



中国战略性新兴产业 研究与发展

R&D of
China's Strategic
New Industries

功能材料

Wind Energy

国家仪表功能材料工程技术研究中心 组编

刘庆宾 主编



机械工业出版社
China Machine Press



刘庆宾

刘庆宾 1967年5月生，教授级高工，现任重庆材料研究院有限公司（简称重材院）董事长兼总经理、国家仪表功能材料工程技术研究中心主任，兼任中国仪表功能材料学会常务副理事长、中国仪表功能材料行业协会理事长、全国仪表功能材料标准化技术委员会（TC419）主任。

刘庆宾教授是重材院贵金属材料创新团队首席专家，享受国务院政府特殊津贴，曾荣获“全国优秀科技工作者”称号。先后承担国家科技支撑计划、院所专项资金等重点项目十余项，开发的多种功能材料已广泛应用于我国冶金、石化、能源、航空航天以及国防军工众多领域，并制定了一系列的国家标准、国家军用标准和国家计量检定规范，获得多项国家级和省部级科技进步奖励。

中国战略性新兴产业研究与发展

功能材料

重 庆 材 料 研 究 院 有 限 公 司
中国仪器仪表学会仪表功能材料分会
中国仪器仪表行业协会仪表功能材料分会

组编

刘庆宾 主编

 **机械工业出版社**
China Machine Press

本书分8篇,主要对功能材料行业的6类子材料的行业发展现状、科技发展状况、国内外情况对比、资源潜力、布局与思路、发展目标、发展战略、面临的机遇等进行了全面、系统的分析研究,对功能材料的未来发展提出了具有指导意义的建议。其中,第1篇是功能材料的概述,从全局的高度分析并比较了国内外功能材料行业的发展现状、特点、技术水平与发展趋势;第2~7篇则分别分析了纳米功能材料、3D打印材料、电磁流变材料、生物功能材料、土木功能材料、新能源材料6个子行业的发展现状,并提出今后的发展目标与布局规划;附录篇着重对功能材料所用的钒、钛、碲、铋四类资源进行了现状与潜力分析。

本书资料详实,具有一定的思想、理论深度,适合各级政府和行业决策机构制定政策法规、学术研究机构规划研究方向参考,也适合企业决策者,技术、管理及市场人员,以及投资、证券行业及咨询机构的人员在规划、投资、研究、项目实施中使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国战略性新兴产业研究与发展. 功能材料 / 刘庆
宾主编; 重庆材料研究院有限公司, 中国仪器仪表学会
仪表功能材料分会, 中国仪器仪表行业协会仪表功能材料
分会组编. —北京: 机械工业出版社, 2016. 3
ISBN 978-7-111-53265-1

I. ①中… II. ①刘… ②重… ③中… ④中… III.
①新兴产业-产业发展-研究-中国 ②功能材料-材料工
业-产业发展-研究-中国 IV. ①F121.3 ②F426

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第071694号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:董蕾 责任校对:舒莹 赵蕊

北京宝昌彩色印刷有限公司印制

2016年5月第1版第1次印刷

170mm×242mm • 28.75印张 • 533千字

标准书号: ISBN 978-7-111-53265-1

定价: 150.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

年鉴网:<http://www.cmiy.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)68326643

封面无机械工业出版社专用防伪标均为盗版

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会

- 主任** 路甬祥 第十届、十一届全国人大常委会副委员长，
中国科学院院士、中国工程院院士
- 副主任** 苏 波 中纪委驻中央统战部纪检组组长
- 王文斌 中国机械工业联合会副会长、机械工业信息研究院院长、
机械工业出版社社长

