

# 中国材料 工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会



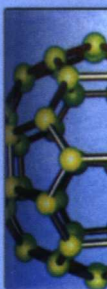
中国材料工程大典编委会

## 第 9 卷

无机非金属  
材料工程 (下)

江东亮  
欧阳世翕

李龙土  
施剑林 主编



化学工业出版社

CHINA MATERIALS ENGINEERING CANON

# 中国材料 工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会



中国材料工程大典编委会

第9卷

无机非金属材料工程（下）

江东亮 李龙土 欧阳世翕 施剑林 主编



化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

## 内 容 简 介

中国材料工程大典是中国机械工程学会和中国材料研究学会共同组织全国 39 位院士、百余位各学科带头人、千余位材料工程专家共同执笔编写,全面反映当今国内外材料工程领域发展的最新资料和最新成果,集实用性、先进性和权威性于一体的大型综合性工具书。中国材料工程大典包括材料工程基础、钢铁材料工程、有色金属材料工程、高分子材料工程、无机非金属材料工程、复合材料工程、信息功能材料工程、粉末冶金材料工程、材料热处理工程、材料表面工程、材料铸造成形工程、材料塑性成形工程、材料焊接工程、材料特种加工成形工程、材料表征与检测技术等内容,涵盖了材料工程的各个领域,将最新的实用数据(特别是与国际接轨的标准数据)、图表与先进实用的科研成果系统地集合起来,并附应用实例,充分展示了材料工程各领域的现状和未来。中国材料工程大典不仅可以满足现代企业正确选材,合理用材,应用先进的材料成形加工技术,提高产品质量和性能,降低产品成本,增强产品市场竞争力的需要,而且对推动中国材料科学与材料成形加工技术的不断创新,促进制造业的发展,提高我国制造业的竞争能力,具有重要的现实意义。

本书为第 9 卷,无机非金属材料工程(下)。主要内容包括晶体材料,无机涂层材料,耐火材料,碳,石墨材料,水泥与混凝土,其他新型无机材料等。

本书主要供具有大专以上文化水平,从事材料工程研究的工程技术人员在综合研究和处理无机非金属材料工程的各种技术问题时使用,起备查、提示和启发的作用,也可供研究人员、理工院校的师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

中国材料工程大典.第9卷,无机非金属材料工程.下/江东亮等编.——北京:化学工业出版社,2005.8  
ISBN 7-5025-7311-9

I. 中… II. 江… III. ①材料科学②无机材料:非金属材料 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094443 号

## 中国材料工程大典

### 第 9 卷

### 无机非金属材料工程(下)

中国机械工程学会

中国材料研究学会

中国材料工程大典编委会

江东亮 李龙土 欧阳世翕 施剑林 主编

责任编辑:周国庆 陈志良 李骏带

责任校对:陈静

封面设计:雷嘉琦

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码:100029)

发行电话:(010) 64982530

http://www.cip.com.cn

\*

新华书店北京发行所经销

北京蓝海印刷有限公司印装

开本 880mm×1230mm 1/16 印张 47 3/4 字数 2169 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7311-9

定价:130.00 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



# 中国材料工程大典编委会



主任：路甬祥



常务副主任：李成功



总策划：宋天虎



总策划：黄远东



总编辑：李骏带





# 中国材料工程大典编委会

顾问: 师昌绪 严东生 李恒德 何光远 陆燕荪 徐匡迪 李学勇  
栾恩杰 王淀佐 朱道本 颜鸣皋 黄培云 周 廉 左铁镞

主任: 路甬祥

常务副主任: 李成功

副主任: 钟群鹏 干 勇 黄伯云 江东亮 徐滨士 王占国 潘健生 杜善义 胡正寰 柳百成 徐祖耀 陈立泉

总策划: 宋天虎 黄远东

总编辑: 李骏带

秘书长: 黄远东(兼)

委员: (按姓氏笔画排列)

丁 辛(东华大学教授)

丁传贤(中科院上海硅酸盐研究所研究员、院士)

干 勇(钢铁研究总院院长、院士)

于月光(北京矿冶研究总院副总工程师、教授)

才鸿年(国防科工委专家咨询委委员、院士)

马世宁(装甲兵工程学院教授)

马冲先(上海材料研究所教授)

马济民(北京航空材料研究院教授)

马眷荣(中国建筑材料科学研究院教授)

马福康(北京有色金属研究总院教授)

王占国(中科院半导体研究所研究员、院士)

王务同(上海材料研究所教授)

王尔德(哈尔滨工业大学教授)

王永岩(辽宁工程技术大学教授)

王亚军(中航一集团625所副所长、教授)

王至尧(中国航天科技集团502所研究员)

王克光(中国材料研究学会秘书长、教授)

王克俭(北京航空材料研究院高级工程师)

王高潮(南昌航空工业学院教授)

王淀佐(中国工程院常务副院长、院士)

王琦安(科学技术部高新司材料处处长)

王新林(钢铁研究总院教授)

王德志(中南大学教授)

方禹之(华东师范大学教授)

尹志民(中南大学教授)

邓 炬(西北有色金属研究院教授)

左铁钊(北京工业大学教授)

左铁镞(北京工业大学教授、院士)

石力开(北京有色金属研究总院教授)

石春山(中科院长春应用化学研究所研究员)

卢世刚(北京有色金属研究总院教授)

叶小玲(中科院半导体研究所教授)

叶光斗(四川大学教授)

田志凌(钢铁研究总院副院长、教授)

田荣璋(中南大学教授)

史耀武(北京工业大学教授)

冯 涤(钢铁研究总院教授)

冯 稷(中科院物理研究所教授)

冯春祥(国防科技大学教授)

宁远涛(昆明贵金属研究所教授)

邢建东(西安交通大学教授)

师昌绪(国家自然科学基金委员会顾问、院士)

吕 炎(哈尔滨工业大学教授)

吕反修(北京科技大学教授)

同继锋(中国建筑材料科学研究院教授)

曲文生(中科院金属研究所高级工程师)

朱万森(复旦大学教授)

朱如瑾(四川大学教授)

朱绍华(装甲兵工程学院教授)

朱道本(国家自然科学基金委员会副主任、院士)

仲维卓(中科院上海硅酸盐研究所教授)

任家烈(清华大学教授)

华 林(武汉理工大学教授)

刘 明(中科院微电子所研究员)

刘正才(钢铁研究总院教授)

刘世参(装甲兵工程学院教授)

刘占阳(哈尔滨玻璃钢研究所教授)

刘邦津(钢铁研究总院教授)

刘作信(北京冶金设备研究院教授)

刘其贤(哈尔滨玻璃钢研究所研究员)

刘郁丽(西北工业大学教授)

刘治国(南京大学教授)

刘建章(西北有色金属研究院教授)

刘晋春(哈尔滨工业大学教授)

刘清友(钢铁研究总院教授)

刘献明(中科院理化技术研究所教授)

齐从谦(同济大学教授)

闫 洪(南昌大学教授)

江东亮(中科院上海硅酸盐研究所教授、院士)

许祖泽(钢铁研究总院教授)

许祖彦(中科院物理研究所研究员、院士)

阳明书(中科院化学研究所研究员)

孙 坚(上海交通大学教授)

孙加林(昆明贵金属研究所所长、教授)

