



国家出版基金资助项目
“十三五”国家重点图书
材料研究与应用著作

新型功能材料制备技术与分析表征方法

PREPARATION AND
CHARACTERIZATION OF
NOVEL FUNCTIONAL
MATERIALS

强亮生 赵九蓬 杨玉林 编著

哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



国家出版基金资助项目
“十三五”国家重点图书
材料研究与应用著作

新型功能材料制备技术 与分析表征方法

PREPARATION AND
CHARACTERIZATION OF
NOVEL FUNCTIONAL
MATERIALS

强亮生 赵九蓬 杨玉林 编著

哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书分上、下两篇,共22章。上篇1~8章主要介绍了超细粉体、一维功能材料、功能薄膜、功能陶瓷、新型碳材料、功能微球、光子晶体及多孔材料等目前发展最快、应用最广之新型功能材料的制备技术。下篇9~22章主要介绍了用扫描电镜、透射电镜、X射线光电子能谱、拉曼光谱、扫描隧道显微镜、原子力显微镜、X射线衍射、红外吸收光谱、紫外-可见分光光度、核磁共振、质谱、热分析、等离子体发射光谱、电化学分析等对新型功能材料进行的分析表征方法。

本书既可作为高等学校化学、化工、材料类专业本科生和研究生的教材或教学参考书,亦可作为广大功能材料科研人员和技术工作者的重要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新型功能材料制备技术与分析表征方法/强亮生, 赵九蓬, 杨玉林编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2017. 6

ISBN 978-7-5603-6194-9

I. ①新… II. ①强… ②赵… ③杨… III. ①功能材料-制备方法 ②功能材料-分析方法 IV. ①TB34

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第218851号



策划编辑 黄菊英 杨 桦
责任编辑 范业婷 何波玲
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江省艺德印刷有限责任公司
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 29.75 字数 508 千字
版 次 2017年6月第1版 2017年6月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-6194-9
定 价 128.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《材料研究与应用著作》

编 写 委 员 会

(按姓氏音序排列)

毕见强	曹传宝	程伟东	傅恒志
胡巧玲	黄龙男	贾宏葛	姜 越
兰天宇	李保强	刘爱国	刘仲武
钱春香	强亮生	单丽岩	苏彦庆
谭忆秋	王 铀	王超会	王雅珍
王振廷	王忠金	徐亦冬	杨玉林
叶 枫	于德湖	藏 雨	湛永钟
张东兴	张金升	赵九蓬	郑文忠
周 玉	朱 晶	祝英杰	

序

材料、能源、信息是当今社会的三大支柱,对社会的发展起着无可替代的作用。其中材料是这一切的基础。功能材料是材料的重点和热点,新型功能材料是功能材料的先导,其研究和制备直接影响和决定着国防、航天乃至信息技术、生物工程技术、能源技术、纳米技术、环保技术、空间技术、计算机技术、海洋工程技术等现代高新技术及其产业的发展和进步。近年来新型功能材料层出不穷,并取得了突破性进展,已成为材料科学和工程领域中最为活跃的部分,其发展以每年超过5%的速度增长,相当于每年有1.25万种新材料问世。未来世界还将需要更多的性能优异的功能材料,功能材料正在渗透到现代生活的各个领域。

功能材料是指具有特殊物理性能、化学性能、生物性能的一类材料,通常能将光、声、磁、热、压力、位移、角度、质量、速度、加速度、化学能、生物能等转换为电信号,从而实现对能量和信号的转换、吸收、存储、发射、传送、传感、控制和处理等功能。有些功能材料还可以有选择地吸附某种物质,或者只允许某种物质通过,而且有分离、催化或传感某种物质的功能。功能材料主要用于制造各种电子器件、光敏元件、绝缘材料等,其涉及面较广。

功能材料是目前材料领域发展最快的新领域。其产品产量小、利润高、制备过程复杂,主要原因是基于其特有的“功能性”。这类材料相对于通常的结构材料而言,一般除了具有机械特性外,还具有其他的功能特性。功能材料的结构与性能之间存在着密切的联系,材料的骨架、功能基因以及分子组成直接影响着材料的宏观结构与材料的功能。特定的功能与材料的特定结构是相联系的,如导电聚合物一般具有长链共轭双键;压电陶瓷晶体必须有极轴等。研究功能材料的结构与功能之间的关系,可以指导开发更为先进、新颖的功能材料。