委员（按姓氏笔画排序）

- 石 勇 机械工业信息研究院副院长
- 冯金尧 中国机械通用零部件工业协会紧固件分会会长
- 邢 敏 中国内燃机工业协会常务副会长兼秘书长
- 刘庆宾 重庆材料研究院有限公司董事长兼总经理、中国仪器仪表
行业协会仪表功能材料分会理事长
- 孙容磊 华中科技大学教授、中国人工智能学会智能制造专业
委员会秘书长
- 吴正元 南京聚隆股份有限公司董事
- 张建成 兰州长城电工股份有限公司副总经理、总工程师
- 陆大明 中国机械工程学会物流工程分会理事长、
北京起重运输机械设计研究院名誉院长
- 武兵书 中国模具工业协会常务副会长兼秘书长
- 赵志明 中国石油和石油化工设备工业协会首席顾问
- 徐东华 国资委机械工业经济管理研究院院长、国务院发展研究
中心研究员
- 郭 锐 机械工业信息研究院副院长、机械工业出版社总编辑
- 蒋善武 天安电气集团有限公司总裁
- 景晓波 工业和信息化部运行监测协调局副巡视员
- 谢三明 工业和信息化部运行监测协调局监测预测处处长
- 樊高定 中国制冷空调工业协会常务副理事长
- 瞿金平 华南理工大学教授、中国工程院院士

《中国战略性新兴产业研究与发展·功能材料》

编委会

主 编 刘庆宾

副主编 (排名不分先后)

郭新立 方庆红 韩宝国 李美成
聂尊誉 王中林 杨绍利 张十庆

撰稿人 (排名不分先后)

陈 坚 戴采云 丁思齐 董素芬 段宣明
方庆红 葛 创 郭新立 韩宝国 郝 威
康海澜 李 琦 李美成 龙剑平 马 兰
聂尊誉 孙胜伟 谭 军 王林志 王小娟
王云洋 杨绍利 杨晓亮 张 平 张 耀
张弘毅 张立卿 张十庆 赵 丽 赵安中
朱圣青 朱昭旺

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会办公室

主 任 石 勇 (兼)

副主任 李卫玲

成 员 刘世博 任智惠 董 蕾 李 晶

全球金融危机和经济衰退发生以来，美欧日俄等各国为应对危机、复苏经济、抢占未来发展的先机和制高点，都在重新审视发展战略，不断加快推进“再工业化”，培育发展以新能源、节能环保低碳、生物医药、新材料与高端制造、新一代信息网络、智能电网、海洋空天等技术为支撑的战略性新兴产业，在全球范围内构建以战略性新兴产业为主导的新产业体系。力图通过新一轮的技术革命引领，重新回归实体经济，创造新的经济增长点。这已成为很多国家摆脱危机、实现增长、提升综合国力的根本出路。可以预计，未来的二三十年将是世界大创新、大变革、大调整的历史时期，人类将进入一个以绿色、智能、可持续发展为特征的知识文明时代。那些更多掌握绿色、智能技术，主导战略性新兴产业发展方向的国家和民族将在未来全球竞争合作中占据主导地位，赢得全球竞争合作，共享持续繁荣进程中的主动权和优势地位。

为应对金融危机和全球性经济衰退以及日趋强化的能源、资源和生态环境约束，以实现中国经济社会的科学发展、和谐发展、持续发展，党中央、国务院提出加快调整产业结构、转变经济发展方式，加快培育和促进战略性新兴产业发展的方针，出台了《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》以及相关政策举措。可以肯定，未来5~10年将是我国结构调整与改革创新发展的一个新的战略机遇期，将通过继续深化改革，扩大开放，提升自主创新能力，建设创新型国家，实现我国科技、产业、经济由大变强的历史性跨越，我国经济社会发展将走出一条依靠创新驱动，绿色智能，科学发展、和谐发展、持续发展之路，实现中华民族的伟大复兴。

展望未来，高端装备制造、新能源汽车、节能环保、新一代信息技术、生物医药、新能源、新材料、绿色运载工具、海洋空天、公共安全等全球战略性新兴产业将形成十数万亿美元规模的宏大产业，成为发展速度最快，采用高新技术最为密集，最具持续增长潜力的产业群落。战略性