杜善义(哈尔滨工业大学教授、院士)

|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| 杨 合 (西北工业大学教授)          | 汪明朴 (中南大学教授)             |
| 杨 武 (上海材料研究所教授)         | 沈 真 (中航一集团623所研究员)       |
| 杨乃宾 (北京航空航天大学教授)        | 沈万慈 (清华大学教授)             |
| 杨才福 (钢铁研究总院教授)          | 沈德忠 (清华大学教授、院士)          |
| 杨鸣波 (四川大学教授)            | 宋天虎 (中国机械工程学会秘书长、教授)     |
| 杨忠民 (钢铁研究总院教授)          | 张 力 (国防科工委经济与协调司副司长、研究员) |
| 杨晓华 (福州大学教授)            | 张 扬 (四川大学教授)             |
| 杨海波 (北京科技大学教授)          | 张 华 (贵州安大航空锻造公司副总经理)     |
| 杨焕文 (中国有色金属学会副秘书长、教授)   | 张 杰 (北京科技大学教授)           |
| 杨德仁 (浙江大学教授)            | 张 金 (中国锻压协会秘书长、教授)       |
| 李 强 (福州大学教授)            | 张 峥 (北京航空航天大学教授)         |
| 李 晋 (上海材料研究所教授)         | 张子龙 (北京航空材料研究院高级工程师)     |
| 李 楠 (武汉科技大学教授)          | 张用宾 (中国建筑材料科学研究院教授)      |
| 李长久 (西安交通大学教授)          | 张立同 (西北工业大学教授、院士)        |
| 李龙土 (清华大学教授、院士)         | 张永俐 (昆明贵金属研究所教授)         |
| 李成功 (中国材料研究学会荣誉理事、教授)   | 张吉龙 (中国铝业公司教授)           |
| 李光福 (上海材料研究所教授)         | 张旭初 (中国材料工程大典编委会教授)      |
| 李志刚 (华中科技大学教授)          | 张佐光 (北京航空航天大学教授)         |
| 李明哲 (吉林大学教授)            | 张晋远 (钢铁研究总院教授)           |
| 李明辉 (上海交通大学教授)          | 张康侯 (昆明贵金属研究所教授)         |
| 李学勇 (科学技术部副部长)          | 张道中 (中科院物理研究所教授)         |
| 李虹霞 (洛阳耐火材料研究院教授)       | 张新民 (中南大学教授)             |
| 李恒德 (清华大学教授、院士)         | 陆燕荪 (原机械工业部副部长)          |
| 李贺军 (西北工业大学教授)          | 陈 琦 (沈阳铸造研究所教授)          |
| 李海军 (宁夏东方铝业股份有限公司高级工程师) | 陈文哲 (福州大学教授)             |
| 李骏带 (中国材料工程大典编委会高级工程师)  | 陈世朴 (上海交通大学教授)           |
| 李鹤林 (石油天然气公司管材研究所教授、院士) | 陈立泉 (中科院物理研究所教授、院士)      |
| 严东生 (中科院上海硅酸盐研究所教授、院士)  | 陈运远 (上海材料研究所教授)          |
| 连克仁 (苏州特种加工研究所教授)       | 陈志良 (化学工业出版社编审)          |
| 肖亚庆 (中国铝业公司总经理、教授)      | 陈国钧 (钢铁研究总院教授)           |
| 吴 行 (装甲兵工程学院教授)         | 陈治明 (西安理工大学校长、教授)        |
| 吴 昆 (哈尔滨工业大学教授)         | 陈南宁 (北京钢铁设计研究总院教授)       |
| 吴 诚 (上海材料研究所教授)         | 陈祝年 (山东大学教授)             |
| 吴永声 (四川大学教授)            | 陈晓慈 (中国第二重型机械集团公司副总工程师)  |
| 吴伟仁 (国防科工委科技与质量司司长、研究员) | 陈涌海 (中科院半导体研究所研究员)       |
| 吴性良 (复旦大学教授)            | 陈祥宝 (北京航空材料研究院研究员)       |
| 吴科如 (同济大学教授)            | 陈超志 (中国机械工程学会高级工程师)      |
| 吴恩熙 (中南大学教授)            | 林慧国 (钢铁研究总院教授)           |
| 吴谊群 (中科院上海光学机械研究所研究员)   | 欧阳世翥 (中国建筑材料科学研究院教授)     |
| 吴智华 (四川大学教授)            | 卓尚军 (中科院上海硅酸盐研究所研究员)     |
| 吴德馨 (中科院微电子所研究员、院士)     | 易建宏 (中南大学教授)             |
| 何光远 (原机械工业部部长、教授)       | 罗祥林 (四川大学教授)             |
| 何季麟 (宁夏东方有色金属集团公司总裁、院士) | 罗豪魁 (中科院上海硅酸盐研究所教授)      |
| 佟晓辉 (中国热处理行业协会研究员)      | 果世驹 (北京科技大学教授)           |
| 邱 勇 (清华大学教授)            | 周 廉 (西北有色金属研究院教授、院士)     |
| 邱冠周 (中南大学副校长、教授)        | 周伟斌 (化学工业出版社副社长、编审)      |
| 邱德仁 (复旦大学教授)            | 周国庆 (化学工业出版社副总编辑、编审)     |
| 余金中 (中科院半导体研究所研究员)      | 郑有炆 (南京大学教授、院士)          |
| 邹广田 (吉林大学教授、院士)         | 柳玉起 (华中科技大学教授)           |

柳百成 (清华大学教授、院士)  
胡玉亭 (太原钢铁集团公司总工程师、教授)  
胡正寰 (北京科技大学教授、院士)  
南策文 (清华大学教授)  
赵万生 (哈尔滨工业大学教授)  
赵有文 (中科院半导体研究所研究员)  
赵国群 (山东大学教授)  
赵金榜 (上海市涂料研究所教授)  
赵梓森 (武汉邮电科学研究院研究员、院士)  
赵慕岳 (中南大学教授)  
钟群鹏 (北京航空航天大学教授、院士)  
施东成 (北京科技大学教授)  
施剑林 (中科院上海硅酸盐研究所教授)  
姜不居 (清华大学教授)  
姜晓霞 (中科院金属研究所研究员)  
祖荣祥 (钢铁研究总院教授)  
姚燕 (中国建筑材料科学研究院院长、教授)  
贺守华 (国防科工委经济与协调司处长)  
耿林 (哈尔滨工业大学教授)  
聂大钧 (宁夏东方有色金属集团公司教授)  
贾成厂 (北京科技大学教授)  
顾冬红 (中科院上海光学机械研究所研究员)  
夏巨湛 (华中科技大学教授)  
夏志华 (北京有色金属研究总院教授)  
俸培宗 (化学工业出版社社长、编审)  
徐匡迪 (中国工程院院长、院士)  
徐廷献 (天津大学教授)  
徐建军 (四川大学教授)  
徐祖耀 (上海交通大学教授、院士)  
徐家文 (南京航空航天大学教授)  
徐跃明 (中国机械工程学会热处理学会研究员)  
徐滨士 (装甲兵工程学院教授、院士)  
殷树言 (北京工业大学教授)  
翁宇庆 (中国金属学会理事长、教授)  
郭会光 (太原重机学院教授)  
郭景杰 (哈尔滨工业大学教授)  
高瑞萍 (国家自然科学基金委员会研究员)  
栾恩杰 (国防科工委专家咨询委主任、研究员)  
唐仁政 (中南大学教授)  
唐汝钧 (上海材料研究所教授)  
唐志玉 (四川大学教授)  
唐昌世 (首都钢铁集团公司教授)  
益小苏 (北京航空材料研究院教授)  
涂善东 (南京工业大学教授)  
黄勇 (清华大学教授)  
黄天佑 (清华大学教授)  
黄玉东 (哈尔滨工业大学教授)  
黄本立 (厦门大学教授、院士)  
黄远东 (中国材料工程大典编委会高级工程师)

黄伯云 (中南大学校长、院士)  
黄校先 (中科院上海硅酸盐研究所教授)  
黄培云 (中南大学教授、院士)  
曹勇家 (钢铁研究总院教授)  
曹湘洪 (中国石油化工股份有限公司董事、院士)  
龚七一 (中国化工学会秘书长、教授)  
崔健 (上海宝钢集团公司副总经理、教授)  
康喜范 (钢铁研究总院教授)  
梁齐 (上海交通大学教授)  
梁军 (哈尔滨工业大学教授)  
梁志杰 (装甲兵工程学院高级工程师)  
屠海令 (北京有色金属研究总院院长、教授)  
隋同波 (中国建筑材料科学研究院教授)  
韩凤麟 (中机协粉末冶金分会教授)  
彭艳萍 (国防科工委科技与质量司高级工程师)  
葛子干 (北京航空材料研究院院长、教授)  
董瀚 (钢铁研究总院教授)  
董汉山 (英国伯明翰大学教授)  
董首山 (中科院金属研究所研究员)  
董祖珏 (机械科学研究院教授)  
董湘怀 (上海交通大学教授)  
蒋力培 (北京石油化工学院教授)  
蒋建平 (浙江大学教授)  
傅绍云 (中科院理化技术研究所研究员)  
储君浩 (上海技术物理研究所教授)  
谢邦互 (四川大学教授)  
谢里阳 (东北大学教授)  
谢建新 (北京科技大学副校长、教授)  
鄢国强 (上海材料研究所教授)  
雷天民 (西安理工大学教授)  
路甬祥 (中国机械工程学会理事长、院士)  
解应龙 (哈尔滨焊接技术培训中心教授)  
解思深 (中科院物理研究所教授、院士)  
雍歧龙 (钢铁研究总院教授)  
蔡中义 (吉林大学教授)  
漆玄 (上海交通大学教授)  
谭抚 (中国硅酸盐学会副秘书长、教授)  
熊守美 (清华大学教授)  
靳常青 (中科院物理研究所教授)  
樊东黎 (中国热处理行业协会教授)  
黎文献 (中南大学教授)  
颜永年 (清华大学教授)  
颜鸣皋 (北京航空材料研究院教授、院士)  
潘正安 (化学工业出版社总编辑、编审)  
潘叶金 (中南大学教授)  
潘振魁 (中科院上海硅酸盐研究所教授)  
潘健生 (上海交通大学教授、院士)  
燕瑛 (中国复合材料学会秘书长、教授)  
戴国强 (科学技术部高新司副司长)

# 鸣 谢

在编写过程中,得到以下部门和单位的支持和协作,使《中国材料工程大典》得以顺利编撰完成。在此,中国材料工程大典编委会代表全体作者表示衷心感谢!