功能材料既遵循材料的一般特性和变化规律,又具有其自身的特点,例如功能材料的功能特殊、性能优异、不可取代;功能材料的聚集态和形态多样化,除了晶态外,还有气态、液态、液晶态、非晶态、混合态和等离子态,

除了三维体相材料外,还有二维、一维、零维材料,除了平衡态外,还有非平衡态材料;功能材料的制备技术不同于结构材料用的传统技术,而是采用许多先进的新工艺和新技术;功能材料品种规格多、形状差异大、精度高,单件用量少,生产规模小,产品价格贵,经济效益和社会效益好,发展迅速,更新换代比较快。

随着科学技术的发展和人类认识的深入,新型的功能材料不断被开发出来,对其也产生了许多不同的分类方法。常见的新型功能材料有功能陶瓷材料、功能薄膜、石墨烯、碳纳米管、功能微球、多孔材料、低维功能材料、光子晶体等有序功能材料。书中重点介绍了上述材料的制备技术。

目前以功能材料为主流的新材料产业已被公认是全球最重要、发展最快的高新技术产业之一。新型功能材料对工业、农业、交通、信息、国防及其他高新技术产业的发展具有不可替代的支撑作用。从日常生活用具到高、精、尖的产品,从简单的手工用具到技术复杂的航天器、机器人,都利用了不同种类、不同性能的功能材料。

自 20 世纪 60 年代以来,各种现代技术如微电子、激光、红外、光电、空间、能源、计算机、机器人、信息、生物和医学的兴起强烈刺激了功能材料的发展。为满足现代科技对材料的需求,世界各国都非常重视功能材料的研究和开发。与此同时,固体物理、固体化学、量子理论、结构化学、生物物理和生物化学等学科的飞速发展以及各种制备功能材料的新技术和现代分析测试技术的应用,推动了新型功能材料的问世、生产和应用。而这些新型的功能材料又在一定程度上加速了现代科技的进一步发展。

当前国际上功能材料及其应用技术正面临新的突破,诸如超导材料、微电子材料、光子材料、信息材料、能源转换及储能材料、生态环境材料、生物医用材料等正处于日新月异的发展之中,发展功能材料技术正在成为一些发达国家强化其经济和国防优势的重要手段。

我国也非常重视功能材料的发展,在国家“863”“973”和国家自然科学基金等计划中,功能材料都占有很大的比例。这些科技行动的实施,使我国在功能材料领域取得了丰硕的成果,开辟了超导材料、新型能源材料、显示材料、稀土功能材料、生物医用材料、电致变色材料、红外隐身材料和超材料等功能材料的新领域,取得了一批接近或达到国际先进水平的研究成果。功能材料不仅是发展我国信息技术、生物技术、能源技术等高技术领域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础,直接关系到我国资源、环境及社会的可持续发展。

我国经济的快速增长和社会可持续发展,对发展新型能源及能源材料

具有迫切的需求。能源材料是发展能源技术、提高能源生产和利用效率的关键因素,我国目前是世界上能源消费增长最快的国家,同时也是能源紧缺的国家。发展电动汽车、使用清洁能源、节约石油资源等政策措施,使得新型能源转换及储能材料的需求不断增加。随着电子信息技术的迅猛发展,我国便携式电器如手提电话、笔记本计算机用户每年均以超过 20% 的速度增加,形成了一个对小型高能量密度电池的巨大社会需求。随着移动通信等新一代电子信息技术的迅速崛起,作为一大批基础电子元器件技术核心的信息功能陶瓷日益成为我国发展相关高技术的重点需求。我国是一个稀土大国,其工业储量占世界总储量的 70% 以上,发展稀土功能材料我国有着独特的资源优势。我国西部还拥有储量丰富的钨、钛、钼、钽、铌、钒、锂等,有的储量甚至占世界总储量的一半以上,这些资源均是特种功能材料的重要原材料。研究开发与上述元素相关的特种功能材料,拓宽其应用领域,取得自主知识产权,将大幅度地提高我国相关特种功能材料及制品的国际市场竞争力,这对实现西部资源的高附加值利用,将西部的资源优势转化为技术优势和经济优势具有重要意义,将有力地支持国家的西部大开发。

