

新型 功能材料

贡长生
张克立
主编

化学工业出版社
材料科学与工程出版中心



新型功能材料

贡长生 张克立 主编

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

新型功能材料/贡长生,张克立主编. —北京:化学工业出版社,2001.1
ISBN 7-5025-2972-1

I. 新… II. ①贡… ②张… III. 功能材料
IV. TB34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 47280 号

新型功能材料

贡长生 张克立 主编

责任编辑:丁尚林

责任校对:马燕珠

封面设计:蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 20³/₄ 字数 578 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-2972-1/TQ · 1297

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

材料是人类社会生活的物质基础,材料的发展导致时代的变迁,推进人类的物质文明和社会进步。在人类即将进入知识经济的新时代,材料与能源和信息并列为现代科学技术的三大支柱,其作用和意义尤为重要。假如,没有半导体单晶硅材料,便不可能有今天的微电子工业;正因为有了低损耗的光导纤维,当今世界蓬勃发展的光纤通讯才得以实现。新材料是人类社会发展的重要里程碑。

20 世纪 80 年代以来,一场以高技术为中心的新技术革命在欧美和日本等国兴起,并迅速波及世界各国和地区。而新型材料、信息技术和生物技术被认为是新技术革命的主要标志。高技术对科技、经济、军事、政治乃至整个社会产生深刻的影响。随着现代科学技术的迅猛发展,适应高技术的各种新材料尤如雨后的春笋,不断涌现,极大地加速了各种先进材料的研究和开发。新型功能材料可谓异军突起,其进展之速令世人瞩目,赋予高技术以新的内涵,促进了各种高新技术的发展和应用的实现。我国正在积极跟踪世界高新技术革命的进程,制定了“863”高新技术发展规划,并把新型材料定为我国高新技术规划 7 个主要研究领域之一,“973 计划”进一步把功能材料技术作为重点的研究项目,这必将对我国科学技术的进步和国民经济的发展以及综合国力的提高起到极其重要的作用。为了进一步促进我国功能材料的发展,比较系统地介绍各种新型功能材料发展的全貌及其应用领域,我们组织武汉化工学院、武汉大学等院校从事材料科学研究的专家和教授,编写了这本《新型功能材料》。

全书以功能材料为主线,全面系统地介绍了目前国内外迅速发展的各种新型功能材料的组成、结构、性能、制备和应用,着重论述了反映当代功能材料科学发展的主要前沿领域。例如,智能材料、形状记忆材料、梯度功能材料、储氢材料、功能陶瓷材料、超导材料、磁

性材料、信息材料、光学功能材料、功能复合材料、生物医用材料、分离材料和高分子吸水材料。本书内容编排力求体现“新”的特色，做到适应国情，跟踪时代，理论联系实际，面向 21 世纪发展的未来：

全书由贡长生、张克立主编。参加编写工作的有：贡长生（第一章、第二章、第三章、第四章），喻发全（第五章），张珩（第六章、第七章），罗晓燕（第七章、第八章），张克立（第九章、第十章、第十一章），刘永琼（第六章、第十二章、第十三章、第十四章）。全书由贡长生、张克立统稿。

鉴于功能材料科学的内容极为广泛，新型功能材料的发展日新月异，有关文献资料烟如大海，难以收罗殆尽。因此在内容取舍和文字编排中的疏漏、不妥乃至错误之处，在所难免，诚望专家和读者多多赐教。同时，对书中所引用文献资料的中外作者致以衷心的感谢！

编著者

2000 年 3 月于武昌

目 录

第一章 绪论	1
第一节 功能材料的发展和分类	1
一、功能材料的发展概况	1
二、功能材料的分类	2
三、功能材料的特点	6
第二节 新型功能材料及其研究进展	6
一、光电子信息材料	6
二、功能陶瓷材料	7
三、生物医用材料	9
四、能源材料	11
五、生态环境材料	12
六、智能材料	13
第三节 加快发展高技术新材料的建议	15
一、大力发展高技术新材料	15
二、加强科技创新能力	16
三、加速新材料研究成果向现实生产力的转化	16
四、加强国际交流与合作	17
参考文献	17
第二章 储氢材料	19
第一节 储氢方法及其材料特性	19
一、物理法储氢技术	20
二、化学法储氢技术	20
第二节 金属氢化物储氢原理	22
一、金属氢化物储氢原理	22
二、金属氢化物的结构	28
三、实用储氢金属氢化物的特性	29
第三节 储氢合金材料	30

