。无机非金属材料包括传统无机非金属材料,如陶瓷、玻璃、水泥和耐火材料等,以及在高技术产业发展中不断涌现的新型无机非金属材料,如先进结构陶瓷、功能陶瓷、功能玻璃、半导体材料、低维碳材料、生物医用材料、光电功能晶体、能源转换与存储材料等。先进无机非金属材料不断涌现,在现代科学技术和人类文明的发展中具有不可替代的重要作用。

无机非金属材料学科是材料科学与工程的一个重要组成部分,具有基础性、交叉性和工程特性。无机非金属材料组成复杂多变,应用遍及国民经济、社会发展和国防建设等各个方面。它不仅是物理、化学、数学和工程等几大学科的交汇点,近年来的发展又使其与生物、医学、信息、能源和环境等学科紧密关联。无机非金属材料学科内涵极为丰富,涉及从微观、介观至宏观的多层次、大跨度和复杂因素行为,覆盖了从基础科学到工程技术和应用需求的全链条过程。因此,无机非金属材料学科既是一门多学科交叉的前沿综合、探索材料科学自身规律、发展新材料的基础学科,又是与国民经济发展密切相关的应用学科。正是新材料的不断发展和应用,满足了人们安居乐业的需求和对美好生活的向往。近年来,无机非金属材料领域研究热点和新增长点不断涌现,新材料层出不穷,成为当今最活跃的学科领域之一。仅自 2000 年以来,已有 5 次基于无机非金属材料科学的重大发现获得诺贝尔物理学奖,包括理论发现拓扑相变和拓扑相物质(2016 年)、GaN 蓝色发光二极管(2014 年)、石墨烯(2010 年)、光纤(2009 年)、半导体异质结与集成芯片(2000 年)。

长期以来,传统无机非金属材料主要作为结构材料,在国民经济发展中起着重要的支撑作用,是量大面广的基础材料,同时也消耗了大量能源和资源。这类材料的科技进步,即使是微小升级和创新,都会为所支撑的行业带来重大变化,对社会可持续发展产生重要影响。传统无机非金属材料的低碳制备是降低我国 CO₂ 总排放量最重要的途径之一,对我国可持续发展有着举足轻重的作用。

新型无机非金属结构材料通常具有高硬度、低密度、耐高温、耐腐蚀、耐磨损等

优异性能,在航空航天、兵器、舰船等国民经济和国防等领域得到越来越多的应用,如陶瓷基复合材料、先进结构陶瓷、石英玻璃等已成为武器装备中不可或缺的关键材料,特别是对各种应用于极端环境的先进结构陶瓷的需求急剧提高。这也是所谓的后传统无机非金属材料。

信息功能材料是无机非金属材料的重要组成部分,是现代信息社会发展的基础和先导。20 世纪人类的伟大发明,如计算机和激光,其发展均建立在新型信息功能材料发展的基础上。受晶体管发明(1956 年诺贝尔物理学奖)及其应用的驱动,硅基半导体的发展引导了电子工业革命;全固态激光器、半导体激光器和光纤(2009 年诺贝尔物理学奖)的发明,以及超晶格、量子阱微结构材料和高速器件的成功制备,使人类进入光纤通信、移动通信和高速、宽带信息网络的时代。在半导体发光材料(2014 年诺贝尔物理学奖)研制成功基础上发展的全固态新光源,引起了“照明革命”,显著节约了能源,美化了人类家园。

无机功能材料是指以功能性质应用为目的的无机材料,包括功能陶瓷、功能晶体、超导材料、多铁性材料、存储材料等。通过这类材料,电、磁、光、热、力等各种能量形式可相互转化。例如,压电材料深刻地改变了传感器、超声技术、表面波通信和精密定位等一系列技术;高温超导氧化物陶瓷的发现(1987 年诺贝尔物理学奖),更是成为材料科学与量子材料的里程碑;光电功能晶体的应用促进了激光等技术的快速发展,满足了国防重大工程的急需。看今日世界,无机功能材料已形成支撑国民经济运行和社会进步、规模宏大的高技术产业群,有广阔的发展空间和重要的战略意义,是我国中长期发展的战略重点之一,也是国际材料科学与工程的前沿和国际竞争最为激烈的研究领域之一。

