



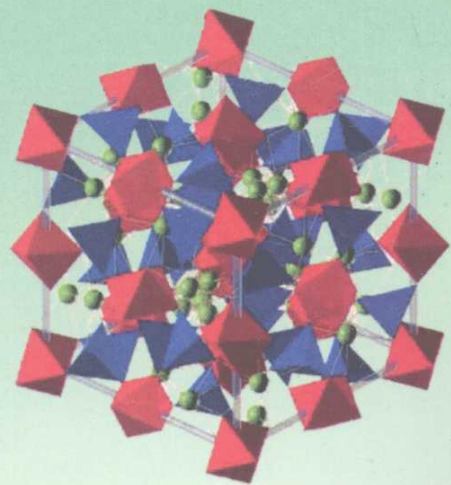
“材料科学基础”国家级精品课程教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
教育部高等教育百门精品课程教材建设计划立项研究项目
普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

Fundamentals of Materials Science

材料科学基础

(第2版)

张联盟 黄学辉 宋晓岚 编



WUTP

武汉理工大学出版社

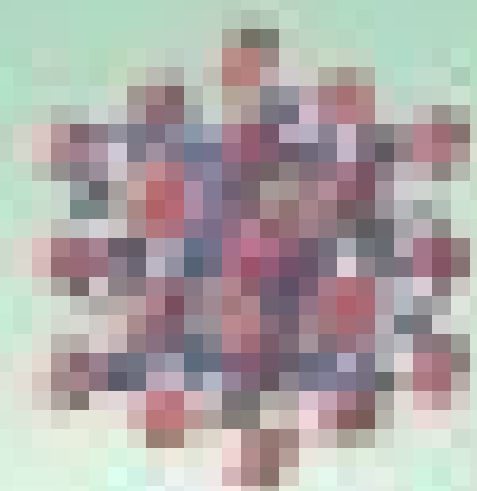
Wuhan University of Technology Press



THE UNIVERSITY OF THE SOUTH ALABAMA

1990-1991

THE UNIVERSITY OF THE SOUTH ALABAMA



USATF

ALABAMA STATE FOOTBALL ASSOCIATION
ALABAMA STATE FOOTBALL ASSOCIATION

“材料科学基础”国家级精品课程教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
教育部高等教育百门精品课程教材建设计划立项研究项目
普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

Fundamentals of Materials Science

材料科学基础

(第2版)

张联盟 黄学辉 宋晓岚 编

Wuhan University of Technology Press
武汉理工大学出版社

【内容简介】

“材料科学基础”是高等学校材料科学与工程一级学科专业课程体系中的一门重要的学科基础课程。《材料科学基础》是教育部高等教育百门精品课程教材建设计划立项研究项目教材,是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是“材料科学基础”国家级精品课程教材。

本书主要从一级学科层次上阐述材料的组成与结构、制备与加工、性质、使用性能等材料科学与工程主要要素之间的相互关系及其制约规律。全书主要包括12章内容:材料引言、晶体结构、晶体结构缺陷、非晶态结构与性质、表面结构与性质、相平衡与相图、基本动力学过程——扩散、材料中的相变、材料制备中的固态反应、烧结、腐蚀与氧化、疲劳与断裂等。

本书可供高等学校材料科学与工程一级学科(本科)专业的学科基础课程教学使用,也可作为二级学科专业的学科基础课程教材使用,同时还可作为材料类相关专业工程技术人员阅读参考书。

关于本教材多媒体教学课件的阅读与获取,请读者访问武汉理工大学国家级精品课程“材料科学基础”网站(<http://202.114.88.54/new/jw03/index.htm>)。

图书在版编目(CIP)数据

材料科学基础/张联盟,黄学辉,宋晓岚编. —2版. —武汉:武汉理工大学出版社,2008.8

“材料科学基础”国家级精品课程教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

教育部高等教育百门精品课程教材建设计划立项研究项目

普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

ISBN 7-5629-2757-0

I. 材… II. ①张… ②黄… ③宋… III. 材料科学-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 134283 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市珞狮路122号 邮政编码:430070)

