



厦门大学出版社

wujicailiao
yanjiu
fangfa

无机材料 研究方法

—合成制备、分析表征与性能检测

熊
兆
贤
等
编
著

WUJICAILIAO
YANJIU
FANGFA



厦 门 大 学 南 强 丛 书

TB321
X 659

无机材料 研究方法

—合成制备、分析表征与性能检测

WUJICAILIAO
YANJIU
FANGFA

熊兆贤
等
编
著



厦
门
大
学
出
版
社

I U I A



图书在版编目(CIP)数据

无机材料研究方法/熊兆贤等编著. —厦门:厦门大学出版社,
2001. 3

(南强丛书)

ISBN 7-5615-1727-0

I. 无… II. 熊… III. 工程材料:无机材料-研究 IV. TB321

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 11422 号

厦门大学出版社出版发行

(地址:厦门大学 邮编:361005)

<http://www.xmupress.com>

xmup@public.xm.fj.cn

厦门市新嘉莹彩色印刷有限公司印刷

(地址:厦门市莲前北路 77 号 邮编:361009)

2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月第 1 次印刷

开本:889×1194 1/32 印张:15.875

插页:3 字数:440 千字

定价:32.00 元

如有印装质量问题请与承印厂调换

南

強

从

书

台湾社会经济史研究

台湾海疆史研究

近现代中国与东南亚经贸关系史研究

国库运作与管理

上市公司关联交易的法律问题研究

易学与道教思想关系研究

敦煌文献字义通释

明清官话音系

→无机材料研究方法

武夷山常绿林研究

W U J I C A I L I A O Y A N J

厦门大学出版社荣誉出品

《南强丛书》(第二辑)编委会

主任:陈传鸿

副主任:吴水澎

委员:(按姓氏笔画为序)

万惠霖 邓力平 陈福郎

洪华生 黄鸣奋 蒋东明

廖益新

秘书:陈福郎(兼) 陈武元

《南强丛书》(第二辑)序

厦门大学自创办以来已走过了 80 年的光辉历程,今年 4 月 6 日是她的八十华诞。为庆贺这一喜庆的节日,在海内外校友和全校教师的支持下,我们编辑出版了《南强丛书》(第二辑)。

《南强丛书》是为庆贺 70 年校庆而编辑出版的。第一辑《南强丛书》共出版了 15 本专著,这批专著有很高的学术价值和社会价值,出版后在学术界和出版界产生了较大的影响,有 9 本书获得了省级以上的奖励。其后,我们又出版了两批《南强丛书》教材系列,同样收到很好的反响。《南强丛书》作为反映学校优秀教学科研成果的载体和形式,已被厦门大学广大教学科研人员所认同。

厦门大学是一所有着优良传统的高等学府,历史悠久,声名远播,素有“南方之强”的美誉。在 80 年的办学过程中,已形成了“自强不息,止于至善”的理想追求。在世纪更替之际,我校广大教学科研人员,继承和发扬了陈嘉庚先生的爱国主义精神、罗扬才

烈士的革命精神、抗战时内迁闽西艰苦办学的自强精神,以及王亚南校长、陈景润教授为代表的科学精神,为把厦门大学建设成为国内外知名的高水平大学而努力奋斗。在这过程中,广大教学科研人员,用自己的勤劳和智慧撰写了一批优秀的科学著作,为丰富全人类的文化事业和科学的进步做出了宝贵的贡献,值此建校 80 年之际,遴选出一批优秀之作出版,是一件有着重要文化意义的事情。

《南强丛书》第二辑的出版,同以往一样,以她的权威性受到了广大教师的关注,广大教师踊跃投稿参评,在短短的时间内就收到数十部书稿。这些著作都是作者经多年研究的成果,厚积薄发,值此《南强丛书》第二辑出版之际,积极参与角逐。这批入选的 10 部专著,有的是“十年磨一剑”的学术精品,有的是本校优势学科、特色学科的前沿研究成果,在一定程度上反映出我校的学术水平。作者中有的重点学科的学术带头人,有的是近年来在学界崭露头角