支持部门: 中华人民共和国科学技术部

国防科学技术工业委员会

国家自然科学基金委员会

中国科学技术协会

中国科学院

中国工程院

## 协 作 单 位

钢铁研究总院

北京有色金属研究总院

北京航空材料研究院

中国建筑材料科学研究院

中国科学院金属研究所

中国科学院上海硅酸盐研究所

上海宝钢集团公司

中国石油化工集团公司

中国铝业公司

清华大学

中南大学

太原钢铁集团公司

西北有色金属研究院

宁夏东方有色金属集团公司

华中科技大学

中国第二重型机械集团公司

北京科技大学

北京航空航天大学

中国航天集团第703研究所

中国特种设备检测研究中心

哈尔滨工业大学

贵州安大航空锻造公司

东北大学

西安重型机械研究所

中国科学院半导体研究所

四川大学

北京航空制造工程研究所

中国科学院物理研究所

西北工业大学

北京矿冶研究总院

沈阳铸造研究所

江苏法尔胜公司

# 序

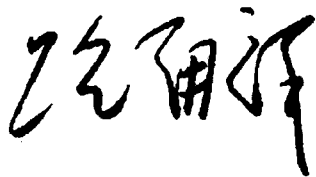
材料是当代社会经济发展的物质基础，也是制造业发展的基础和重要保障。进入 21 世纪以来，随着经济全球化的发展和中国的崛起，现代制造业的重心正不断向中国转移。据统计，今天中国制造业直接创造国民生产总值的 1/3 以上，约占全国工业生产的 4/5，为国家财政提供 1/3 以上的收入，占出口总额的 90%。但是与发达国家相比，我国制造业的水平不高、自主创新能力不足、高端市场竞争力还不强。我国虽然已是世界制造业大国，但还不是世界制造业强国。在有关因素中，材料工程基础薄弱是制约我国制造业发展的关键因素。广义的材料工程包括材料制备、测试和加工成形过程。为了提高我国制造业的水平和竞争力，突破材料工程这个薄弱环节，中国机械工程学会和中国材料研究学会牵头，会同中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会共同组织编撰《中国材料工程大典》（简称《材料大典》），其目的是力图为我国制造业提供一部集科学性、先进性和实用性于一体的综合性专业工具书。以满足广大科技工作者的迫切需求，为科技自主创新和我国制造业的崛起加强技术基础。

经过 5 年多的艰苦努力，《材料大典》终将出版了。这部共 26 卷约 7000 万字的巨著，是 39 位两院院士和 1200 余位参编专家教授们辛勤劳动的智慧结晶。有的作者为此牺牲了健康，如一位退休了的总工程师，为了把他多年的研究成果和实践经验写成书稿，由于长时间写作，导致眼睛视网膜脱落……。这种敬业精神与坚强毅力是值得我们学习铭记的。借此机会，我们要感谢中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会的支持。这些学会的众多专家教授积极参与了《材料大典》编写工作，与中国机械工程学会和中国材料研究学会的专家教授一起完成这项艰巨任务，从而使《材料大典》在完整性与先进性、科学性与实用性的结合上得到了加强；我们要感谢科学技术部、国防科学技术工业委员会、国家自然科学基金委员会、中国科学技术协会、中国科学院、中国工程院，以及各协作单位对编写工作的大力支持和积极帮助；我们也要感谢师昌绪院士等顾问的殷切指导，他们在编委会的两次工作会议上提出了许多重要的意见和建议，平时也给予了经常关心和指导，使我们少走了许多弯路；我们还要对关心和支持《材料大典》编写工作的科研院所、院校、企业以及有关人员表示感谢。没有大家的支持与协同，就不可能有《材料大典》的成功编写和顺利出版。

《材料大典》既总结了 10 多年来在材料工程方面的最新数据、图表及科研成果，还汇集了国内外在材料工程方面的成熟经验和先进理念，它体现了科学性、先进性和实用性的结合。可供具有大专以上文化水平的有关工程技术人员查阅使用，也可供理工院校的师生参考。

编撰《材料大典》涉及范围广，难度大，书中不可避免地会存在一些缺点和不足之处，恳请各位读者指正。

中国机械工程学会理事长  
中国材料工程大典编委会主任



2005 年 9 月 23 日

# 前言

《无机非金属材料工程》卷是《中国材料工程大典》中的卷目之一。

无机非金属材料作为三大主要材料之一,不仅是国防建设,经济发展的重要支撑材料,而且是提高人们生活、生存质量休戚相关的基础材料。进入20世纪以来,无机非金属材料由于其独特的多种功能(电、磁、光、声、力、热、红外、超导、透波、反射等)相继发现,使其在现代高新技术中的应用得到迅猛发展。我国从制造业大国向制造业强国过渡,十分依赖于高质量、多品种新材料的应用。《中国材料工程大典》中《无机非金属材料工程》卷的编写和出版,正是适应于这种形势的发展需要。

《无机非金属材料工程》(上、下)卷是我国迄今为止篇幅最大,涵盖内容最新、最全的无机非金属材料工程方面的专业工具书。内容包括:概论、结构陶瓷(含陶瓷基复合材料)、功能陶瓷、传统陶瓷、玻璃、晶体材料、无机涂层材料、耐火材料、碳与石墨材料、水泥与混凝土和其他新型无机材料等11篇共约400万字。参加编写的有中科院上海硅酸盐研究所、清华大学、中国建筑材料科学研究院、吉林大学、武汉科技大学、武汉理工大学、洛阳耐火材料研究院、郑州磨料磨具研究所、北京航空材料研究院等大学、研究院所和企业的专家教授共50余位,历时3年完稿。本卷由江东亮、李龙土、欧阳世翕、施剑林任主编并负责统稿。

各篇的主编如下:

|               |             |
|---------------|-------------|
| 第1篇 概论        | 江东亮         |
| 第2篇 结构陶瓷      | 江东亮 黄校先 潘振甦 |
| 第3篇 功能陶瓷      | 李龙土 徐延献     |
| 第4篇 传统陶瓷      | 同继锋         |
| 第5篇 玻璃        | 马眷荣         |
| 第6篇 晶体材料      | 罗豪甦 仲维卓     |
| 第7篇 无机涂层材料    | 丁传贤 赵金榜 陈杰锋 |
| 第8篇 耐火材料      | 李楠 张用宾 李虹霞  |
| 第9篇 碳、石墨材料    | 李龙土 沈万慈     |
| 第10篇 水泥与混凝土   | 隋同波         |
| 第11篇 其他新型无机材料 | 施剑林         |

本书在编写过程中,强调以“全而精、新而准”为特点;在整体设计上,贯彻既要立足全局,又要突出重点。从材料的基础(组成与结构)、性能、工艺过程以及应用等方面进行综合介绍。在取材上,以基础、通用、先进、实用为原则,传统常用材料和新材料相互结合。为正确选材、合理用材提供科学依据。本卷还适当介绍了一些国外相关先进材料,充分体现“科学性、先进性和实用性”。本书可供无机非金属材料工程技术人员查阅使用,也可供研究人员、管理人员和高校师生参考。