一、稀土系储氢合金	31
二、钛系储氢合金	34
三、镁系储氢合金	36
第四节 储氢合金金属氢化物的应用	38
一、用于氢气的储存和运输	38
二、用于氢气的分离和提纯	39
三、用于合成化学中催化加氢与脱氢	39
四、用于储氢合金电极材料	40
五、氢化物热泵用于空调和采暖	42
参考文献	43
第三章 梯度功能材料	45
第一节 梯度功能材料及其特点	45
一、梯度功能材料概念的提出	45
二、梯度功能材料及其特点	46
第二节 梯度功能材料的设计	47
一、梯度功能材料的设计原理和流程	47
二、梯度功能材料的热应力模型	48
第三节 梯度功能材料的制备方法	50
一、化学气相沉积法 (CVD)	51
二、物理蒸镀法 (PVD)	51
三、等离子喷涂法 (PS)	51
四、自蔓延高温合成法 (SHS)	52
五、颗粒梯度排列法	53
第四节 梯度功能材料的特性评价	54
第五节 梯度功能材料的应用	54
一、航天工业超耐热材料	54
二、核反应堆材料	55
三、无机膜反应器材料	56
四、生物材料	56
五、电子材料	57
参考文献	57
第四章 形状记忆材料	59
第一节 形状记忆效应	59

一、形状记忆效应	59
二、形状记忆效应机理	60
第二节 形状记忆合金	63
一、Ti-Ni 系形状记忆合金	64
二、铜基系形状记忆合金	66
三、铁基系形状记忆合金	67
第三节 形状记忆陶瓷	68
第四节 形状记忆聚合物	69
一、聚合物形状记忆机理	70
二、形状记忆聚合物的重要品种及其特性	71
三、形状记忆聚合物材料的生产方法	73
第五节 形状记忆材料的应用	75
一、形状记忆合金的应用	75
二、形状记忆聚合物的应用	77
参考文献	79
第五章 智能材料	80
第一节 智能材料的定义	80
一、智能材料定义	80
二、智能结构与系统	81
三、智能材料的分类	82
第二节 金属系智能材料	84
第三节 无机非金属系智能材料	86
一、智能陶瓷	86
二、电流变体	88
三、磁流变体	94
四、电致变色材料	96
第四节 高分子系智能材料	98
一、药物控制释放体系	99
二、智能凝胶	106
三、其他高分子系智能材料	114
四、智能材料的特殊合成技术	117
第五节 纳米技术与智能材料	124
第六节 智能材料的设计思路	125

一、仿生学	126
二、介观尺度	128
三、复合构造	129
参考文献	130
第六章 功能陶瓷材料	132
第一节 精细陶瓷的分类和特点	132
一、精细陶瓷的定义	132
二、精细陶瓷的分类	132
三、精细陶瓷的特点	133
第二节 精细陶瓷的制备方法	136
一、精细陶瓷的粉体制备	136
二、精细陶瓷的成型方法	145
三、烧结	155
第三节 功能陶瓷材料	159
一、电介质陶瓷	162
二、铁电陶瓷	172
三、压电陶瓷和热释电陶瓷	180
四、半导体陶瓷	184
参考文献	197
第七章 超导材料	199
第一节 超导材料的基本性质和特征	199
一、超导电性和超导体	199
二、超导体的基本物理性质	199
三、超导体的临界参数	200
四、两类超导体的基本特征	202
第二节 超导电性理论基础和微观机制	205
一、唯象理论	205
二、超导微观图像与机制	207
三、BCS 超导微观理论	210
四、超导隧道效应	212
五、微观理论的局限性和超导材料研究的经验规律	216
第三节 超导材料的种类及其性能	217
一、常规超导体	217

二、高温超导体	223
三、非晶超导材料	229
四、复合超导材料	230
五、重费米子超导体	231
六、有机超导材料	231
第四节 超导材料的应用	232
一、低温超导材料的应用	232
二、高温超导材料的应用与进展	235
参考文献	239
第八章 磁性材料	240
第一节 材料的磁性	240
一、材料磁性的起因	240
二、磁场及其特征参量	241
三、磁性的分类	242
四、磁化曲线和磁滞回线	244
五、磁致伸缩	245
六、反复磁化损失	246
第二节 磁性材料的种类及其特性	246
一、软磁性材料	246
二、硬磁(永磁)性材料	253
三、半硬磁材料	260
四、矩磁性材料	260
五、旋磁材料	262
六、压磁材料	263
七、磁记录介质和磁头材料	263
八、其他磁性材料	268
第三节 磁性材料的应用及发展	270
一、综述	270
二、磁性材料的应用	270
三、磁性材料在相关学科中的应用	274
四、磁性材料的研究与发展	275
参考文献	276
第九章 信息材料	277

