

国家“九五”重点图书

二十一世纪新材料丛书

宋健 2000 秒

主编 吴人洁

复合材料

Composite
Materials

21世纪

天津大学出版社

国家“九五”重点图书
21世纪新材料丛书

复 合 材 料

主编 吴人洁

天 津 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书是《21 世纪新材料丛书》之一（国家“九五”重点图书）。本分册展示了一部分新材料、新技术、旨在阐述复合材料未来发展的若干趋势及当前的研究、进展情况。全书共 12 章，包括复合材料新型增强体、传统复合材料的新发展、功能复合材料、水泥基复合材料、仿生和纳米复合材料、复合材料新的设计和制备方法及其可靠性与无损评价、复合材料界面和界面优化设计、复合材料与环境。

本书可供材料领域研究人员和科技人员阅读，也可作为有关专业研究生教材和大学生的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

复合材料/吴人洁主编. —天津：天津大学出版社，
2000.12

（21 世纪新材料丛书/石力开主编）

ISBN 7-5618-1389-9

I. 复… II. 吴… III. 复合材料—教材 IV. TB33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2000）第 85616 号

出 版 天津大学出版社

出版人 杨风和

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内（邮编：300072）

电 话 发行部：022-27403647 邮购部：022-27402742

印 刷 河北新华印刷一厂

发 行 新华书店天津发行所

开 本 880mm×1230mm 1/32

印 张 16.25 插页 1

字 数 492 千

版 次 2000 年 12 月第 1 版

印 次 2000 年 12 月第 1 次

印 数 1~3 400

定 价 32.50 元

新材料是高技术
产业的先导

宋健



二〇〇〇年杪

21 世纪新材料丛书顾问委员会

主 任 师昌绪
委 员 (以姓氏笔画为序)
师昌绪 严东生 李恒德 肖纪美
林兰英 柯俊 徐 偲 颜鸣皋

21 世纪新材料丛书编辑委员会

主 任 石力开
副 主 任 干福熹 吴人洁 左铁镛
委 员 (以姓氏笔画为序)
干福熹 王天民 王震西 王占国
王 焱 左铁镛 石力开 叶恒强
刘治国 杨大智 吴 锋 吴人洁
陈难先 陈皓明 欧阳世翕
郑敏政 金亿鑫 俞耀庭 姚康德
袁新泉 顾觉生 益小苏 黄伯云
雷永泉 熊家炯

丛书策划 胡文华

21 世纪新材料丛书
《复合材料》分册编委会

主编	吴人洁		
编委	冯春祥	杜善义	周本濂
	益小苏	漆宗能	

序 言

材料是人类一切生产和生活水平提高的物质基础，是人类进步的里程碑。材料对于国民经济建设和国防建设起着重要的作用。新材料是高新技术的基础和先导；本身也能形成很大的高技术产业。所以信息、生物技术和新材料已成为21世纪最重要、最有发展潜力的领域。我国历来对新材料的研究与开发都十分重视，在“十五”规划中新材料是高新技术研究和产业化的重点之一。

1986年我国开始实施国家高新技术研究发展计划（“863”计划），新材料是七个优先发展的领域之一。通过“863”计划的实施，使我国的新材料研究水平有了很大提高，支持了国防和相应的高新技术领域的发展和进步，在新材料的产业化方面也起到了促进和推动作用。通过计划的实施，组织并形成了我国新材料研究与开发的骨干力量，培养出了一大批高水平的年轻科学家和管理专家，形成了一系列有自己特点的研究基地和研究群体。这些成果为保持我国新材料的持续发展打下了坚实的基础。

根据我国高技术新材料领域所取得的成就和国际发展现状，国家高技术新材料领域专家委员会组织编写了一套《21世纪新材料丛书》。丛书对当今新材料领域的几个发展前沿进行了介绍，并展示了材料科学技术发展中的新概念、新理论、新技术、新成果和新产品。这对于规划我国新材料今后