感谢所有参与本卷编写的全体作者和工作人员的辛勤劳动和努力,感谢有关单位的大力支持和帮助。由于时间仓促和编者水平所限,书中遗漏和不当之处,恳请读者批评指正。

江东亮 李龙土  
欧阳世翕 施剑林

2005年11月13日

# 篇 目

## 第1卷 材料工程基础

主编：师昌绪院士 钟群鹏院士 李成功教授

|     |            |          |       |       |
|-----|------------|----------|-------|-------|
| 第1篇 | 材料科学与工程概论  | 主编：师昌绪院士 | 李成功教授 | 刘治国教授 |
| 第2篇 | 材料成形基础理论   | 主编：董湘怀教授 |       |       |
| 第3篇 | 材料成形数值模拟   | 主编：柳玉起教授 |       |       |
| 第4篇 | 材料成形优化设计方法 | 主编：赵国群教授 |       |       |
| 第5篇 | 材料失效分析     | 主编：钟群鹏院士 | 李鹤林院士 | 张 峥教授 |
| 第6篇 | 材料强度设计     | 主编：谢里阳教授 | 王永岩教授 |       |

## 第2、3卷 钢铁材料工程（上、下）

主编：干 勇院士 田志凌教授 董 瀚教授 冯 涤教授 王新林教授

|      |            |          |       |             |
|------|------------|----------|-------|-------------|
| 第1篇  | 概论         | 主编：干 勇院士 |       |             |
| 第2篇  | 钢铁牌号表示方法   | 主编：林慧国教授 |       |             |
| 第3篇  | 铁          | 主编：祖荣祥教授 |       |             |
| 第4篇  | 铸铁与铸钢      | 主编：陈 琦教授 | 彭兆弟教授 |             |
| 第5篇  | 非合金钢       | 主编：杨忠民教授 |       |             |
| 第6篇  | 低合金钢       | 主编：董 瀚教授 | 雍歧龙教授 | 刘清友教授 杨才福教授 |
| 第7篇  | 超细晶钢       | 主编：刘正才教授 |       |             |
| 第8篇  | 镍基和铁镍基耐蚀合金 | 主编：康喜范教授 |       |             |
| 第9篇  | 电热合金       | 主编：唐昌世教授 |       |             |
| 第10篇 | 高温合金       | 主编：冯 涤教授 |       |             |
| 第11篇 | 金属功能材料     | 主编：王新林教授 | 陈国钧教授 |             |
| 第12篇 | 钢铁焊接材料     | 主编：田志凌教授 |       |             |
| 第13篇 | 合金钢        | 主编：董 瀚教授 |       |             |

## 第4、5卷 有色金属材料工程（上、下）

主编：黄伯云院士 李成功教授 石力开教授 邱冠周教授 左铁镞院士

|      |             |          |       |             |
|------|-------------|----------|-------|-------------|
| 第1篇  | 概论          | 主编：黄伯云院士 | 邱冠周教授 |             |
| 第2篇  | 铝及铝合金       | 主编：田荣璋教授 | 肖亚庆教授 |             |
| 第3篇  | 镁及镁合金       | 主编：黎文献教授 |       |             |
| 第4篇  | 铜及铜合金       | 主编：汪明朴教授 | 尹志民教授 |             |
| 第5篇  | 镍、钴及其合金     | 主编：唐仁政教授 |       |             |
| 第6篇  | 锌、铅、锡及其合金   | 主编：田荣璋教授 |       |             |
| 第7篇  | 钛及钛合金       | 主编：李成功教授 | 马济民教授 | 邓 炬教授       |
| 第8篇  | 钨、钼及其合金     | 主编：王德志教授 | 潘叶金教授 |             |
| 第9篇  | 硬质合金        | 主编：吴恩熙教授 |       |             |
| 第10篇 | 钽、铌及其合金材料   | 主编：何季麟院士 |       |             |
| 第11篇 | 铍、锆、钨及其合金材料 | 主编：刘建章教授 | 聂大钧教授 |             |
| 第12篇 | 贵金属及其合金材料   | 主编：孙加林教授 | 张康侯教授 | 宁远涛教授 张永俐教授 |
| 第13篇 | 有色金属层状复合材料  | 主编：张新明教授 | 谢建新教授 |             |
| 第14篇 | 有色金属新材料     | 主编：石力开教授 | 左铁镞院士 |             |

## 第6、7卷 高分子材料工程（上、下）

主编：杨鸣波教授 唐志玉教授

|     |      |          |       |
|-----|------|----------|-------|
| 第1篇 | 概论   | 主编：杨鸣波教授 | 唐志玉教授 |
| 第2篇 | 塑料工程 | 主编：吴智华教授 |       |
| 第3篇 | 有机纤维 | 主编：叶光斗教授 | 徐建军教授 |
| 第4篇 | 橡胶工程 | 主编：谢邦互教授 |       |

|     |        |          |
|-----|--------|----------|
| 第5篇 | 高分子胶粘剂 | 主编：朱如瑾教授 |
| 第6篇 | 功能高分子  | 主编：罗祥林教授 |
| 第7篇 | 皮革材料   | 主编：张 扬教授 |

### 第8、9卷 无机非金属材料工程（上、下）

主编：江东亮院士 李龙土院士 欧阳世翕教授 施剑林教授

|      |          |          |             |
|------|----------|----------|-------------|
| 第1篇  | 概论       | 主编：江东亮院士 |             |
| 第2篇  | 结构陶瓷     | 主编：江东亮院士 | 黄校先教授 潘振魁教授 |
| 第3篇  | 功能陶瓷     | 主编：李龙土院士 | 徐廷献教授       |
| 第4篇  | 传统陶瓷     | 主编：同继锋教授 |             |
| 第5篇  | 玻璃       | 主编：马眷荣教授 |             |
| 第6篇  | 晶体材料     | 主编：罗豪甦教授 | 仲维卓教授       |
| 第7篇  | 无机涂层材料   | 主编：丁传贤院士 | 赵金榜教授 陈杰锋教授 |
| 第8篇  | 耐火材料     | 主编：李 楠教授 | 张用宾教授 李虹霞教授 |
| 第9篇  | 碳、石墨材料   | 主编：李龙土院士 | 沈万慈教授       |
| 第10篇 | 水泥与混凝土   | 主编：隋同波教授 |             |
| 第11篇 | 其他新型无机材料 | 主编：施剑林教授 |             |

### 第10卷 复合材料工程

主编：益小苏教授 杜善义院士 张立同院士

|      |                  |          |             |
|------|------------------|----------|-------------|
| 第1篇  | 复合材料导论           | 主编：益小苏教授 |             |
| 第2篇  | 复合材料用增强体材料       | 主编：冯春祥教授 | 楚增勇教授       |
| 第3篇  | 聚合物基体材料          | 主编：陈祥宝教授 |             |
| 第4篇  | 纺织复合材料           | 主编：丁 辛教授 |             |
| 第5篇  | 复合材料界面           | 主编：黄玉东教授 |             |
| 第6篇  | 工业聚合物基复合材料与玻璃钢   | 主编：刘其贤教授 | 刘占阳教授 高红梅教授 |
| 第7篇  | 先进树脂基复合材料        | 主编：杨乃滨教授 |             |
| 第8篇  | 热塑性聚合物基复合材料      | 主编：张 忠教授 | 傅绍云教授       |
| 第9篇  | 金属基复合材料          | 主编：耿 林教授 | 吴 昆教授       |
| 第10篇 | 陶瓷（玻璃）基复合材料      | 主编：张立同院士 | 黄 勇教授       |
| 第11篇 | 碳基复合材料           | 主编：张立同院士 | 李贺军教授       |
| 第12篇 | 水泥基复合材料          | 主编：吴科如教授 |             |
| 第13篇 | 复合材料力学问题与设计      | 主编：杜善义院士 | 梁 军教授       |
| 第14篇 | 复合材料结构设计与分析      | 主编：沈 真教授 |             |
| 第15篇 | 复合材料性能实验、表征与质量控制 | 主编：张佐光教授 | 张子龙教授       |
| 第16篇 | 功能复合材料与新型复合材料    | 主编：刘献明教授 | 傅绍云教授 张 忠教授 |