进入 21 世纪以来,富勒烯、碳纳米管、石墨烯等纳米新型碳材料的迅速发展引起了全世界的广泛关注,其与碳基复合材料、碳纤维等构成了新型碳材料的主要品种。而随着这几种新型碳材料的研究逐渐深入及其制备工艺的不断完善,目前已逐步走向产业化阶段,但相对于传统的碳材料产业化程度还有一定差距。不过,由于它们独有的优异性能,已在各个领域展现出了良好的应用前景。新型纳米碳材料科学的飞速发展,同时也带动了其相关应用及产业的发展。在这些新型纳米碳材料中,目前有一定产业化规模的主要是碳纳米管及石墨烯等。多孔材料是一类不容忽视的新型功能材料,尤其是有序介孔材料,在吸附、分离、载药、催化等领域有着广泛的应用和令人振奋的前景。光子晶体是一类可能在未来信息技术中发挥重要作用的“超材料”,其具有特殊的周期结构、完全光子带隙,近年来在自发辐射的调制、提高光催化反应速率、光子晶体光纤、提高太阳能电池转化效率等领域成为研究热点,并且在光、电、催化、传感、显示、检测等领域有着巨大的应用价值。

展望各种类型材料的发展前景,功能材料已成为材料研究、开发与应用的中心,它与结构材料一样重要,今后将互相促进、共同发展。从国内外功能材料的研究动态看,功能材料的发展趋势可简单归纳如下:开发高技术所需的新型功能材料,特别是尖端领域(如航空航天、分子电子学、高速

信息、新能源、海洋技术和生命科学)和在极端条件下工作的(如超高压、超高温、超低温、高烧蚀、高热冲击、强腐蚀、高真空、强激光、高辐射、粒子云、原子氧和核爆炸等)高性能功能材料;使功能材料的功能从单功能向多功能和复合或综合功能发展,从低级功能(如单一的物理功能)向高级功能(如人工智能、生物功能和生命功能等)发展;使功能材料和器件一体化、高集成化、超微型化、高密集化和超分子化;完善和发展功能材料检测和评价的方法;明晰功能材料结构与性能的关系。进一步加强功能材料的应用研究,扩展功能材料的应用领域,特别是尖端领域和民用高技术领域,把成熟的研究成果迅速推广,以形成生产力具有重要意义。

功能材料(尤其是功能新材料)的制备和研究离不开相关的测试和表征。毫不夸张地说,先进的分析测试手段和技术,既促进了功能材料的研究和制备,也推动了功能材料的应用。目前,无论是形貌表征、结构分析、性能测试,还是组分鉴定、成键确认、分子结合力测试,都出现了许多先进的分析测试仪器和技术,逐渐趋向于无所不能。然而需要指出的是,功能材料制备和分析表征虽然是广大研究者(尤其是研究生)在同一研究工作中都要遇到的问题,但制备和分析表征毕竟是跨学科的两个不同领域,广大功能材料研究和制备者对分析表征技术知之甚少,急需一本结合功能材料制备并介绍分析表征技术的著作。另外,目前虽有一些单独介绍功能材料制备和仪器分析方法的图书问世,但尚无将二者结合在一起的著作出版。所以,出版一本集新型功能材料制备工艺和分析技术于一体的著作势在必行,很有意义。

强亮生

2016年7月

前 言

功能材料种类多,用途广,有着十分广阔的市场前景和极为重要的战略意义。目前新型功能材料既是世界各国研究、开发的热点,也是世界各国发展高技术的竞争重点,已有大量具有新颖结构、组成和性能的新型功能材料问世,且人们对材料的认知从宏观向微观发展,极大地推动了材料科学的进步。人们在分子水平上对材料的研究又进一步指导新型功能材料的设计和合成,这便对功能材料的表面、体相测试手段和分析方法提出了更高的要求。功能新材料的制备和研究离不开相关的测试和表征。可以毫不夸张地说,先进的分析测试手段和方法既促进了功能材料的研究和制备,也推动了功能材料的应用。可以说,无论是形貌表征、结构分析、性能测试,还是组分鉴定、成键确认、分子间力测试,都出现了许多先进的分析测试仪器和方法,逐渐趋向于无所不能。