的发展，推动技术创新都有一定的指导和参考价值，也为从事新材料研究开发的人员提供了一本很好的参考书，是一件很有意义的工作。

朱永宁

前 言

1986 年我国开始组织实施国家高技术研究发展计划（“863”计划），新材料是七个优先发展的领域之一。“863”计划的实施，为我国新材料的研究和发展起到了导向和推动作用，使我国的新材料研究水平有了很大的提高，支持了国防和相应的高新技术领域的发展和进步，促进了产业化进程，培养了一大批高水平的年轻科学家，形成了一系列有自己特点的研究基地和研究群体。这些成果为保持我国新材料的持续发展打下了坚实的基础。

国家高技术(863)新材料领域专家委员会在组织实施过程中，积极组织各种学术交流活动，编辑出版了多种会议论文集，并支持出版了大量有关新材料方面的专著和工具书。专家委员会于 1992 年组织编写出版了《高技术新材料要览》一书，还积极支持和参与了《材料科学技术大百科全书》《材料大词典》《材料商品手册》等书的编写出版工作。这些书籍的出版，为我国材料科学技术界准备了比较完整配套的参考书籍，对于提高我国的新材料研究发展水平和产业化进程必将产生深远的影响。

为了迎接 21 世纪新材料的蓬勃发展，新材料领域专家委员会又组织撰写了《21 世纪新材料丛书》（国家“九五”重点图书）。这套丛书包括了新材料当今几个主要的研究热点，如信息材料、复合材料、新能源材料、生物医用材料、智能材料与智能系统、生态环境材料和材料设计，以期能引起大家对新材料的关注。应该说明，这套丛书受篇幅的限制并没有能包括新材料的全部内容。金属材料、精密陶瓷材料、高分子材料没有单独列册，但仍然是目前工业应用材料的主体。随着研究工作的深入和先进制备技术的应用，新材料在不断出现，传统材料的性能也不断地得到改进和提高。纳米科学技术的发展为新材料的发展开拓了一条全新的途径。这些方面的工作留待今后进

行补充。

这套丛书反映了当今材料领域国际前沿的研究水平,体现了前瞻性,展示了21世纪新材料领域的新概念、新理论、新技术和正在开拓中的新研究领域,同时也展示了已经形成的或正在进入产业化的新成果、新产品。这套丛书不仅综合了国外的最新文献资料,而且注意反映了国内的工作成果,特别是“863”计划有关课题的研究开发成果。丛书没有刻意追求学科的完整性和系统性,采取了专题论述的形式,但每本书仍能给出该学科的概貌,具有很大的参考价值。丛书虽然定为专著,但力求做到简明扼要、深入浅出,使具有大专水平的读者(包括管理人员)能阅读,又对相关专业的研究人员有所启发。

丛书各分册的主要内容如下。

《信息材料》分册主要包括:微电子及集成半导体材料、光电子材料、光电子有机材料、信息功能陶瓷材料、信息传感材料、光电子显示材料、光纤通信材料、磁性和磁光存贮材料、高密度光存贮材料、铁电压电材料、非线性光学材料和固体激光材料等。

《复合材料》分册的重点是展示新型复合材料,如仿生复合材料、纳米复合材料、功能复合材料等,还阐述了复合材料新的设计、制备方法和复合技术,如原位复合、自蔓延技术、梯度复合等,并探讨了复合材料的回收再生与资源、环境的协调问题。

《新能源材料》分册主要介绍了当今国际上的研究开发热点,如新型二次电池材料、燃料电池材料、太阳能电池材料和核能材料。

《生物医用材料》分册介绍了组织工程和人工器官材料,包括硬组织修复与重建材料、软组织修复与重建材料,此外还介绍了生物智能材料、可降解与吸收材料、控制释放材料等。

《智能材料与智能系统》分册在综述材料智能化、智能材料与系统发展及应用前景的基础上,阐述了智能材料的仿生构思、智能材料中的光纤传感系统、形状记忆合金、压电/铁电材料、无机非金属材料、电磁流变液、超磁致伸缩材料与智能高分子材料及智能结构等的应用。