### 第11、12、13卷 信息功能材料工程（上、中、下）

主编：王占国院士 陈立泉院士 屠海令教授

|      |               |           |             |
|------|---------------|-----------|-------------|
| 第1篇  | 概论            | 主编：王占国院士  |             |
| 第2篇  | 半导体硅材料        | 主编：杨德仁教授  |             |
| 第3篇  | 集成电路制造技术      | 主编：吴德馨院士  | 刘 明研究员      |
| 第4篇  | 硅基异质结构材料和器件   | 主编：余金中研究员 |             |
| 第5篇  | 化合物半导体材料      | 主编：屠海令教授  | 赵有文研究员      |
| 第6篇  | 宽带隙半导体及其应用    | 主编：郑有蚪院士  |             |
| 第7篇  | 半导体低维结构和量子器件  | 主编：陈涌海研究员 | 叶小玲教授 王占国院士 |
| 第8篇  | 存储材料          | 主编：顾冬红研究员 | 吴谊群研究员      |
| 第9篇  | 显示材料          | 主编：邱 勇教授  | 应根裕教授       |
| 第10篇 | 通信光纤材料及其工艺    | 主编：赵梓森院士  |             |
| 第11篇 | 全固态激光器及相关材料   | 主编：许祖彦院士  | 沈德忠院士       |
| 第12篇 | 稀土磁性材料与自旋电子材料 | 主编：刘治国教授  |             |
| 第13篇 | 超导材料          | 主编：陈立泉院士  | 靳常青教授       |
| 第14篇 | 传感器材料         | 主编：陈治明教授  | 雷天民教授       |
| 第15篇 | 红外材料          | 主编：储君浩教授  |             |

|      |             |                 |
|------|-------------|-----------------|
| 第16篇 | 先进储能材料      | 主编: 陈立泉院士       |
| 第17篇 | 一维纳米材料和纳米结构 | 主编: 张立德教授 解思深院士 |
| 第18篇 | 发光材料        | 主编: 石春山研究员      |
| 第19篇 | 微加工技术       | 主编: 冯 稷教授       |
| 第20篇 | 光子晶体        | 主编: 张道中教授       |

### 第14卷 粉末冶金材料工程

主编: 韩凤麟教授 马福康教授 曹勇家教授

|     |               |                       |
|-----|---------------|-----------------------|
| 第1篇 | 概论            | 主编: 韩凤麟教授             |
| 第2篇 | 金属粉末生产与特性     | 主编: 韩凤麟教授 夏志华教授       |
| 第3篇 | 金属粉末性能测试与相应标准 | 主编: 张晋远教授             |
| 第4篇 | 成形与固结         | 主编: 果世驹教授             |
| 第5篇 | 后续加工与质量控制     | 主编: 贾成厂教授             |
| 第6篇 | 粉末冶金材料        | 主编: 曹勇家教授 马福康教授 易建宏教授 |
| 第7篇 | 粉末冶金材料应用与新发展  | 主编: 王尔德教授 韩凤麟教授       |

### 第15卷 材料热处理工程

主编: 樊东黎教授 潘健生院士 徐跃明研究员 佟晓辉研究员

|     |                 |            |
|-----|-----------------|------------|
| 第1篇 | 概论              | 主编: 樊东黎教授  |
| 第2篇 | 材料热处理技术基础       | 主编: 樊东黎教授  |
| 第3篇 | 材料热处理工艺         | 主编: 徐跃明研究员 |
| 第4篇 | 热处理设备           | 主编: 佟晓辉研究员 |
| 第5篇 | 材料热处理           | 主编: 徐跃明研究员 |
| 第6篇 | 热处理 CAD/CAM/CAE | 主编: 潘健生院士  |
| 第7篇 | 热处理清洁生产和安全      | 主编: 樊东黎教授  |
| 第8篇 | 热处理质量控制与无损检测    | 主编: 佟晓辉研究员 |

### 第16、17卷 材料表面工程 (上、下)

主编: 徐滨士院士 刘世参教授

|      |                 |                   |
|------|-----------------|-------------------|
| 第1篇  | 概论              | 主编: 徐滨士院士 刘世参教授   |
| 第2篇  | 材料服役中表面的失效行为及防治 | 主编: 涂善东教授         |
| 第3篇  | 表面覆层形成与结合机理     | 主编: 徐滨士院士 朱绍华教授   |
| 第4篇  | 涂装              | 主编: 吴 行教授         |
| 第5篇  | 热喷涂             | 主编: 徐滨士院士 李长久教授   |
| 第6篇  | 堆焊              | 主编: 董祖珏教授         |
| 第7篇  | 电镀与电刷镀          | 主编: 马世宁教授         |
| 第8篇  | 化学镀与转化膜技术       | 主编: 姜晓霞研究员 董首山研究员 |
| 第9篇  | 化学热处理           | 主编: 董汉山教授         |
| 第10篇 | 热浸镀             | 主编: 刘邦津教授         |
| 第11篇 | 气相沉积技术及功能薄膜材料制备 | 主编: 吕反修教授         |
| 第12篇 | 高能束表面处理技术       | 主编: 左铁钊教授         |
| 第13篇 | 纳米表面工程          | 主编: 徐滨士院士         |
| 第14篇 | 封存与包装           | 主编: 梁志杰高工         |
| 第15篇 | 表面工程技术设计        | 主编: 徐滨士院士 朱绍华教授   |
| 第16篇 | 表面工程质量控制与检测     | 主编: 史耀武教授         |

### 第18、19卷 材料铸造成形工程 (上、下)

主编: 柳百成院士 黄天佑教授

|     |            |           |
|-----|------------|-----------|
| 第1篇 | 概论         | 主编: 柳百成院士 |
| 第2篇 | 铸造合金及其熔炼   | 主编: 邢建东教授 |
| 第3篇 | 铸造成形工艺技术基础 | 主编: 郭景杰教授 |
| 第4篇 | 砂型铸造       | 主编: 黄天佑教授 |
| 第5篇 | 特种铸造       | 主编: 姜不居教授 |

|     |              |          |
|-----|--------------|----------|
| 第6篇 | 铸造成形 CAD/CAE | 主编：熊守美教授 |
| 第7篇 | 铸造生产质量检测及控制  | 主编：黄天佑教授 |

## 第20、21卷 材料塑性成形工程（上、下）

主编：胡正寰院士 夏巨谟教授

|      |              |          |             |
|------|--------------|----------|-------------|
| 第1篇  | 概论           | 主编：夏巨谟教授 | 张金教授        |
| 第2篇  | 锻造成形         | 主编：夏巨谟教授 | 郭会光教授       |
| 第3篇  | 板料冲压成形       | 主编：杨合教授  | 华林教授 刘郁丽教授  |
| 第4篇  | 板型管轧制成形      | 主编：张杰教授  | 杨海波教授 施东成教授 |
|      |              | 陈南宁教授    |             |
| 第5篇  | 零件轧制成形       | 主编：胡正寰院士 | 华林教授        |
| 第6篇  | 特种锻造         | 主编：王高潮教授 |             |
| 第7篇  | 板管特种成形       | 主编：李明哲教授 | 蔡中义教授       |
| 第8篇  | 型材挤压成形       | 主编：夏巨谟教授 | 闫洪教授        |
| 第9篇  | 塑性成形 CAD/CAM | 主编：李志刚教授 |             |
| 第10篇 | 塑性成形质量控制与检测  | 主编：吕炎教授  |             |

## 第22、23卷 材料焊接工程（上、下）

主编：史耀武教授

|     |               |          |       |
|-----|---------------|----------|-------|
| 第1篇 | 概论            | 主编：史耀武教授 |       |
| 第2篇 | 材料焊接加工技术基础    | 主编：史耀武教授 |       |
| 第3篇 | 焊接方法与设备       | 主编：史耀武教授 | 殷树言教授 |
| 第4篇 | 材料焊接          | 主编：史耀武教授 | 任家烈教授 |
| 第5篇 | 焊接生产过程自动化     | 主编：蒋力培教授 |       |
| 第6篇 | 焊接结构设计        | 主编：陈祝年教授 |       |
| 第7篇 | 焊接结构制造        | 主编：史耀武教授 |       |
| 第8篇 | 焊接生产质量管理与无损检测 | 主编：解应龙教授 |       |
| 第9篇 | 焊接结构服役与再制造    | 主编：史耀武教授 |       |

## 第24、25卷 材料特种加工成形工程（上、下）

主编：王至尧研究员

|     |              |          |             |
|-----|--------------|----------|-------------|
| 第1篇 | 概论           | 主编：齐从谦教授 |             |
| 第2篇 | 材料电火花成形加工技术  | 主编：刘晋春教授 | 白基成教授 郭永丰教授 |
| 第3篇 | 材料数控电火花线切割技术 | 主编：李明辉教授 |             |
| 第4篇 | 材料电化学加工技术    | 主编：徐家文教授 |             |
| 第5篇 | 材料高能束流加工技术   | 主编：王亚军教授 |             |
| 第6篇 | 快速原型与快速制造    | 主编：颜永年教授 |             |
| 第7篇 | 电加工机床质量控制与检测 | 主编：连克仁教授 |             |