需要指出的是,功能材料制备和分析表征虽然是广大研究者(尤其是研究生)在同一研究工作中都要遇到的问题,但制备和分析表征毕竟是跨学科的两个不同领域,多数功能材料研究和制备者对分析表征方法知之较少,急需一本结合功能材料制备技术介绍分析表征方法的著作。另外,目前虽有一些单独介绍功能材料制备和仪器分析方法的图书问世,但尚无将二者结合在一起的著作出版。所以,出版一本集新型功能材料制备技术和分析方法于一书的著作非但很有意义,而且势在必行。

功能材料不仅对高新技术的发展起着重要的推动和支撑作用,还对我国相关传统产业的改造和升级,实现跨越式发展起着重要的促进作用。考虑到新型功能材料的制备技术既是新型功能材料研究的重要方面,亦是新型功能材料规模化生产必不可少的基础,所以,本书针对目前发展最快、应用最广之新型功能材料(超细粉体、一维功能材料、功能薄膜、功能陶瓷、新型碳材料、功能微球、光子晶体和多孔材料等)的制备技术及其研究、应用现状和主要优缺点进行了较为详尽的阐述。同时,结合目前常用的分析表征手段(扫描电镜分析表征、透射电镜分析表征、X射线光电子能谱分析、拉曼光谱分析、扫描隧道显微镜分析表征、原子力显微镜分析表征、X射线

分析、红外光谱分析、紫外-可见分光光度法分析、核磁共振分析、质谱分析、热分析等离子体发射光谱分析和电化学分析)给出了功能材料的样品制备、测试方法、注意事项等重要内容,并力求体现科学性、系统性和实用性。本书既可作为高等学校化学、化工、材料类专业本科生和研究生进行科技创新、创业和完成学位论文的指导性读物或教学参考书,亦可作为广大功能材料科研人员和技术工作者的重要参考书。

全书分上、下两篇,共22章。其中上篇1~8章中,第1、3、4章由赵久蓬、强亮生、张航川编著;第2章由刘旭松、强亮生编著;第5章由李娜、强亮生编著;第6章由丁艳波、赵九蓬、强荣编著;第7章由强亮生、赵九蓬编著;第8章由徐洪波、强亮生编著。下篇9~22章中,第9~11、13~15章由杨玉林、强亮生、强荣编著;第12、18、19章由王萍、强荣、强亮生编著;第16、17、20、22章由范瑞清、强亮生、张航川编著;第21章由张立珠、强亮生编著,参加编著的还有哈尔滨工业大学马晓轩、郝健、杨宇、王艺、侯雪梅、马丽华、曲慧颖、迟彩霞、苏大鹏、杨昊崑、陈梁等。全书由强亮生统编定稿。在编著过程中参考了大量的期刊和图书文献,在此对作者表达谢意!本书系国家“十二五”重点图书,入选国家出版基金项目,并获得资助,在此一并致谢!

需要说明的是:一、新型功能材料的制备技术和分析表征方法很多,受篇幅限制,本书只给出了相对成熟的新型功能材料制备技术和比较常用的分析表征方法,难免忽略了一些新方向和生长点;二、功能材料的制备工艺、方法和技术有较大交叠,不便区分,故在成书过程统一对待,未做深究,可能与读者的习惯有所出入;三、考虑到本书篇幅的限制和内容重点,对分析表征的仪器和原理未做介绍。这些都恳请读者理解。由于时间匆忙,加之水平所限,书中难免有不当和疏漏之处,也请读者批评指正。

