

中 ★ 国 ★ 工 ★ 程 ★ 技 ★ 术 ★ 专 ★ 著 ★ 丛 ★ 书

现代材料化学

刘光华 编著 潘际奎 主审



上海科学技术出版社

中国工程技术专著丛书

现代材料化学

刘光华 编著

潘际銮 主审

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代材料化学/刘光华编著. —上海:上海科学技术出版社, 2000. 6

(中国工程技术专著丛书)

ISBN 7-5323-5300-1

I. 现... II. 刘... III. ①材料科学-概论②材料-应用化学 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 23242 号

上海科学技术出版社出版发行

(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200020)

商务印书馆上海印刷股份有限公司印刷

新华书店上海发行所经销

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

开本 850×1168 1/32 印张 22 插页 4 字数 541 000

印数 1—1 600 定价: 51.80 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向本社出版科联系调换

内 容 提 要

本书全面、系统地介绍了现代材料化学这一新兴领域的主要研究内容、方法及发展趋势。全书共分十章。前五章是现代材料化学基础部分,对现代材料的结构理论、热力学与动力学原理、性能学、制备化学等作了较为详细的阐述。后五章是现代材料各论,对新型金属材料、先进无机材料、现代合成材料、复合材料以及环境材料与资源化学等作了简明的论述。对现代材料的表征、设计、改性、重要应用以及现代材料研究中涌现出的新概念、新理论、新技术、新工艺和新成果也作了必要的介绍。

本书取材新颖,内容丰富,很好地反映了现代材料化学领域的现状,既可供材料、化学、环境等领域的科技人员阅读,也可作为大学生和研究生的教材或参考书。

11/24/01

序

材料科学与工程是现代工业发展的四大支柱之一,几乎每一项重大的科学技术进步都与材料的发现有着密切关系。现代材料科学发展的基础已经由过去的宏观研究和发展进入到微观的分析和研究,用分子、原子、电子的尺度来改变物质的性质,发展新兴的材料。总结材料科学数十年来的发展历程,国务院学位委员会于1998年修订研究生专业目录时,特别设立了材料物理和化学专业。其中材料物理部分还比较成熟,有一定的基础,但是材料化学部分则处于归纳、提高阶段。刘光华教授编写的《现代材料化学》一书,无疑是这方面的一个重要探索。该书全面系统地论述了现代材料化学这一新领域的主要内容、研究方法和发展趋势,对新材料研究中涌现出的新概念、新理论、新技术、新工艺、新方法和新成果作了详尽的介绍,并从可持续发展的观点出发,探索了材料、资源、环境的辩证关系和发展途径。该书以现代材料为主要研究对象,自成体系,涵盖了现代材料化学方面的新兴领域和最新知识,兼顾学科系统性和专业针对性,取材新颖、内容丰富、结构严谨、重点突出、文字通畅,有一定的深度和广度,理论联系实际,具有较高的学术水平和应用价值。

21 世纪的到来给现代材料的研究、开发和应用以及相关科学的发展带来了新的机遇,该书出版适逢其时,特推荐给广大读者,希望该书能为我国现代化建设和人才培养做出贡献!

中国科学院院士 潘际銮

前 言

材料科学是近 30 多年来发展起来的新兴学科,随着现代科学技术的发展和理论研究的深入,近年来材料科学又萌发出一个崭新的分支——材料化学。一方面,由于材料化学创立不久,其含义和内容只初具概念,急需不断探索和完善;另一方面,由于当今以服务于高科技、现代工业和国防为主的现代材料或新材料的需求量越来越大,新材料的研制与开发速度也越来越快,因而涌现出的新概念、新理论、新技术、新方法、新工艺、新产品和新问题越来越需要材料科学家和化学家等共同努力来归纳、整理、总结及创新,从而为新材料的发展提供完善而系统的理论指导和技术保障。为适应现代材料快速发展和人才培养的需要,笔者集多年教学和研究所积累的知识和经验,并参考了一些名家的论著和国内外最新的文献资料,撰写了本书。