## 第26卷 材料表征与检测技术

主编：徐祖耀院士 黄本立院士 鄢国强教授

|      |                 |          |       |        |
|------|-----------------|----------|-------|--------|
| 第1篇  | 概论              | 主编：徐祖耀院士 | 黄本立院士 | 陈文哲教授  |
|      |                 | 鄢国强教授    | 朱万森教授 |        |
| 第2篇  | 化学成分分析方法        | 主编：黄本立院士 | 吴诚教授  | 方禹之教授  |
|      |                 | 邱德仁教授    | 吴性良教授 |        |
| 第3篇  | 常用材料化学成分分析      | 主编：鄢国强教授 | 马冲先教授 | 卓尚军研究员 |
| 第4篇  | 材料物理性能测试        | 主编：陈文哲教授 | 李强教授  |        |
| 第5篇  | 材料力学性能测试        | 主编：陈文哲教授 | 陈运远教授 | 杨晓华教授  |
| 第6篇  | 材料化学性能测试        | 主编：杨武教授  | 李光福教授 |        |
| 第7篇  | 金相分析            | 主编：唐汝钧教授 | 李晋教授  |        |
| 第8篇  | 无损检测            | 主编：王务同教授 | 杨晓华教授 |        |
| 第9篇  | X射线衍射分析         | 主编：漆玄教授  | 蒋建中教授 |        |
| 第10篇 | 电子显微分析          | 主编：陈世朴教授 | 孙坚教授  |        |
| 第11篇 | 核技术分析及其他检测与表征技术 | 主编：陈世朴教授 | 梁齐教授  |        |

# 目 录

|                                    |    |                               |    |
|------------------------------------|----|-------------------------------|----|
| <b>第6篇 晶体材料</b> .....              | 1  | 2 水热法生长晶体 .....               | 52 |
| <b>第1章 晶体结构与形态</b> .....           | 3  | 2.1 水热法 .....                 | 52 |
| 1 晶体格子构造 .....                     | 5  | 2.2 高温高压下水溶液热力学特性 .....       | 52 |
| 2 晶体的对称 .....                      | 5  | 2.3 水热生长晶体动力学 .....           | 53 |
| 2.1 晶体的几何形态与对称 .....               | 5  | 2.4 水热法生长晶体缺陷 .....           | 55 |
| 2.2 对称点群 .....                     | 5  | 2.5 水热法制备纳米晶 .....            | 55 |
| 3 晶格结构与结晶形态 .....                  | 8  | 3 助熔剂法生长晶体 .....              | 56 |
| 3.1 金属晶格与结晶的形态 .....               | 8  | 3.1 助熔剂的选择 .....              | 56 |
| 3.2 离子晶格与结晶形态 .....                | 9  | 3.2 助熔剂生长方法 .....             | 56 |
| 3.3 原子晶格与结晶形态 .....                | 9  | 3.3 助熔剂生长晶体的溶液结构与晶体生长习性 ..... | 57 |
| 3.4 分子晶格与晶体形态 .....                | 9  | 4 熔体提拉法 .....                 | 58 |
| 4 七个晶系晶体结晶形态与定向 .....              | 10 | 5 坩埚下降法 .....                 | 60 |
| 4.1 等轴晶系 .....                     | 11 | 6 外延生长技术 .....                | 61 |
| 4.2 六方晶系 .....                     | 11 | 7 区熔法 .....                   | 61 |
| 4.3 三方晶系 .....                     | 12 | 8 焰熔法 .....                   | 62 |
| 4.4 四方晶系 .....                     | 13 | <b>第4章 非线性光学晶体</b> .....      | 63 |
| 4.5 斜方晶系 .....                     | 13 | 1 非线性光学晶体的理论基础 .....          | 63 |
| 4.6 单斜晶系 .....                     | 14 | 1.1 晶体的非线性光学效应 .....          | 63 |
| 4.7 三斜晶系 .....                     | 14 | 1.2 参量过程和非参量过程 .....          | 63 |
| 5 晶体结晶形态的多变性 .....                 | 15 | 1.3 非线性电极化率的增强 .....          | 64 |
| 6 晶体形态的结晶化学基础 .....                | 16 | 1.4 位相匹配 .....                | 64 |
| 6.1 晶体构型与化学键 .....                 | 16 | 1.5 角度位相匹配 .....              | 64 |
| 6.2 负离子配位多面体在晶体中的结晶方位与晶体结晶形态 ..... | 17 | 1.6 温度位相匹配 .....              | 65 |
| <b>第2章 晶体生长基础</b> .....            | 30 | 1.7 光学混频 .....                | 66 |
| 1 生长界面结构的动力学转换效应 .....             | 30 | 1.8 光学参量放大和参量振荡 .....         | 66 |
| 1.1 生长机理的理论研究 .....                | 30 | 1.9 三阶非线性光学效应 .....           | 66 |
| 1.2 水杨酸苯酯的新实验数据 .....              | 30 | 1.10 光折变效应 .....              | 66 |
| 1.3 晶体生长过程的光学实时观测研究 .....          | 31 | 2 磷酸盐晶体 .....                 | 67 |
| 2 晶体生长中的流体运动效应 .....               | 32 | 2.1 磷酸二氢钾晶体 .....             | 67 |
| 2.1 质量传输过程 .....                   | 32 | 2.2 磷酸二氘钾晶体 .....             | 68 |
| 2.2 动量传输过程 .....                   | 34 | 2.3 磷酸钛氧钾晶体 .....             | 68 |
| 2.3 热量传输过程 .....                   | 35 | 3 $\alpha$ -磷酸锂晶体 .....       | 69 |
| 2.4 流体非稳态传输过程 .....                | 36 | 4 硼酸盐晶体 .....                 | 69 |
| 3 晶体形态稳定性 .....                    | 37 | 4.1 $\beta$ -偏硼酸钡晶体 .....     | 69 |
| 3.1 晶体形态稳定性与生长机制 .....             | 38 | 4.2 三硼酸锂晶体 .....              | 71 |
| 3.2 实时观察方法研究界面稳定性 .....            | 38 | 4.3 四硼酸锂晶体 .....              | 72 |
| 3.3 晶体形态的 Monte Carlo 模拟 .....     | 38 | 5 铈酸盐晶体 .....                 | 73 |
| 3.4 晶体形态稳定性与扩散效应 .....             | 38 | 5.1 铈酸盐晶体 .....               | 73 |
| 3.5 对流效应对晶体界面非稳定性的影响 .....         | 39 | 5.2 铈酸钾晶体 .....               | 75 |
| 4 负离子配位多面体生长基元理论模型及其应用 .....       | 40 | 5.3 铈酸钾锂晶体 .....              | 75 |
| 4.1 模型的结晶化学基础 .....                | 40 | 5.4 钽铈酸钾晶体 .....              | 76 |
| 4.2 模型的结晶学基础 .....                 | 40 | 5.5 铈酸镱晶体 .....               | 77 |
| 4.3 模型的实验基础 .....                  | 40 | 6 钛酸盐晶体 .....                 | 78 |
| 4.4 模型的稳定能计算 .....                 | 41 | 6.1 钛酸钡晶体 .....               | 78 |
| 4.5 模型在晶体生长中的作用 .....              | 43 | 7 准位相匹配材料 .....               | 78 |
| <b>第3章 晶体生长方法</b> .....            | 48 | 7.1 准位相匹配技术的基本原理 .....        | 79 |
| 1 水溶液法生长晶体 .....                   | 48 | 7.2 准位相匹配材料的制备 .....          | 79 |
| 1.1 溶液溶解度与饱和度 .....                | 48 | 7.3 准位相匹配技术的优缺点 .....         | 79 |
| 1.2 晶体生长平衡态 .....                  | 48 | 8 半导体型非线性光学晶体 .....           | 79 |
| 1.3 晶体生长方法简介 .....                 | 48 | 8.1 体型半导体非线性光学晶体 .....        | 79 |
| 1.4 晶体的生长形态与籽晶取向和杂质影响 .....        | 50 | 8.2 量子阱结构材料和超晶格材料 .....       | 82 |
| 1.5 水溶液法晶体生长习性机理实例 .....           | 50 | 9 有机非线性光学晶体 .....             | 82 |
|                                    |    | 9.1 L-精氨酸磷酸盐晶体 .....          | 83 |