《生态环境材料》分册阐述了生态环境材料与可持续发展的关系

及协调性评价等问题，介绍了金属类生态环境材料、无机非金属类和高分子类生态环境材料以及生物环境材料等。

《材料设计》分册综述了材料设计的发展概况、材料设计的主要途径、主要计算方法以及国外的研究动态与展望等。本书也充分反映了我国科学家近年来在材料设计方面的研究成果和取得的进展。

参加撰写这套丛书的有全国百余位在材料领域有造诣的专家和教授，其中包括十多位院士。他们长期工作在材料科研和教学的第一线，知识渊博，经验丰富，与国际科学界有着广泛的联系。这样的作者群体保证了这套丛书的质量和水平。

丛书顾问委员会对本书的出版给与了全面的指导和关怀，从丛书的定位和特色、各分册的选题和主编的聘任，一直到每个分册的主要内容等都进行了具体的指导。这也是这套丛书能顺利编辑出版的一个重要的保证。

这套丛书已列入国家“九五”重点图书出版规划。天津大学出版社负责丛书的编辑和出版工作，为此做了大量认真细致的工作。他们和编委会及作者密切配合，严格把关，工作精益求精，为保证这套丛书在文字、版面及印刷等方面的高质量而作出了很大努力。

国家高技术(863)新材料领域专家委员会

首席科学家 石力开

主 编 简 介



吴人洁 1927 年生于江苏省南通。上海交通大学教授，博士生导师。历任上海交通大学复合材料研究所所长，中国复合材料学会副理事长，中国材料研究学会副理事长，国务院学位委员会评审组成员，国家科技委员会复合材料专家组组长等职。

早期从事高分子物理研究，完成多项新材料及构件的研制任务，如东方红一号卫星部件等。80 年代初开始从事金属基复合材料的研究，是中国该研究领域的开拓者之一。曾完成国家重大科技攻关项目和高科技、国家自然科学基金项目。获全国科技大会奖、国防科工委科技成果二等奖、中国科学院重大成果奖及一、二等成果奖多项。主编著作四部，并在国内外期刊及会议论文集上发表学术论文 300 余篇。

主要作者简介（按章序排名）

罗益锋（男，1937— ）教授级高级工程师，全国人大代表。现任北京化工集团经济技术信息研究所副所长、全国特种合成纤维信息中心主任、《高科技纤维与应用》杂志主编等职。曾参与编写各种书籍、辞典等 20 余种，发表论文百余篇，先后获国家、部级及北京市科技进步奖和科技情报成果奖 32 项，被评为全国劳模并获得全国五一劳动奖章。

冯春祥（男，1939— ）国防科学技术大学教授，博士生导师。中国材料研究学会理事、中国空间科学学会理事。主要从事高分子及有机硅聚合物方面的教学与研究，先后开发研制出连续碳化硅纤维、连续含钛碳化硅纤维及陶瓷基复合材料等，是国家“863”计划复合材料用高性能增强剂专题负责人。先后获国家科技进步三等奖和部级科技进步一、二、三等奖等。发表学术论文 90 余篇，出版著作 2 部。

益小苏（男，1953— ）浙江大学教授，博士生导师。联邦德国工学硕士及工学博士。现任北京航空材料研究院副总工程师及先进复合材料国防科技重点实验室主任，国家高技术（863）新材料领域专家委员会委员等职。曾被评为全国科教十杰青年。主要从事高性能结构复合材料、功能复合材料、生物与天然高分子材料等方面的研究工作。先后获中国首届青年科技奖、国家教委科技进步三等奖和航空部科技进步二等奖等，发表学术论文 100 多篇。

江东亮（男，1937— ）中国科学院上海硅酸盐所研究员，国际陶瓷科学院院士。1960 年毕业于南京工学院，1981~1983 年赴美国密执安大学做访问学者。现任中国材料学会副理事长、高性能陶瓷和超微结构国家实验室主任等职。主要从事高性能陶瓷和陶瓷基复合材料方面的研究工作，近年来开展了材料微结构仿生设计、制备科学及生物材料等相关研究。先后获国家科技进步三等奖，中国科学院科技进步一等奖 1 项、二等奖 3 项和中科院自然科学二等奖 1 项等，并发表学术论文 160 余篇。