新兴产业的发展需求也将拉动技术的创新突破和产业结构的调整，为包括我国在内的全球经济发展注入新的强大动力。

在世界各国高度重视培育和发展战略性新兴产业的新形势下，编著一套《中国战略性新兴产业研究与发展》图书，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对行业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行全面、系统研究，凝聚对战略性新兴产业内涵和发展重点的认识，为国家战略性新兴产业发展规划的顺利实施，以及政府和有关部门制定促进战略性新兴产业发展的相关政策和法规提供参考，具有十分重要的现实意义。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书对相应产业的阐述、分析均注重强调战略性新兴产业的六个主要特点：

一是**绿色**。战略性新兴产业属于能耗低、排放少、零部件可再生循环的“环保型”“绿色型”产业，无论从产品的设计、制造、使用，还是回收、再利用等整个生命周期的各个环节，对资源的利用效率与对环境的承载压力均要求达到最理想水平。

二是**智能**。新型工业化要求坚持以信息化带动工业化、以工业化促进信息化，即要实现“两化融合”。而“两化融合”决定了智能是未来产业尤其是战略性新兴产业的发展方向。所谓智能，是指制造过程的智能化、产品本身的智能化、服务方式的智能化。这些均是智能的最基本层次，它还具有其他更为丰富的内涵。如：智能电网，通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用，可实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和系统安全等方面的智能；智能汽车不只是安全智能，还包括节能、减排、故障预警等方面的智能。

三是**全球制造**。随着全球化趋势不断深化，战略性新兴产业的发展成果也必将是由全人类共创共享。新产品的研制开发，不再由一个企业独自完成，需要集成各方面优势资源共同解决。例如 iPhone 在中国完成装配，但它的设计、研发以及许多零部件的供应都是在美国、日本、欧洲等国实现的，其本身就是一个全球化的产品。因而，未来的制造必

然是全球化制造、网络化制造。

四是**满足个性化需求与为更多人分享相结合**。目前中国有 13 亿人口，印度有 12 亿人口，还有巴西、印度尼西亚等新兴国家、发展中国家也都要实现现代化。在全球如此规模庞大的人群中，既存在富裕阶层、高消费阶层，他们的消费需求是个性化、多样化的；又有占比较大的中产阶层、贫困人口，他们的消费需求是基本层次的，但也不能被忽视。两种类型的消费需求必须同时被满足，这不仅是构建和谐社会的需要，而且是构建和谐世界的需要。因此，我国发展战略性新兴产业，应该既要满足中高端个性化的需求，同时又要满足我国与其他发展中国家广大普通消费者的需求。要把个性化的设计、个性化的产品生产，与规模化、工业化的传统生产结合起来，不能完全抛弃传统的规模化生产方式。

五是**可持续**。要使有限的自然资源得以有效、可持续利用，发展利用可再生资源、能源，强调发展再制造、循环经济。无论是原材料使用，还是零部件制造，从研发、设计之初就考虑到了生产中的废料、使用后的遗骸的回收处置，使其能够重新得到循环利用。

六是**增值服务**。培育发展战略性新兴产业需要注意在设计制造过程中与产品售后、使用过程中提供相关增值服务。不应再局限于传统的观念，只注重制造本身，而不注重服务的价值。例如，发展电动汽车产业，必须首先解决好商业模式问题，包括充电桩建设、电池更换、废旧电池回收等服务方面，否则将无法广泛推广。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书内容丰富，资料翔实，观点鲜明，立意高远，并力求充分体现出“四性”，即科学性、前瞻性、指导性和基础性。

第一，体现**科学性**。所谓科学性，就是指以科学发展观为指导。科学发展观的核心是以人为本，总体目标是全面、协调、可持续，基本方法是统筹兼顾，符合客观规律。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书既要能够为党中央、国务院提出的加快发展战略性新兴产业的总体战略服务，又不应受到行业、部门的局限，更不能写成规划或某些部门规划的解读材料，而应能够立足于事物客观规律、立足于全局。各分