|                                                                    |     |                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.2 酰胺类尿素晶体 .....                                                  | 83  | 3 光学晶体的分类 .....                                                                                                        | 136 |
| 9.3 苯基衍生物晶体 .....                                                  | 84  | 4 光学晶体的发展 .....                                                                                                        | 139 |
| 9.4 吡啶衍生物晶体 .....                                                  | 85  | <b>第9章 热释电晶体</b> .....                                                                                                 | 141 |
| 9.5 酮衍生物晶体 .....                                                   | 85  | 1 热释电晶体 .....                                                                                                          | 141 |
| <b>10 紫外、深紫外非线性光学晶体</b> .....                                      | 86  | 2 晶体热释电系数及其优值因子 .....                                                                                                  | 141 |
| 10.1 KBBF 晶体 .....                                                 | 86  | 3 热释电晶体材料 .....                                                                                                        | 142 |
| 10.2 KABO 晶体 .....                                                 | 87  | 3.1 TGS[(NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH) <sub>3</sub> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]单晶系列 .....                 | 142 |
| <b>第5章 铁电和压电晶体</b> .....                                           | 89  | 3.2 钽酸锂和铌酸锂晶体 .....                                                                                                    | 143 |
| 1 压电与铁电晶体的基础 .....                                                 | 89  | 3.3 正方钨青铜型结构的晶体 .....                                                                                                  | 143 |
| 1.1 晶体的物理性能与宏观对称性 .....                                            | 89  | 3.4 铌镁酸铅钛酸铅 (PMNT) 弛豫铁电体单晶 .....                                                                                       | 143 |
| 1.2 晶体介电性的基础 .....                                                 | 90  | <b>第10章 激光晶体</b> .....                                                                                                 | 145 |
| 1.3 晶体弹性的基础 .....                                                  | 90  | 1 固体激光工作物质概述 .....                                                                                                     | 145 |
| 1.4 晶体的铁电性 .....                                                   | 93  | 2 固体激光工作物质的光谱性质 .....                                                                                                  | 147 |
| 1.5 压电方程 .....                                                     | 95  | 3 固体激光工作物质的基本要求 .....                                                                                                  | 148 |
| <b>2 铁电和压电晶体的介绍</b> .....                                          | 96  | 4 氧化铝晶体为基质的激光晶体 .....                                                                                                  | 148 |
| 2.1 PMNT 和 PZNT 晶体 .....                                           | 96  | 4.1 掺铬氧化铝晶体 (红宝石) .....                                                                                                | 148 |
| 2.2 BaTiO <sub>3</sub> 晶体 .....                                    | 101 | 4.2 掺钛氧化铝晶体 (掺钛蓝宝石) .....                                                                                              | 149 |
| 2.3 LiNbO <sub>3</sub> 和 LiTaO <sub>3</sub> 晶体 .....               | 103 | <b>5 YAG 系列晶体为基质的激光晶体</b> .....                                                                                        | 150 |
| 2.4 钨青铜结构晶体 .....                                                  | 105 | 5.1 掺稀土离子石榴石晶体 .....                                                                                                   | 150 |
| 2.5 水溶性铁电晶体 .....                                                  | 106 | 5.2 掺稀土铝酸钇晶体 .....                                                                                                     | 153 |
| <b>3 非铁电性压电晶体</b> .....                                            | 108 | <b>6 氟化物晶体为基质的激光晶体</b> .....                                                                                           | 155 |
| 3.1 SiO <sub>2</sub> 晶体 .....                                      | 108 | 6.1 掺稀土离子氟化物晶体 .....                                                                                                   | 155 |
| 3.2 ZnO 晶体 .....                                                   | 110 | 6.2 掺过渡金属离子氟化物晶体 .....                                                                                                 | 157 |
| 3.3 α-LiIO <sub>3</sub> 晶体 .....                                   | 111 | <b>7 钽酸盐晶体为基质的激光晶体</b> .....                                                                                           | 158 |
| 3.4 LGS 晶体 .....                                                   | 112 | <b>8 色心激光晶体</b> .....                                                                                                  | 159 |
| 3.5 四硼酸锂 (Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) 晶体 ..... | 113 | 8.1 F <sub>2</sub> 色心 .....                                                                                            | 161 |
| 3.6 磷酸铝 (α-AlPO <sub>4</sub> ) 和 GaPO <sub>4</sub> 晶体 .....        | 113 | 8.2 F <sub>2</sub> <sup>+</sup> 色心 .....                                                                               | 161 |
| 3.7 锗酸铋 (Bi <sub>12</sub> GeO <sub>20</sub> ) 晶体 .....             | 114 | 8.3 F <sub>2</sub> <sup>-</sup> 色心 .....                                                                               | 161 |
| 3.8 压电晶体的结构与形成机理 .....                                             | 115 | <b>9 其他重要的激光晶体</b> .....                                                                                               | 162 |
| <b>第6章 电光晶体</b> .....                                              | 117 | 9.1 掺铬铝酸铍晶体 (BeAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ; Cr <sup>3+</sup> ) .....                                               | 162 |
| 1 电光效应的理论基础 .....                                                  | 117 | 9.2 氟磷酸盐晶体 .....                                                                                                       | 162 |
| 1.1 线性电光效应 .....                                                   | 117 | 9.3 掺铬镁橄榄石晶体 .....                                                                                                     | 164 |
| 1.2 二次电光效应 .....                                                   | 117 | 9.4 掺铬氟铝酸盐晶体 .....                                                                                                     | 165 |
| 1.3 电光系数的测量 .....                                                  | 117 | <b>10 自倍频激光晶体</b> .....                                                                                                | 166 |
| 1.4 电光效应的应用 .....                                                  | 117 | 10.1 四硼酸铝钇钽晶体 .....                                                                                                    | 166 |
| 1.5 电光晶体的一般要求 .....                                                | 119 | 10.2 掺铈三硼氧酸钪钙晶体 (Ca <sub>3</sub> GdO(BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> :Nd <sup>3+</sup> , GdCOB:Nd <sup>3+</sup> ) ..... | 166 |
| <b>2 KDP 族晶体</b> .....                                             | 119 | <b>第11章 闪烁晶体</b> .....                                                                                                 | 169 |
| <b>3 ABO<sub>3</sub> 型晶体</b> .....                                 | 120 | 1 闪烁晶体在高能物理上的应用 .....                                                                                                  | 169 |
| 3.1 LiNbO <sub>3</sub> 和 LiTaO <sub>3</sub> 晶体 .....               | 120 | 2 闪烁晶体在医学应用领域 .....                                                                                                    | 170 |
| 3.2 立方晶系钙钛矿型晶体 .....                                               | 121 | 2.1 X 射线成像 .....                                                                                                       | 170 |
| 3.3 钨青铜型晶体 .....                                                   | 122 | 2.2 γ 射线照相机 .....                                                                                                      | 170 |
| <b>4 AB 型晶体</b> .....                                              | 123 | 2.3 X 射线层面照相术 .....                                                                                                    | 170 |
| <b>5 杂类晶体</b> .....                                                | 124 | 2.4 正电子发射断层扫描 (Positron Emission Tomography, PET) .....                                                                | 170 |
| <b>第7章 声光晶体</b> .....                                              | 127 | 2.5 医学成像技术对闪烁晶体的性能要求 .....                                                                                             | 170 |
| 1 声光效应的理论 .....                                                    | 127 | 2.6 PET 用新型闪烁体的研发状况 .....                                                                                              | 171 |
| 1.1 两种衍射类型 .....                                                   | 127 | <b>3 闪烁晶体发光机制</b> .....                                                                                                | 171 |
| 1.2 正常和异常声光效应 .....                                                | 127 | <b>4 闪烁晶体性能特征指标</b> .....                                                                                              | 172 |
| 1.3 声光系数的测量 .....                                                  | 127 | <b>5 钨酸铅晶体 (PWO)</b> .....                                                                                             | 173 |
| 1.4 声光效应的应用 .....                                                  | 127 | 5.1 PbWO <sub>4</sub> 晶体结构 .....                                                                                       | 173 |
| 1.5 声光晶体的品质因数 .....                                                | 129 | 5.2 钨酸铅晶体形态 .....                                                                                                      | 174 |
| <b>2 声光晶体</b> .....                                                | 129 | 5.3 PWO 晶体的发光中心与发光机制 .....                                                                                             | 174 |
| <b>第8章 光学晶体</b> .....                                              | 131 | 5.4 PWO 晶体的闪烁特性 .....                                                                                                  | 176 |
| 1 光在介质中的传播 .....                                                   | 131 | 5.5 PWO 晶体光学性能的各向异性效应 .....                                                                                            | 178 |
| 1.1 材料的折射率 .....                                                   | 131 | 5.6 PWO 晶体掺杂研究 .....                                                                                                   | 181 |
| 1.2 材料对光的吸收 .....                                                  | 131 | 5.7 坩埚下降法生长 PWO 晶体 .....                                                                                               | 181 |
| 1.3 光的色散 .....                                                     | 132 |                                                                                                                        |     |
| 1.4 非线性折射率 .....                                                   | 132 |                                                                                                                        |     |
| <b>2 光学晶体的应用及对光学介质材料的要求</b> .....                                  | 132 |                                                                                                                        |     |