生物医用材料是一类和生物体相容,用于诊断、治疗、修复,乃至替换生物体(主要是人体)病损组织、器官或增进其功能的新型功能材料,与生命健康密切相关。随着生物技术的蓬勃发展和重大突破,生物医用材料和制品产业呈现高速增长的态势,是世界经济中的朝阳产业之一,并将带动多种相关产业的发展,成为 21 世纪世界经济的一个重要支柱。

自 20 世纪 80 年代以来,科学家陆续发现了富勒烯、碳纳米管和石墨烯等碳元素的新型同素异形体,富勒烯和石墨烯的发现者相继获得诺贝尔化学奖(1996 年)和物理学奖(2010 年),形成了低维碳材料持续的研究热潮。作为主导未来高科技产业竞争的一类超级材料,当前碳纳米管和石墨烯等规模化制备已取得重要突破,逐渐进入产业化阶段,形成以低维碳材料为源头的新兴产业链,引领新兴产业的发展。

无机非金属材料的发展也将为解决当前人类面临的能源和环境污染两大问题发挥重要作用,为实现文明社会可持续发展提供重要的物质基础^[1]。

1.2 学科的发展规律和发展态势

无机非金属材料学科的发展规律是材料科学发展的典型,源自化学、固体物理学和工程科学等,在材料大规模生产和使役过程中不断充实与完善,在与其他学科交叉融合中不断升华而独具特色^[2]。

1.2.1 学科发展规律

1. 应用需求牵引学科发展,学科发展推动产业升级

作为一门基础和应用结合的新兴学科,无机非金属材料科学一个鲜明的特色就是以基础研究为先导,与国民经济和社会应用需求紧密相关,互为促进。无机非金属材料的大规模应用促使人们不断探索本质、追求完善、发现规律、建立系统理论、指导材料研究和工艺改进,获得更高性能、更低成本的材料。同时,学科水平的不断提升使材料关键技术得以突破,从而进一步发展新材料和相关应用,推动了产业升级,乃至社会的进步和发展。因此,学科发展的动力来自应用需求,应用需求推动了材料的发展,材料发展过程促进基础研究进一步深入,也推动了学科发展。无机非金属材料的发展是自然科学发展与现代工业生产需求相互促进和发展的一个缩影,举例如下:

(1)随着人类健康需求的提高,无机生物医用材料经历了从惰性材料发展到生物活性材料的过程。20世纪70年代,氧化物陶瓷就成为牙种植体、义齿和人工关节的主要材料。基于对新生物医学材料的需求,创制了在生理环境中与骨组织键合的生物玻璃,又先后研发成功羟基磷灰石陶瓷以及体内可降解并为新骨替代的磷酸三钙陶瓷等,生物活性材料概念应运而生,促进了生物医用材料理论的发展。在理论指导下,等离子喷涂、微弧氧化和阳极氧化等技术先后用于制备人工关节及牙种植体表面涂层,这种兼具生物活性和强度的羟基磷灰石或硅灰石涂层材料又成为可用于临床的可承力表面活性材料,推动了产业升级。

(2)功能晶体的发展主流以用于微电子器件和集成电路产业的半导体硅为代表;同时,硅材料又广泛用于太阳能电池等新兴能源产业。光电功能晶体的发展也力求为节能减排、发展新技术做贡献。当前,光电功能晶体在向高质量、大尺寸、低维化、复合化和材料功能一体化方向发展,以满足以全固态激光器为代表的光电器件在扩展波段、高频率、短脉冲和复杂极端条件下使用的要求。同时,要发展新的光电功能晶体以满足国家经济和社会发展、国防和国家安全的需求。

(3)信息技术本身正向数字化和网络化发展,需要超大容量信息传输、超快实时信息处理和超高密度信息存储技术。因此,信息功能材料向低维化和材料器件