册编写组同志重视调查、研究，力求对国情、科技、产业及全球相关产业的发展态势有比较准确的把握，努力为我国战略性新兴产业的发展提供一本基于科学基础的好素材。这套图书立足基于我国国情，而不是简单地把发达国家的相关产业信息进行综合、编译，照搬照抄。当然，我国发展战略性新兴产业不能“闭门造车”，而是要坚持开放性，积极参与国际分工合作，充分利用全球优势资源，提高发展的起点和水平。因而，有必要参照国际成功经验与最新发展趋势，但一定要以我国国情和产业特点为根本出发点，加快培育和发展有中国特色的、竞争能力强的战略性新兴产业。

第二，体现**前瞻性**。一是能够前瞻战略性新兴产业的发展，因为这套图书是战略性新兴产业的发展指导书。二是能够前瞻战略性新兴产业技术的发展。为了做好这两个前瞻，必须要适当地前瞻全球经济、我国经济与战略性新兴产业发展的趋势。只讲发展现状是不够的，因为关于现状的资料很多，通过简单地网络搜索即可查到；也不能只罗列国外的某些规划和发展战略。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的编写注重有深度的科学分析与前瞻性的研究。

第三，体现**指导性**。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书本身就是指导书，能够对产业、对技术、对国家制定政策，甚至在未来国家发展战略与规划的制定等方面发挥一定的引导作用与影响。虽然不能说这套图书可以指导国家战略与规划的制定，但是应该努力发挥其积极的引导作用。

第四，体现**基础性**。所谓基础性，就是指要能够提供战略性新兴产业的基础信息、基础知识，以及我国和有关国家在相关产业发展方面的基本战略，主要的法规、政策和举措，并尽可能提供一些基本的技术路线图。比如在轴承分册，就描述了一个轴承产业发展的路线图。唯有如此，《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书才能满足原来立项的宗旨——不仅要为工程技术界、大学教师、大学生与研究生提供学习参考书，为产业界的技术人员、管理人员提供决策参照，而且要为政府部门的政策法规制定者提供参考。

机械工业出版社是具有 60 年历史的专业性综合型出版机构，改革开放后，随着市场经济的发展，机械工业出版社不断改革转型，不但形成了完善的编辑出版工作流程和质量保证体系，而且编辑人员作风严谨，工作创新。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书不仅是一套科技普及书，更是一套产业发展参考书，必须既要介绍国内外战略性新兴产业的发展情况，又要阐述相关政策、法规、扶植措施等内容。因此，这套图书的组编单位、编写负责人和编写工作人员必须要有相关积累和优势。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书所选的分册主编和作者主要是精力充沛的业内中青年专家，并由资深专家负责相应的编审、校审工作。现在看来大多数工作由中青年同志担当，是完全符合实际的。此外，这套图书的编著还充分发挥了有关科研院所、行业学会和协会的作用，他们的优势在于对行业比较熟悉，并掌握了较为丰富的资料。

最后，特别感谢国家出版基金对《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的大力支持！感谢全体编写出版人员的辛勤劳动！

期望《中国战略性新兴产业研究与发展》为社会各界了解战略性新兴产业提供帮助，期待中国战略性新兴产业培育和发展尽快取得重大突破，祝愿我国在不久的将来实现由经济大国向经济强国的历史性跨越！是为序。

浩南祥

2012 年 2 月 6 日于北京

前言

功能材料是 21 世纪具有决定性意义的高新技术的集中体现，它是国家战略性新兴产业的基础与先导，对高新技术的发展起到极为重要的支撑与推动作用。功能材料不仅是发展我国信息技术、生物技术、能源技术等高新技术和国防建设的重要基础材料，而且是改造与提升我国基础工业和传统产业的基石、先导与依托，其研发与产业化水平直接影响我国装备制造的技术水平和资源、环境及社会的可持续发展。