第一节 半导体材料	277
一、晶态半导体	277
二、非晶态半导体	283
第二节 磁记录材料	289
一、磁记录技术与原理	290
二、磁记录材料	294
第三节 光存储材料	312
一、光存储材料的发展概况	312
二、只读存储光盘材料	314
三、一次写入光盘材料	315
四、可擦重写磁光光盘材料	317
五、可擦重写相变光盘材料	319
六、电子俘获光存储材料	321
七、持续光谱开孔及光子选通材料	322
八、光致色变材料	326
第四节 光导纤维	327
一、光导原理	327
二、光纤的种类	328
三、石英光纤	328
四、氟化物玻璃光纤	331
五、高聚物光纤	337
参考文献	341
第十章 光学功能材料	343
第一节 非线性光学材料	343
一、无机非线性光学晶体材料	343
二、有机非线性光学材料	356
第二节 红外光学材料	359
一、概述	359
二、透过材料	360
三、探测器材料	363
第三节 发光材料	369
一、概述	369
二、阴极射线发光材料	372

三、场致发光材料	381
四、发光二极管	386
五、X 射线激发发光	391
六、核辐射的探测	393
七、等离子体发光	397
八、多光子上转换发光	398
第四节 固体激光材料	399
一、激光产生的原理	399
二、激光工作物质	401
三、半导体激光器	410
参考文献	415
第十一章 功能复合材料	416
第一节 概述	416
一、功能复合材料的出现	416
二、功能复合材料结构与性能的关系	417
三、应用前景	420
第二节 电学和电子功能复合材料	421
一、电接触复合材料	421
二、导电复合材料	422
三、压电复合材料	424
四、超导复合材料	429
第三节 吸声和吸波功能复合材料	429
一、吸声材料	429
二、吸波材料	432
第四节 光学功能复合材料	435
一、红外隐身复合材料	435
二、导光和透光复合材料	437
第五节 热学和力学功能复合材料	438
一、绝热复合材料	438
二、热强性和耐磨性复合材料	439
三、特殊热膨胀性能复合材料	440
第六节 磁功能复合材料	441
一、软磁粉末复合材料的种类	442

二、软磁粉末复合材料的磁性	443
三、软磁粉末复合材料的生产	445
四、影响烧结软磁材料正常功能的因素	447
五、应用烧结软磁材料的选材标准	448
第七节 纳米复合材料	449
一、概述	449
二、纳米复合涂层材料	450
三、高力学性能材料	450
四、光学材料	452
五、磁性材料	453
六、高介电材料	454
七、仿生材料	455
八、高分子基纳米复合材料	456
第八节 生物复合材料	457
一、强韧化羟基磷灰石生物复合材料	457
二、功能性活性羟基磷灰石生物复合材料	461
第九节 特种功能复合材料	463
第十节 增强复合材料	464
一、增强复合材料发展现状	464
二、增强复合材料的应用	467
参考文献	471
第十二章 分离材料	472
第一节 离子交换材料	472
一、离子交换材料的分类与发展	472
二、离子交换性能及影响因素	475
三、层状磷酸锆类无机离子交换材料的制备与应用	482
四、聚乙烯吡啶树脂的合成、改性与应用	484
第二节 分子筛	490
一、分子筛的分类与发展	490
二、磷酸铝系列分子筛	491
三、凝胶树脂系分子筛	499
第三节 分离膜及膜材料	509
一、概述	509

二、无机膜	512
三、高分子膜	520
参考文献	535
第十三章 医用生物材料	538
第一节 对医用生物材料性能的要求	539
一、具备生物适应(相容)性	539
二、具备效果显示功能	543
第二节 医用生物无机材料	544
一、生物金属材料	544
二、生物陶瓷材料	546
第三节 天然医用生物材料	559
一、肝素	560
二、胶原	564
三、甲壳素、壳聚糖及其衍生物	568
四、透明质酸和透明质酸钠	573
第四节 合成高分子医用生物材料	579
一、硅橡胶	579
二、聚乳酸及其共聚物	582
三、聚酸酐	588
四、聚对二氧六环酮	595
五、高分子药物	597
参考文献	599
第十四章 超强吸水高分子材料	601
第一节 超强吸水高分子材料的发展概况	601
一、国外发展状况	601
二、国内研究进展	603
第二节 超强吸水高分子材料的种类和特性	604
一、超强吸水高分子材料的分类	604
二、超强吸水高分子材料的结构和性能	604
第三节 超强吸水高分子材料的制备方法	607
一、淀粉系超强吸水材料的制备	607
二、纤维素超强吸水材料的制备	614
三、合成系超强吸水高分子材料的制备	617