本书的显著特点是:提出了“现代材料化学”的完整概念和体系;以高技术新材料为主要目标,在全面系统研究现代材料的制备、组成、结构、性能与效能的基础上,着重研究实际材料的反应性、合成(制备)方法以及化学组成、晶体结构和显微结构对物质性质的影响,探索固体物质作为材料实际应用的可能性;提出了材料、资源和环境协调的辩证关系以及可持续发展的原则和途径。本书力图反映各类新材料的进展和重大成就,并说明结构理论(包括缺陷理论)以及化学热力学、动力学研究方法和反应原理在现代材料领域中的应用(在介绍有关理论时不作定量推导,而着重基本原理、最新进展及其在现代材料中的应用)。在介绍现代材料制备方

法和性能时,尽可能与它们的结构和反应性相联系。

全书共十章,分属如下五个方面的内容:一是现代材料化学领域涉及的重要概念和基本理论,包括晶体结构和非晶体结构理论、材料化学热力学与动力学原理等,它们是研究现代材料的理论基础;二是固体材料性能学,包括现代材料的化学性能、物理性能和力学性能等,这些是现代材料具有多种用途的根本依据;三是现代材料制备化学,包括各种材料的制备原理和合成方法及新材料开发的研究,这是现代材料化学的核心内容;四是现代材料各论,包括新型金属材料、先进无机材料、高分子合成材料和现代复合材料,它们是现代材料化学研究的主要对象;五是环境材料、资源化学与可持续发展。此外对现代材料的表征、设计、改性及重要应用也作了必要介绍。

本书取材新颖,内容丰富,具有一定的深度和广度,可供材料科学、化学、化工、冶金、陶瓷及相关领域的科技人员参考,也可作为研究生和本科生的教学参考书。由于现代材料化学正处于成长和发展阶段,覆盖的内容极广,加上笔者的水平有限,定有不少错误和不当之处,恳请读者批评指正。

最后要特别感谢吉林大学李彬教授(他在百忙中为本书审阅了部分手稿)以及上海科学技术出版社的领导和有关同志的大力支持。

刘光华于南昌大学

目 录

第一章 绪论	1
第一节 材料科学及其发展	1
第二节 现代材料及其分类	6
第三节 现代材料化学的研究对象和内容	12
第二章 固体材料的结构与表征	15
第一节 晶体材料结构	16
一、空间点阵	17
二、晶面指数与晶向指数	21
三、晶体的宏观对称性和点群	23
四、晶体的微观对称性和空间群	30
五、晶体结构的基本类型	33
六、晶体结构与元素周期表的关系	40
第二节 固体材料中的结合键	42
一、固体材料中结合键的基本类型	42
二、金属材料中的结合键和固体电子论	46
三、无机材料中的结合键和鲍林规则	58
第三节 缺陷化学基础	62
一、晶体缺陷的分类	63
二、点缺陷和电子缺陷	66
三、缺陷化学反应方程式	69
四、点缺陷的化学平衡	74
五、非整比化合物	82
六、位错	84

第四节 非晶态材料结构	87
一、非晶态固体的结构特征	87
二、无机玻璃的结构	88
三、非晶态金属的结构	91
四、非晶态聚合物的结构	92
五、非晶态材料的玻璃化转变	95
第五节 高分子材料结构	97
一、高分子主链的构成——一次结构	99
二、高分子主链的构象——二次结构	104
三、三次结构和高次结构	106
第六节 材料结构的表征	113
一、材料结构表征的主要内容和方法	113
二、衍射技术	116
三、显微技术	124
四、波谱技术	126
五、质谱技术	150
六、电子能谱表面分析	152
七、热分析技术	154
第三章 材料化学热力学和动力学	159
第一节 材料化学热力学基础	159
一、热力学定律及其在材料中的应用	159
二、 ΔG° - T 关系及其应用	164
第二节 相图及相图化学	171
一、固体材料中的基本晶体相	171
二、相平衡与相律	174
三、单元系相图	175
四、二元系相图	177
五、三元系相图	186
第三节 材料化学动力学	199
一、固体中的扩散	199