的中年新秀,他们都在各自的学术领域中受到瞩目。

由于入选的数量有限,这批《南强丛书》难免有遗珠之憾,在条件成熟的时候,我们还将继续出版《南强丛书》,使《南强丛书》成为反映我校科研和教学成果的一个重要窗口,成为培养师资队伍的一个重要园地,成为学者与读者互为沟通的一座桥梁。

由于时间急,任务重,无论是在评选还是在编辑出版工作中,错误在所难免,敬请各位校友、老师和读者不吝赐教,批评指正。

厦 门 大 学 副 校 长 吴水澎
《南强丛书》编委会副主任

2001年3月30日

绪 言

材料、能源和信息是现代社会的三大支柱,新型材料的不断开发应用正在日益提高人民生活水平和不断推动社会进步。材料科学丰富多彩,涉及多学科的交叉知识,近年来国际上对于材料科学与工程专业正朝着“材料大学科”的方向发展,在科研和教学工作中我们深感需要比较全面的有关材料研究方法的专业参考书。值此厦门大学80周年校庆来临之际,有幸聚集多位活跃在材料科研前沿的中青年同仁座谈商量,确定撰写《无机材料研究方法——合成制备、分析表征与性能检测》,正好顺应这一发展需要。本书按照材料研究中的自然顺序,依次包括无机材料的合成制备、分析表征以及性能检测等三大方面内容,比较全面和系统地介绍了材料科学与工程学科中研究方法的基本内容和现代发展,参考文献包括到2000年12月份。

在无机材料的合成制备部分先后阐述材料的液相合成、气相合成和固相合成以及晶体生长技术等内容;在分析表征部分涉及材料的热分析、相图测定、元素分析、显微分析、X射线分析、电子能谱分析等先进分析手段;在性能检测部分包括材料的力学、热学、电学、磁学、光学、声学以及功能转换性能等测量技术。书中还不同程度地反映了作者的科研工作成果。

本书不仅适合应用物理、应用化学、材料科学与工程技术等专业人员参考使用,而且满足有关专业研究生的教学用书和实验参考的需要。

本书各个章节撰写分工如下:第一章、第七章、第八章、第九章、第十四章、第二十章、第二十一章、第二十四章和第二十五章由熊兆

贤博士撰写;第二章、第三章、第十三章和第十九章由陈立富博士撰写;第四章、第五章和第六章由王周成博士撰写;第十章、第十一章、第十二章和第二十二章由赵景泰博士撰写;第十五章、第十六章和第二十三章由宓锦校博士撰写;第十七和第十八章由王水菊研究员和徐富春高工撰写。全书由熊兆贤统稿主编,并得到厦门大学出版社宋文艳副编审等的大力帮助。本书还承蒙厦门大学化学系蔡俊修教授审稿,并提出多条宝贵意见。

由于时间匆忙和水平有限,书中错误缺点难免,敬请读者指正。联系方式为 E-mail:zxxiong @ xmu. edu. cn.