第四节 超强吸水高分子材料的应用	638
一、在生理卫生方面的应用	638
二、在农业与园艺方面的应用	639
三、在沙漠治理及表土绿化方面的应用	640
四、在日用化工方面的应用	640
五、在医药方面的应用	640
六、其他方面	641
参考文献	641

第一章 绪 论

材料的使用和发展是标志人类进步的重要里程碑。在人类即将进入知识经济信息时代的今天，材料与能源、信息并列为现代科学技术的三大支柱，其作用 and 意义是不言而喻的。假如没有半导体材料的发现和发展，便不可能有今天的微电子工业；正因为有了低损耗的光导纤维，当今世界蓬勃发展的光纤通讯才得以实现。现代科学技术的迅猛发展，使得适应高技术的各种新型功能材料尤如雨后春笋，不断涌现，它们赋予高技术以新的内涵，促进了高技术的发展和应用的实现。

第一节 功能材料的发展和分类

一、功能材料的发展概况

材料是人类社会生活的物质基础，材料的发展导致时代的变迁，推进人类的物质文明和社会进步。例如，“石器时代”、“铜器时代”和“铁器时代”等。

为了生存和发展，人类一方面从大自然中选择天然物质进行加工和改造，获得适用的材料；另一方面通过物理化学加工方法研制合金、玻璃、陶瓷、合成高分子材料来满足生产和生活的需要。人们在使用这些材料时，有的是利用某些材料具有抵抗外力的作用而保持自己的形状和结构不变的优良力学性能（例如强度和韧性）来制造工具、机械、车辆以及修建房屋、桥梁、铁路等，这些材料统称为结构材料。而有的则是通过光、电、磁、声、热、化学、生物化学等作用后，使材料具有特定的功能，主要是光学功能、电磁功能、声学功能、生体功能、分离功能、梯度功能、形状记忆功能、自适应功能等，人们按照其性能常称为光学材料、磁性材料、电绝缘材料、超导材料、声学材料、生物医学材料、分离材料、梯度功能材料、智能材料。利用它们制造具有记录、储存、传导信息或转换能量的功能元、器件。这些材

料总称为功能材料。

虽然，功能材料的发展历史与结构材料一样悠久，但是人们使用“功能材料”这一名词来描述它们还是近 30 年来的事情。功能材料的概念是由美国贝尔研究所 J. A. Morton 博士在 1965 年首先提出来的，后经日本各研究所、大学和材料学会的大力提倡，很快受到了各国材料科学界的重视和接受。这主要是由于高技术产业的发展所致。因为高技术体现了当代的最新科学技术成就，又是一个充满活力，不断创新和换代的新技术群，必然要求与之适应的各种新材料，尤其是新型功能材料。例如，航天空间技术、海洋开发技术、生物医学工程技术等尖端技术的开发，迫切要求与之适应的新型结构材料和特种功能材料。20 世纪 60 年代，随着微电子工业的发展，促进了半导体材料的迅速发展。70 年代的“能源危机”，促使各国开发新能源和研制储能材料。激光技术的出现，使光学材料、光电子材料面貌为之一新。80 年代以来，一场以高技术为中心的新技术革命，在欧美和日本等国兴起，并迅速波及世界各国和地区，新技术革命的主要标志就是新型材料、信息技术和生物工程技术。

总之，由于高技术发展的需要，强烈刺激现代材料向功能材料方向发展，使得新型功能材料异军突起，其进展之速令世人瞩目，赋予高技术以新的内涵，促进了各种高技术的发展和应用的实现。

二、功能材料的分类

根据材料的性质特征和用途，可以将功能材料定义为：具有优良的电学、磁学、光学、热学、声学、力学、化学和生物学功能及其相互转化的功能，被用于非结构目的高技术材料。

功能材料种类繁多，涉及面广，迄今还没有一个公认的分类方法。目前主要是根据材料的物质性，或功能性、应用性进行分类。

（一）根据材料的物质性进行分类

1. 金属功能材料；
2. 无机非金属功能材料；
3. 有机功能材料；
4. 复合功能材料。