二、固态相变	214
第四节 固相反应	226
一、固相反应的特点和分类	227
二、固相反应的热力学和动力学	228
三、烧结反应	231
第四章 固体材料性能学	238
第一节 材料的力学性能	238
一、强度与塑性	239
二、硬度与韧性	243
三、耐磨性与疲劳特性	244
第二节 无机材料的脆性与强化增韧	245
一、材料的脆性断裂现象	245
二、无机材料的强度	247
三、无机材料的强化与增韧途径	250
第三节 固体材料的物理性能	253
一、材料的热学性能	253
二、材料的电学性能	255
三、材料的光学性能	257
四、材料的磁学性能	269
第四节 固体材料的化学性能	275
一、材料的化学性能与材料腐蚀	275
二、无机材料的腐蚀	276
第五节 高分子材料的腐蚀	277
一、化学腐蚀	278
二、物理腐蚀	281
三、应力腐蚀	283
四、生物及微生物腐蚀	284
第六节 金属材料的耐腐蚀性	285
一、金属腐蚀的基本类型	285
二、水相腐蚀	286

三、局部腐蚀	309
四、氧化——干腐蚀	321
第七节 固体材料的防腐蚀	328
一、正确选用材料、合理设计构件	328
二、腐蚀环境的改善与控制	330
三、电化学保护	334
四、采用保护性覆盖层	335
第五章 现代材料制备化学	355
第一节 现代材料设计简介	356
一、材料设计的目的和主要内容	356
二、材料设计的基本步骤和实例	358
第二节 现代材料制备方法比较	361
一、金属材料的制备特点	361
二、无机材料的制备特点	362
三、高分子合成材料的制备特点	363
第三节 晶体材料的制备	364
一、溶液法	365
二、溶胶-凝胶法	371
三、水热合成法	380
四、固相法	386
五、气相法	392
第四节 晶体生长技术	398
一、最佳晶体生长体系的选择	398
二、晶体生长方法的分类	399
三、气相生长法制备单晶	400
四、从溶液中生长单晶	401
五、从熔体中生长单晶	404
六、固相生长单晶	409
第五节 非晶态材料的制备	410
一、非晶态材料的一般制法	410

二、非晶态金属的制备	412
三、非晶态半导体的制备	414
四、非晶态高聚物的制备	416
第六节 高分子材料的制备	418
一、加成聚合	418
二、缩合聚合	422
三、开环聚合	424
四、聚合方法	426
第六章 新型金属材料	430
第一节 低合金高强度钢	431
一、低合金高强度钢的合金成分	431
二、低合金高强度钢的应用	433
第二节 超高强度钢	433
一、超高强度钢的合金成分	434
二、超高强度钢的主要性能	435
第三节 新型铝合金	436
一、铝合金的组织特点和分类	437
二、铝的合金化	438
三、几种重要的新型铝合金	440
第四节 先进钛合金	445
一、钛的性能特点	445
二、钛的合金化	447
三、钛合金的基本类型	449
第五节 稀土金属材料	455
一、稀土金属和合金材料	455
二、稀土高性能磁性材料	457
三、稀土贮氢材料	466
四、稀土核材料	472
五、稀土超导材料	479
第七章 先进无机材料	485

第一节 先进陶瓷	486
一、氮化硅陶瓷	486
二、碳化硅陶瓷	489
三、硼化物陶瓷	491
四、氧化铝陶瓷	494
五、氧化锆陶瓷	498
六、导电陶瓷	502
七、压电陶瓷	507
八、光学陶瓷	510
九、生物陶瓷	512
第二节 新型玻璃	517
一、玻璃材料的特性和分类	517
二、光功能玻璃	519
三、电子玻璃	523
四、新型建筑玻璃	524
第三节 人工晶体	527
一、人工水晶	528
二、人造宝石	529
三、光学晶体	530
四、压电晶体	531
五、激光晶体	533
六、高压合成的晶体	533
七、其他晶体	535
第四节 无机涂层	536
一、无机涂层的特点和分类	536
二、无机涂层的制备方法	537
三、无机涂层的应用	540
第八章 高分子合成材料	541
第一节 概述	541
第二节 工程塑料	543