《新材料产业“十二五”规划》中提出，材料工业是国民经济的基础产业，新材料是材料工业发展的先导，是重要的战略性新兴产业，而功能材料占材料工业的 80% 以上。因此，“十二五”甚至“十三五”时期皆是我国功能材料科技与产业由大变强的关键时期。加快培育和发展功能材料科技与产业，对于引领材料工业升级换代，支撑战略性新兴产业发展，保障国家重大工程建设，促进传统产业转型升级，构建国际竞争新优势具有重要的战略意义。

经过几十年发展，我国功能材料科技与产业不断发展壮大，功能材料科技与产业体系初步形成。我国功能材料研发和应用始于国防科技工业领域，经过多年发展，功能材料在国民经济各领域的应用不断扩大，初步形成了包括研发、设计、生产和应用，品种门类较为齐全的科技与产业体系。

2014 年国外关于材料的重大战略规划也陆续出台，其中欧盟、日本、俄罗斯、美国在纳米材料、生物材料、智能材料、新能源材料等方面都予以高度重视。鉴于功能材料自身种类繁多的特点，第 2 篇到第 7 篇分别从纳米功能材料、3D 打印材料、电磁流变材料、生物功能材料、土木工程用功能材料、新能源材料六大产业类进行详细阐述，同时根

据应用领域不同进行更为详细的定义和分类。其内容主要是剖析国内外科技与产业发展状况，探讨目前我国功能材料科技与产业发展存在的问题，并研究现行的相关产业政策、未来规划等，结合我国产业状况、优势和国外技术发展前沿，提出发展方向、发展策略等。附录阐述了我国功能材料用钒、钛、碲、铋资源开发现状及潜力分析。

本书编写力求内容丰富、资料翔实、指导性强，可为政府、行业合理规划及统筹布局战略性新兴产业提供相关建议，为企业投资提供指导性建议，对从事功能材料研究、开发、生产的科技工作者也有很好的参考价值。本书的顺利出版得到了中国仪表功能材料学会、中国仪表功能材料行业协会的大力支持，特别感谢东南大学郭新立教授团队主编了“纳米功能材料”部分，中国科学院重庆绿色智能技术研究院段宣明教授、王林志主编了“3D 打印材料”部分，重庆材料研究院张平教授主编了“电磁流变材料”部分，沈阳化工大学方庆红教授团队主编了“生物功能材料”部分，大连理工大学韩宝国教授、董素芬主编了“土木工程功能材料”部分，华北电力大学李美成教授团队主编了“新能源材料”部分，四川省攀枝花学院钒钛中心杨绍利教授团队主编了“我国钒、钛、碲、铋战略资源潜力分析”部分。



2016 年 3 月 6 日

编写说明

《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》确定了我国未来经济社会发展的战略重点和方向是战略性新兴产业，并且根据我国国情和科技、产业基础，又制定出现阶段重点发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车七大新兴产业。可见，未来几年七大战略性新兴产业将是国家重点支持、大力推广的产业。

为了使大家全面理解、准确把握、深刻领会国家这一战略决定的精神实质，了解其发展内涵，推动产业结构升级和经济发展方式转变，增强国际竞争优势，抢占新一轮经济和科技制高点，机械工业出版社在国家出版基金的支持下，组织各领域权威专家编写了一套《中国战略性新兴产业研究与发展》（以下简称《研究与发展》）图书。

《研究与发展》以国家相关发展政策和规划为基础，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对产业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行了全面、系统的研究；对前瞻性、基础性和目前产业上有瓶颈限制的问题提出了有针对性的对策。

《研究与发展》采用分期分批的出版方式陆续出版发行，第一期12个分册图书已于2013年底完成出版，包括：太阳能、风能、生物质能、智能电网、新能源汽车、轨道交通、工程机械、水电设备、农业机械、数控机床、轴承和齿轮。本次出版第二期13个分册图书，包括：功能材料、物流仓储装备、紧固件、模具、内燃机、塑料机械、塑木复合材料、物联网、制冷空调、智能制造、非常规油气、中压开关和工业网络信息安全。今后根据国家产业政策要求及各行业的发展情况还将陆续推出其他分册。