作者

2016年7月

目 录

上 篇

第 1 章 超细粉体制备技术	3
1.1 机械球磨法	3
1.2 固相法	4
1.3 气相法	9
1.4 液相法	16
1.5 溶剂蒸发法	33
第 2 章 一维功能材料制备技术	36
2.1 纳米管制备技术	36
2.2 纳米线制备技术	43
2.3 纳米棒和纳米带制备技术	48
第 3 章 功能薄膜制备技术	54
3.1 功能薄膜所用基片及其处理方法	54
3.2 真空蒸镀法成膜	60
3.3 溅射法成膜	62
3.4 分子束外延生长法成膜	65
3.5 液相外延法成膜	68
3.6 化学气相沉积法成膜	70
3.7 溶胶-凝胶法成膜	76
3.8 脉冲激光沉积法成膜	80
3.9 离化团簇束法成膜	84
3.10 朗缪尔-布洛吉特法成膜	86

第4章 功能陶瓷制备技术	90
4.1 功能陶瓷设计的基本框架	90
4.2 原料粉体的处理	91
4.3 成形	93
4.4 坯体干燥	118
4.5 烧结	127
第5章 新型碳材料制备技术	135
5.1 碳纳米管制备技术	135
5.2 石墨烯制备技术	148
5.3 碳纳米球制备技术	168
第6章 单分散功能微球制备技术	180
6.1 单分散二氧化硅微球制备技术	180
6.2 单分散聚苯乙烯微球制备技术	185
6.3 单分散聚甲基丙烯酸甲酯微球制备技术	188
6.4 核壳结构微球制备技术	192
6.5 椭球制备技术	198
6.6 空心微球制备技术	201
第7章 光子晶体制备技术	204
7.1 物理法	205
7.2 自组装法	209
第8章 多孔材料制备技术	226
8.1 多孔材料概述	226
8.2 有序介孔材料制备技术	226
8.3 金属有机骨架材料制备技术	233
8.4 三维有序大孔材料制备技术	245

下 篇

第9章 扫描电子显微镜分析表征	257
9.1 简介	257

9.2	样品制备	258
9.3	分析技术	259
9.4	应用实例	267
第 10 章	透射电子显微镜分析表征	271
10.1	简介	271
10.2	样品制备	271
10.3	应用实例	278
10.4	高分辨透射电镜简介与应用	280
第 11 章	X 射线光电子能谱分析	285
11.1	简介	285
11.2	样品制备	285
11.3	分析方法	286
11.4	应用实例	288
第 12 章	拉曼光谱分析	297
12.1	简介	297
12.2	样品制备	298
12.3	测试方法	298
12.4	分析方法与应用实例	300
第 13 章	扫描隧道电子显微镜分析表征	306
13.1	简介	306
13.2	测试方法	306
13.3	应用实例	308
第 14 章	原子力显微镜分析表征	311
14.1	简介	311
14.2	测试方法	311
14.3	应用实例	312
第 15 章	X 射线衍射分析	316
15.1	简介	316

15.2	测试方法	316
15.3	分析方法	319
15.4	应用实例	323
15.5	单晶 X 射线衍射分析	325
15.6	分析实例	327
第 16 章	红外吸收光谱分析	332
16.1	简介	332
16.2	样品制备	332
16.3	分析方法与应用实例	334
第 17 章	紫外-可见分光光度法分析	345
17.1	简介	345
17.2	测试技术	345
17.3	具体应用	348
第 18 章	核磁共振分析	358
18.1	简介	358
18.2	样品制备	359
18.3	测试方法	359
18.4	分析方法	365
18.5	应用实例	366
第 19 章	质谱分析	371
19.1	简介	371
19.2	样品制备	371
19.3	分析方法	373
19.4	应用实例	374
第 20 章	热分析技术与方法	379
20.1	简介	379
20.2	热重分析法	380
20.3	差热分析法	384
20.4	热分析应用	387

第 21 章 等离子体发射光谱分析	391
21.1 简介	391
21.2 样品制备及分析方法	391
21.3 应用举例	394
第 22 章 电化学分析法	403
22.1 简介	403
22.2 交流阻抗谱的测量与数据处理	403
22.3 电极交流阻抗在材料研究中的应用	404
参考文献	419
名词索引	454

上 篇