漆宗能（男，1934— ）中国科学院化学所研究员。1984~1986 年赴美

国麻省大学做访问学者，1993 年赴澳大利亚联邦科工院(CSIRO)高分子所做高级访问学者。现任北京市高分子材料高新技术实验室首席科学家、中国化学会理事、中国材料研究学会理事、工程塑料国家工程研究中心科技委主任等职。主要从事高分子合金增强、增韧机理及聚合物纳米复合材料方面的研究工作。发表学术论文 120 余篇，发明专利 5 项，出版专著和译著 5 本。

吴科如（男，1937—） 同济大学教授，博士生导师。1963 年同济大学研究生毕业，1981~1982 年赴德国 Darmstadt 大学做访问学者。现任同济大学混凝土材料研究国家重点实验室主任。主要从事水泥基复合材料、高性能混凝土及新型建筑材料方面的研究开发、工作。发表学术论文 100 余篇，主编和参编专著多部，先后获国家科技进步三等奖、部委级和上海市科技进步二、三等奖 5 项。

周本濂（男，1931—2000） 中国科学院院士，中国科学院金属研究所研究员。1952 年毕业于清华大学，1981~1982 年赴美国康州大学从事研究工作。曾任中国科学院国际材料物理中心副主任，中国科学院材料科学技术委员会委员，西北工业大学和东北大学兼职教授等。主要研究方向是在材料物理领域内从理论和实验两方面研究瞬态加热下固体中发生的非平衡微观过程；通过仿生分析了解生物材料的结构与反应，以改进复合材料的设计与制备，并通过仿生处理将两方面工作结合起来。先后获国家科技进步二等奖，中国科学院科技进步一等奖 3 项、二等奖 4 项、三等奖 3 项，参加的项目获国家科技进步特等奖等；此外发表学术论文 180 余篇，其中被 SCI 收录 60 多篇。

张联盟（男，1955—） 武汉工业大学教授，博士生导师。1986 年获硕士学位，1996 年获日本东北大学工学博士学位。现任武汉工业大学材料科学与工程学院院长，日本东北大学客座教授等。主要从事材料的复合与加工新技术领域的研究工作。作为项目负责人，先后承担了国家“863”计划项目、国家自然科学基金项目及省委重点科研课题多项。发表学术论文 80 余篇、专著 2 本，获省、部级科技进步奖 3 项。

张佐光（男，1952—） 北京航空航天大学教授，博士生导师。在北京航空航天大学获工学硕士和工学博士学位。现任北航材料系副主任，北京市复

合材料高技术实验室主任和中国复合材料常务理事、副秘书长。主要从事功能复合材料、复合材料低成本技术、复合材料综合性能评价等方面的研究工作。先后主持了国家自然科学基金、国家“863”计划项目及其他重点科研课题。先后获部级以上科技奖6项，发表学术论文70余篇。

张志谦（男，1934—）哈尔滨工业大学教授，博士生导师。1981年赴日本千叶工业大学做访问学者。现任哈尔滨工业大学复合材料研究所副所长，曾任国家自然科学基金委评委。主要从事聚合物基复合材料界面基础理论及表面与界面表征等方面的研究工作。承担了国家“863”计划、国家自然科学基金委及国防科学工委等多项科研任务。先后获部级科技成果奖多项，发表学术论文近百篇。

张国定（男，1936—）上海交通大学教授，博士生导师。1989年赴美国麻省理工学院做访问学者。历任上海交通大学材料科学系主任、复合材料研究所所长、金属基复合材料国家重点实验室主任等。主要从事金属基复合材料、金属基复合材料界面及性能等方面的研究工作。曾主持多项国家自然科学基金项目、国家“863”计划项目等，取得许多成果，获2项国家专利并发表学术论文80余篇及专著等。