为了出版好《研究与发展》，机械工业出版社成立了《中国战略性新兴产业研究与发展》编委会，全国人大常委会原副委员长路甬祥

担任编委会主任。路甬祥副委员长对该套图书的编写高度重视，亲自参加编委研讨会，多次提出重要指导意见。他从图书的定位、内容选材、作者队伍建设和运作流程等方面都给予了全面和具体的指导，并提出了“六个特点”和“四性”的具体要求。对每个分册的内容重点提出了具体的建议要求。

机械工业出版社还建立了完善的项目管理、编写组织、出版规范和网络支撑四个方面的工作体系来保证图书质量。各组编单位投入了大量的精力组织行业权威专家规划内容结构、研讨内容特色；参与图书编写的主创人员也不计报酬，自觉自愿地把自己的聪明才智和研究成果奉献给社会，奉献给国家。他们都担负着繁重的科研、教学、行业管理或生产任务，为了使此书能够早日与大家见面，他们不辞辛苦、加班加点。因为他们都有一个共同心愿——帮助企业快速成长，使中国由大变强。

在此，衷心地感谢为此项工作付出大量心血的组编单位、各位专家、各位撰稿人、编辑出版及工作人员！

尽管我们做了大量工作，付出了巨大努力，但仍难免有疏漏或错误之处，敬请读者批评指正！

《中国战略性新兴产业研究与发展》编辑部

2016年3月

目录 CONTENTS

序言	
前言	
编写说明	

第 1 篇 功能材料概述

第 1 章 功能材料的概念及特点·····	2
第 2 章 功能材料的分类及若干基本定义·····	3
2.1 按传统材料的分类法分类·····	3
2.2 现代功能材料的分类及发展方向·····	3
第 3 章 功能材料的发展简史、现状及趋势·····	6
3.1 功能材料的发展历史·····	6
3.2 国外功能材料发展现状及趋势·····	7
3.3 我国功能材料产业发展现状和趋势·····	10

第 2 篇 纳米功能材料

第 1 章 绪论·····	14
1.1 纳米科技的兴起·····	14
1.2 纳米功能材料的定义·····	15
1.3 纳米功能材料的分类·····	16
1.4 纳米功能材料的特性·····	18
1.5 纳米功能材料的发展史·····	25
第 2 章 国外纳米功能材料发展现状·····	30
2.1 纳米功能材料科技与产业规模·····	30
2.2 各国纳米功能材料现状·····	35

第3章 我国纳米功能材料科技与产业发展现状·····	40
3.1 我国纳米功能材料科技与产业规模·····	40
3.2 纳米功能材料的主要性能及应用·····	45
3.3 与纳米功能材料相关的产业政策制定·····	47
3.4 纳米功能材料科技与产业发展存在的问题·····	50
第4章 我国纳米功能材料资源潜力分析·····	51
4.1 资源开发利用现状·····	51
4.2 资源开发潜力·····	60
4.3 资源可持续性·····	61
4.4 资源开发预测·····	62
第5章 我国纳米功能材料领域发展的风险分析·····	63
5.1 纳米功能材料科技与产业发展方向的选择·····	63
5.2 纳米功能材料发展的风险·····	67
第6章 纳米功能材料行业准入基本条件·····	70
6.1 资金保障·····	72
6.2 资源供给保障·····	74
6.3 技术条件·····	75
6.4 智囊团队、技术人才·····	78
6.5 市场渠道开拓·····	79
第7章 纳米功能材料科技与产业发展战略指导·····	80
7.1 我国纳米功能材料发展目标·····	80
7.2 纳米功能材料的变化趋势·····	83
7.3 我国纳米功能材料科技与产业的优势领域·····	87
7.4 我国纳米功能材料重点工程·····	88
参考文献·····	90

第3篇 3D打印材料

第1章 3D打印产业概述·····	98
1.1 3D打印的基本概念·····	98
1.2 3D打印的优势分析·····	98