熊兆贤 博士
2000年12月
于厦大海滨新村

南 強

从
书

台湾社会经济史研究

台湾海疆史研究

近现代中国与东南亚经贸关系史研究

国库运作与管理

上市公司关联交易的法律问题研究

易学与道教思想关系研究

敦煌文献字义通释

明清官话音系

→ 无机材料研究方法

武夷山常绿林研究

厦
门
大
学
出
版
社
荣
誉
出
品

目 录

总 序 绪 言

上 篇 无机材料合成制备

- 第一章 液相合成——化学共沉淀技术(熊兆贤)····· (3)**
- § 1.1 草酸盐共沉淀技术····· (4)
- § 1.2 氨盐共沉淀技术····· (5)
- § 1.3 化学共沉淀实例····· (6)
- 参考文献····· (17)
- 第二章 液相合成——水热合成技术(陈立富)····· (18)**
- § 2.1 水热反应热力学····· (20)
- § 2.2 无机氧化物晶须的合成····· (23)
- § 2.3 陶瓷粉末合成····· (25)
- 参考文献····· (28)
- 第三章 液相合成——溶胶—凝胶技术(陈立富)····· (29)**
- § 3.1 Sol-gel 原料及其合成····· (30)
- § 3.2 金属醇盐的水解····· (33)
- § 3.3 Sol-gel 技术在无机材料合成方面的应用····· (34)
- 参考文献····· (47)
- 第四章 气相合成——物理气相沉积(王周成)····· (48)**
- § 4.1 概 述····· (48)
- § 4.2 物理气相沉积的基本过程····· (49)

§ 4.3 蒸发镀膜	(50)
§ 4.4 溅射镀膜	(52)
§ 4.5 离子镀膜	(57)
参考文献	(61)
第五章 气相合成——化学气相沉积(王周成)	(63)
§ 5.1 概述	(63)
§ 5.2 CVD 的化学反应和特点	(64)
§ 5.3 CVD 工艺过程及模型	(66)
§ 5.4 几种新型化学气相沉积	(69)
§ 5.5 CVD 的应用	(72)
§ 5.6 PVD 和 CVD 两种工艺的对比	(74)
参考文献	(75)
第六章 气相合成——化学气相渗透(王周成)	(76)
§ 6.1 概述	(76)
§ 6.2 CVI 过程	(77)
§ 6.3 CVI 的数值模拟	(84)
§ 6.4 CVI 的应用	(89)
参考文献	(90)
第七章 固相合成——陶瓷粉体制备(熊兆贤)	(92)
§ 7.1 理想粉体特性	(92)
§ 7.2 粉体的机械制备方法	(94)
§ 7.3 粉体的机械化学合成	(98)
§ 7.4 粉体的固态反应制备	(99)
§ 7.5 粉碎过程的理论分析	(103)
§ 7.6 喷雾干燥造粒	(112)
参考文献	(114)
第八章 固相合成——陶瓷坯体成型(熊兆贤)	(115)
§ 8.1 坯体成型概述	(115)
§ 8.2 颗粒堆积	(116)

§ 8.3	粉体成型的添加剂	(120)
§ 8.4	模压成型和等静压成型技术	(125)
§ 8.5	浇注成型技术	(128)
§ 8.6	塑性成型和喷射成型技术	(135)
	参考文献	(135)
第九章	固相合成——陶瓷烧结原理(熊兆贤)	(137)
§ 9.1	陶瓷烧结的驱动力	(138)
§ 9.2	陶瓷烧结的物质传输	(139)
§ 9.3	陶瓷烧结的理论分析方法	(141)
§ 9.4	陶瓷微观结构的演化	(146)
§ 9.5	陶瓷微观结构的演化实例	(151)
	参考文献	(154)
第十章	晶体生长技术(赵景泰)	(155)
§ 10.1	晶体材料	(155)
§ 10.2	晶体生长的理论基础	(156)
§ 10.3	晶体生长基本方法	(158)
§ 10.4	晶体生长实例及实验设计	(167)
	参考文献	(169)

中 篇 无机材料分析表征

第十一章	材料热分析(赵景泰)	(173)
§ 11.1	概 述	(173)
§ 11.2	差热分析(DTA)	(174)
§ 11.3	差示扫描量热法(DSC)	(178)
§ 11.4	热重分析(TGA)和微分热重分析(DTG)	(182)
§ 11.5	实验条件的选择	(186)
§ 11.6	其他热分析法及联用技术	(188)
§ 11.7	应用实例	(189)