一、通用工程塑料	543
二、特种工程塑料	549
第三节 高分子液晶材料	552
一、概述	552
二、侧链液晶高分子	555
三、主链液晶高分子	558
四、高分子液晶材料的应用	560
第四节 高分子压电材料	564
一、高分子压电材料的性能和分类	564
二、高分子复合物压电材料	566
三、高分子压电材料的应用	567
第五节 导电高分子材料	568
一、高分子导电机理	569
二、导电高分子材料的制备	571
三、导电高分子材料的应用	575
第六节 高分子胶粘剂	575
一、胶粘剂的成分和功能	576
二、几种重要的结构胶粘剂	577
第七节 高分子涂料	581
一、高分子防腐涂料	581
二、高分子耐热涂料	586
三、隔热烧蚀涂料	588
第九章 现代复合材料	591
第一节 复合材料概述	592
一、复合材料的特性	592
二、复合材料的分类	593
第二节 复合材料用增强材料	595
一、有机纤维	596
二、无机纤维	597
三、晶须	599

四、颗粒	601
第三节 复合原理	602
一、材料的复合原则	602
二、复合材料的界面理论	603
三、混合定律	606
第四节 树脂基复合材料	607
一、热固性树脂基复合材料	607
二、热塑性树脂基复合材料	610
第五节 金属基复合材料	614
一、纤维增强金属基复合材料	614
二、晶须增强金属基复合材料	618
三、颗粒增强金属基复合材料	619
第六节 陶瓷基复合材料	622
一、纤维补强增韧陶瓷基复合材料	622
二、晶须补强增韧陶瓷基复合材料	624
三、颗粒弥散强化复相陶瓷	626
第七节 碳-碳复合材料	627
一、碳-碳复合材料的特性	627
二、碳-碳复合材料的制备	628
三、碳-碳复合材料的应用	630
第十章 环境材料与资源化学	633
第一节 环境材料	633
一、环境材料出现的历史背景	633
二、环境材料的研究内容	635
三、材料资源化、循环制备与使用	645
第二节 资源化学	645
一、自然资源及其分类	646
二、资源的综合利用	647
三、废弃物资源化的一般原理	652
四、废气和废水的资源化	654

五、废弃材料与废渣的资源化	665
参考文献	675
附录	680

第一章 绪 论

第一节 材料科学及其发展

在人类的生活或生产中,材料是必需的物质基础,是社会进步的里程碑。历史学家曾将人类的历史按石器时代、铜器时代等来划分。从近代科技史来看,新材料的使用对社会经济和科技的发展起着巨大的推动作用。例如:钢铁材料的出现,孕育了产业革命;高纯半导体材料的制造,大大促进了现代信息技术的建立与发展;先进复合材料和一系列新型超合金材料的开发,为空间技术的发展奠定了物质基础;新型超导材料的研制和开发,将大大推动无损耗输电、大功率发电机、磁流发电以及受控热核反应堆等现代能源的发展。可以说人类社会的进步和技术发展过程中的每一个重大突破,都是以材料为前提的。

20 世纪后期以来,人们把材料、信息和能源作为现代社会进步的三大支柱。特别是进入 80 年代以来,在全球范围内崛起了信息、新材料、新能源、生物、空间和海洋六大技术群体,并形成了滚滚推进的阵势,其中信息技术、新材料技术和生物技术被视为 20 世纪末乃至 21 世纪新技术革命的主要标志。最近,德国 Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research 分析了世界各国的发展计划,总结出 21 世纪初的九大重点领域。它们是:先进材料,纳米技术,微电子学,光子学,微系统工程,软件与计算机模拟,分子电子学,细胞生物技术以及信息、生产与管理工程。