杜善义（男，1938—）中国工程院院士，哈尔滨工业大学教授，博士生导师。现任哈尔滨工业大学复合材料研究所所长等职。主要从事先进复合材料结构的设计、分析、评价及复合材料力学、细观力学与断裂力学、智能材料系统与结构等方面的研究工作，解决了多项理论和应用技术的关键问题。先后获国家科技进步三等奖、国家级教学成果二等奖、部级科技一等奖3项、二等奖4项，并获光华科技基金一等奖和航天奖等，发表学术论文150余篇及著作10部。

吴林志（男，1963—）哈尔滨工业大学教授，博士生导师。在哈尔滨工业大学获博士学位。现任中国力学学会固体力学专业委员会委员、《力学学报》编委。主要从事复合材料结构分析、细观力学理论等方面研究工作。获国家教育部科技进步基础类一等奖、航天工业总公司科技进步二等奖、霍英东教育基金青年教师三等奖，发表学术论文40余篇。

目 录

第 1 章 复合材料发展概况及趋势	吴人洁(1)
1.1 复合材料的分类和品种	(2)
1.1.1 高性能增强体	(3)
1.1.2 聚合物基复合材料	(6)
1.1.3 金属基复合材料	(9)
1.1.4 无机非金属基复合材料	(11)
1.1.5 功能复合材料	(13)
1.2 复合材料在 21 世纪中应起的作用	(13)
1.2.1 对信息技术提供服务	(14)
1.2.2 对提高人类生活质量做出贡献	(15)
1.2.3 在解决资源短缺和能源危机方面的贡献	(17)
1.2.4 复合材料对治理环境可起的作用	(19)
1.3 复合材料新的生长点和有待深入研究、开拓的问题 ...	(20)
1.3.1 未来复合材料发展的新领域	(20)
1.3.2 基础理论、设计和制备方法的深化、开拓与创新	(23)
第 2 章 新型增强体	罗益锋 冯春祥(26)
2.1 新型纤维增强体典型品种及性能	(26)
2.2 聚对位芳酰胺纤维增强体	(29)
2.2.1 提高芳酰胺强度与模量	(30)
2.2.2 探索最佳的芳酰胺共聚组分	(31)
2.2.3 聚芳酰胺(芳纶)纤维制备工艺技术	(32)
2.2.4 聚芳酰胺纤维性能的改进	(33)
2.2.5 聚芳酰胺纤维的其他研究	(34)
2.2.6 新型芳纶在复合材料中的应用	(35)

2.3	全芳族聚酯纤维	(37)
2.3.1	芳聚酯共聚组分的研究	(38)
2.3.2	芳聚酯成纤及热处理工艺的研究	(39)
2.3.3	用海岛纺丝法制备芳聚酯纸	(41)
2.4	聚对亚苯基苯并双噁唑纤维	(41)
2.4.1	与其他纤维的比较	(41)
2.4.2	合成工艺路线	(43)
2.4.3	目前改进的工艺研究	(43)
2.5	超高相对分子质量聚乙烯纤维增强体	(45)
2.5.1	超高相对分子质量聚乙烯纤维的制造技术	(46)
2.5.2	超高相对分子质量聚乙烯纤维的表面处理	(47)
2.5.3	超高相对分子质量聚乙烯纤维的应用	(48)
2.6	碳(石墨)纤维	(49)
2.6.1	聚丙烯腈基碳纤维	(50)
2.6.2	粘胶基碳纤维	(59)
2.6.3	沥青基碳纤维	(60)
2.6.4	气相生长碳纤维及碳(石墨)晶须	(63)
2.7	含硅化合物系列纤维	(64)
2.7.1	SiC 纤维	(64)
2.7.2	Si-M-C-O 系列纤维	(69)
2.7.3	SiC 晶须	(72)
2.7.4	氮化硅纤维	(72)
2.8	氧化铝系列纤维	(74)
2.8.1	氧化铝系列纤维的特性	(74)
2.8.2	连续氧化铝纤维的制备方法	(76)
2.9	特种玻璃纤维	(77)
2.9.1	铝-镁-硅玻璃纤维	(77)
2.9.2	硅-铝-镁-钙玻璃纤维	(77)
2.9.3	高硅氧玻璃纤维和石英玻璃纤维	(78)
2.10	硼纤维	(78)

II 目 录