|                                           |     |                           |     |
|-------------------------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 5.8 提拉法生长 PWO 晶体 .....                    | 182 | 5.4 石榴石 .....             | 218 |
| 6 锗酸铋晶体 (BGO) .....                       | 182 | 5.5 橄榄石 .....             | 219 |
| 6.1 BGO 晶体的特征和主要用途 .....                  | 183 | 5.6 黄玉 .....              | 220 |
| 6.2 BGO 晶体的闪烁性能 .....                     | 183 | 5.7 电气石 .....             | 220 |
| 6.3 BGO 晶体发光机理 .....                      | 184 | 5.8 长石 .....              | 221 |
| 6.4 BGO 晶体的辐照损伤 .....                     | 184 | 6 玉石 .....                | 221 |
| 6.5 BGO 晶体掺质研究 .....                      | 186 | 6.1 翡翠 .....              | 221 |
| 6.6 BGO: La 晶体在室温下的闪烁特性 .....             | 186 | 6.2 软玉 .....              | 222 |
| 6.7 BGO 晶体的生长方法和工艺 .....                  | 188 | 6.3 蛇纹石玉 .....            | 222 |
| 6.8 晶体结构与表面形貌 .....                       | 189 | 6.4 合成玉石 .....            | 222 |
| 6.9 晶体缺陷 .....                            | 191 | 参考文献 .....                | 224 |
| 7 碘化铯 CsI (Tl) 晶体 .....                   | 194 | 第7篇 无机涂层材料 .....          | 227 |
| 7.1 CsI (Tl) 晶体光致发光 .....                 | 195 | 第1章 概述 .....              | 229 |
| 7.2 CsI (Tl) 晶体光产额 .....                  | 195 | 1 涂料的定义及其特性 .....         | 229 |
| 7.3 CsI (Tl) 晶体 X 射线激发的发射光谱 .....         | 195 | 2 无机涂料的作用和地位 .....        | 230 |
| 7.4 Tl 在 CsI 晶体中的分布 .....                 | 195 | 3 无机涂料国内外发展近况及趋势 .....    | 230 |
| 7.5 Tl 在大尺寸 CsI (Tl) 晶体中分布与发光均匀性的关系 ..... | 197 | 第2章 无机涂层材料与涂层 .....       | 233 |
| 7.6 晶体表面抛光对 CsI (Tl) 晶体光产额与均匀性的影响 .....   | 197 | 1 等离子体喷涂陶瓷涂层材料 .....      | 233 |
| 7.7 晶体形状与表面处理对光产额均匀性影响 .....              | 198 | 1.1 等离子体喷涂涂层工艺 .....      | 233 |
| 7.8 晶体的包装对光产额的影响 .....                    | 199 | 1.2 热阻涂层 .....            | 233 |
| 7.9 晶体表面条件优化对晶体闪烁性能的改善 .....              | 199 | 1.3 耐磨涂层 .....            | 235 |
| 7.10 CsI (Tl) 晶体的热释光研究 .....              | 199 | 1.4 医用生物涂层 .....          | 236 |
| 8 氟化铅晶体 (PbF <sub>2</sub> ) .....         | 199 | 1.5 电解水电极涂层 .....         | 238 |
| 8.1 PbF <sub>2</sub> 晶体结构与相变 .....        | 199 | 2 航天器热控涂层 .....           | 240 |
| 8.2 氟化物晶体生长概述 .....                       | 200 | 3 电致变色涂层 (薄膜) .....       | 242 |
| 8.3 PbF <sub>2</sub> 晶体的生长 .....          | 201 | 4 太阳选择性吸收涂层 .....         | 243 |
| 8.4 PbF <sub>2</sub> 晶体缺陷 .....           | 201 | 5 其他涂层 .....              | 243 |
| 8.5 PbF <sub>2</sub> 晶体缺陷特征 .....         | 202 | 5.1 隐身涂层 .....            | 243 |
| 8.6 PbF <sub>2</sub> 晶体的光吸收 .....         | 204 | 5.2 红外辐射涂层 .....          | 244 |
| 8.7 掺质氟化铅晶体的发光特征 .....                    | 205 | 5.3 高温抗氧化涂层 .....         | 244 |
| 9 硅酸镨晶体 (LSO) .....                       | 206 | 5.4 导电涂层 .....            | 244 |
| 9.1 LSO 晶体闪烁性能 .....                      | 207 | 第3章 无机涂料分类和合成 .....       | 245 |
| 9.2 LSO 晶体生长 .....                        | 208 | 1 无机涂料的分类 .....           | 245 |
| 第12章 宝石晶体 .....                           | 209 | 1.1 纯无机基料及其涂料 .....       | 245 |
| 1 金刚石晶体 .....                             | 209 | 1.2 有机-无机复合树脂及其涂料 .....   | 251 |
| 1.1 物理化学特征 .....                          | 209 | 2 纳米组成涂料或纳米结构涂料 .....     | 256 |
| 1.2 成因、产地 .....                           | 209 | 参考文献 .....                | 258 |
| 1.3 经济评价标准 .....                          | 209 | 第8篇 耐火材料 .....            | 259 |
| 1.4 质量改善 .....                            | 210 | 第1章 耐火材料基础 .....          | 261 |
| 1.5 合成金刚石 .....                           | 210 | 1 耐火材料的分类 .....           | 261 |
| 1.6 金刚石相似品 .....                          | 211 | 1.1 按化学属性分类 .....         | 261 |
| 2 刚玉类晶体 .....                             | 212 | 1.2 按化学矿物组成分类 .....       | 261 |
| 2.1 天然红宝石、蓝宝石 .....                       | 212 | 1.3 其他分类方法 .....          | 262 |
| 2.2 人工改善 .....                            | 213 | 2 耐火材料的组成、结构与性质 .....     | 262 |
| 2.3 合成刚玉 .....                            | 213 | 2.1 耐火材料的化学-矿物组成 .....    | 262 |
| 3 绿柱石晶体 .....                             | 214 | 2.2 耐火材料的显微结构 .....       | 262 |
| 3.1 天然绿柱石 .....                           | 214 | 2.3 耐火材料的常温物理性质 .....     | 263 |
| 3.2 人工改善 .....                            | 215 | 2.4 耐火材料的热学性质和导电性质 .....  | 263 |
| 3.3 合成绿柱石晶体 .....                         | 215 | 2.5 耐火材料的力学性质 .....       | 264 |
| 4 金绿宝石 .....                              | 216 | 2.6 耐火材料的高温使用性质 .....     | 265 |
| 4.1 天然金绿宝石 .....                          | 216 | 2.7 抗渣蚀性能 .....           | 266 |
| 4.2 合成金绿宝石 .....                          | 216 | 3 耐火材料的外形尺寸准确性及外观缺陷 ..... | 267 |
| 5 中档宝石 .....                              | 216 | 4 耐火材料的制造工艺概述 .....       | 267 |
| 5.1 水晶 .....                              | 216 | 4.1 原材料的加工制造 .....        | 267 |
| 5.2 尖晶石 .....                             | 217 | 4.2 耐火原料的破粉碎 .....        | 277 |
| 5.3 锆石 .....                              | 217 | 4.3 坯料的制备 .....           | 277 |
|                                           |     | 4.4 成形 .....              | 278 |