参考文献	(192)
第十二章 材料相图及其测定方法(赵景泰)	(193)
§ 12.1 物相与相律	(193)
§ 12.2 相图及相变	(194)
§ 12.3 相图的测定方法	(200)
§ 12.4 相图实例及实验测定	(203)
参考文献	(206)
第十三章 无机非金属材料化学元素的定量分析(陈立富)	(207)
§ 13.1 化学法元素定量分析	(207)
§ 13.2 原子吸收分光光度法元素定量分析	(219)
第十四章 材料显微分析与图像处理(熊兆贤)	(228)
§ 14.1 材料的光学显微分析	(228)
§ 14.2 材料的电子显微分析	(229)
§ 14.3 材料的声学显微分析	(234)
§ 14.4 材料的扫描探针显微分析	(236)
§ 14.5 材料显微图像处理	(238)
§ 14.6 陶瓷材料显微图像分析实例	(245)
参考文献	(255)
第十五章 粉末 X 射线分析(宓锦校)	(257)
§ 15.1 X 射线概述	(257)
§ 15.2 X 射线粉晶衍射仪	(258)
§ 15.3 X 射线粉末法的用途	(261)
§ 15.4 样品要求	(262)
§ 15.5 JCPDS 卡片鉴定法	(263)
§ 15.6 X 射线粉末图谱的指标化	(268)
参考文献	(269)
第十六章 四圆单晶 X 射线分析(宓锦校)	(271)
§ 16.1 四圆单晶衍射仪的工作原理	(271)

§ 16.2	晶体结构测定的一般过程	(274)
§ 16.3	晶胞的选取原则	(277)
§ 16.4	样品的要求	(279)
§ 16.5	四圆衍射的用途	(280)
	参考文献	(281)
第十七章	材料 X 射线光电子能谱分析(王水菊、徐富春) (282)
§ 17.1	概 述	(282)
§ 17.2	X 射线光电子能谱(XPS)的原理	(284)
§ 17.3	X 射线光电子能量	(286)
§ 17.4	X 射线光电子能谱的实验过程	(289)
§ 17.5	X 射线光电子能谱仪的基本结构	(290)
§ 17.6	性能指标分析	(299)
§ 17.7	XPS 谱图分析	(303)
§ 17.8	谱峰的位移	(306)
§ 17.9	伴 峰	(310)
§ 17.10	定性分析	(317)
§ 17.11	定量分析	(321)
	参考文献	(323)
第十八章	材料俄歇电子能谱分析(AES)(王水菊、徐富春) (324)
§ 18.1	概 述	(324)
§ 18.2	俄歇效应	(325)
§ 18.3	俄歇电子的能量	(327)
§ 18.4	俄歇电子的平均自由程	(329)
§ 18.5	俄歇电子能谱的测量	(330)
§ 18.6	定性和定量分析	(334)
§ 18.7	俄歇能谱仪的基本结构	(339)
§ 18.8	扫描俄歇谱仪(SAM)	(343)

§ 18.9 在材料科学方面的应用·····	(346)
§ 18.10 电子能谱仪的新进展·····	(356)
参考文献·····	(363)

下 篇 无机材料性能检测

第十九章 材料力学性能测量(陈立富)·····	(367)
§ 19.1 单向拉伸及压缩·····	(368)
§ 19.2 弯 曲·····	(371)
§ 19.3 无机材料的高温变形·····	(374)
§ 19.4 无机材料的断裂韧性·····	(377)
§ 19.5 硬 度·····	(380)
参考文献·····	(387)
第二十章 材料热学性能测量(熊兆贤)·····	(388)
§ 20.1 导热系数的测量·····	(388)
§ 20.2 热膨胀系数的测量·····	(392)
§ 20.3 抗热震性的测试·····	(396)
参考文献·····	(402)
第二十一章 材料的电学性能测量(熊兆贤)·····	(403)
§ 21.1 电阻与电阻率的概述·····	(403)
§ 21.2 电阻温度特性·····	(405)
§ 21.3 电阻的测量方法·····	(406)
§ 21.4 试样的电极形式·····	(411)
§ 21.5 热敏电阻的温度特性测量·····	(412)
§ 21.6 介电谱的概述·····	(414)
§ 21.7 介电谱的测量原理·····	(416)
§ 21.8 介电谱测量精度的影响因素·····	(416)
§ 21.9 不同频率范围的测量方法·····	(418)
§ 21.10 电容器介电谱的测量方法·····	(423)