<http://www.techbook.com.cn> (理工图书网)

E-mail:tiandaoquan@126.com

印 刷:湖北省通山县九宫印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:39.25

插 页:1

字 数:1002千字

版 次:2008年8月第2版

印 次:2008年8月第3次印刷

印 数:7001~10000册

定 价:48.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

《材料科学基础》作者简介

张联盟 男,1955 年出生,博士,现任武汉理工大学材料学科首席教授,博士生导师、副校长,享受国务院政府津贴。1978 年毕业于武汉理工大学复合材料专业,1986 年获得硕士学位,1996 年获得日本东北大学材料科学博士学位。兼任中国硅酸盐学会特种陶瓷分会副理事长、湖北省硅酸盐学会理事长、教育部材料科学与工程专业教学指导委员会副主任委员(无机非金属材料工程专业分委员会主任委员)、国际梯度材料学术顾问委员会委员等。

主要研究领域与学术成就:从事无机非金属材料、梯度功能材料以及复合新技术的研究与开发,1994 年至今,多次担任梯度功能材料国内外学术会议主席,入选国家“百千万人才工程”第一、二层次人选。先后主持国家自然科学基金、国家 863 高技术计划、国家军工配套项目等 30 余项科研项目。发表学术论文 300 余篇,其中 150 余篇被 SCI 收录,出版著作 7 部,获得国家专利 7 项。先后获得“湖北省自然科学一等奖”等学术奖励 5 项以及“优秀留学回国人员”、“湖北省有突出贡献专家”等光荣称号。

主持国家级、省级教学改革项目 4 项,获得国家级教学成果二等奖 1 项、省级教学成果一等奖 2 项,主编“十五”、“十一五”国家级规划教材 2 部。担任“材料科学基础”国家级精品课负责人、“材料科学与工程”国家级实验教学示范中心主任、“材料科学与工程专业”国家级教学团队带头人。

黄学辉 男,1962 年 10 月出生,现任武汉理工大学三级教授,材料科学与工程学院院长助理。1984 年毕业于武汉理工大学材料科学专业,毕业后留校,从事材料科学与工程专业的教学与科研工作至今。是“材料科学基础”国家级精品课程、“材料科学与工程专业”国家级教学团队、“材料科学与工程”国家级特色专业等教育部教学质量工程建设项目执行负责人和骨干成员。

主要研究领域与学术成就:从事多孔材料制备及其功能效应、梯度复合材料领域的研究。在国内外学术刊物上发表学术论文 40 余篇,被 SCI、EI、ISTP 收录 7 篇次;获得湖北省科技进步奖 3 项;已授权国家发明专利 4 项。主持或参加教育部世行贷款、教育部“十五”教育科学规划课题、湖北省高等教育教学改革等项目 15 项,获得湖北省高等教育教学改革成果一等奖 1 项。主编教育部高等教育百门精品课程教材建设计划立项研究项目教材、普通高等教育“十一五”国家级规划教材《材料科学基础》1 部,《无机材料科学基础》1 部;参编普通高等教育“十五”国家级规划教材《材料科学》、《材料科学与工程基础》、《无机非金属材料实验》等教材 3 部。

主要讲授本科生课程:“无机材料物理性能”、“非晶态科学导论”、“无机材料物理化学”、“材料化学”和“材料科学基础”等;主要讲授研究生课程:“高等材料化学”、“晶体化学”和“材料动力学”等。

宋晓岚 女,1964 年 4 月出生,湖南省长沙市人,博士,现任中南大学教授,资源加工与生物工程学院副院长。教育部高校青年骨干教师,湖南省高校青年骨干教师,湖南省新世纪 121 人才工程(第二层次)入选者。

主要研究领域与学术成就:从事高性能无机功能材料的研究和开发,材料结构研究与性能表征、纳米材料合成与制备、纳米组装与纳米分散、化学机械抛光、矿物材料加工及复合材料制备。主持或参与国家军工配套、国家自然科学基金、国家计委、教育部高校青年骨干教师基金、湖南省自然科学基金,湖南省重点科技攻关、湖南省普通高校青年骨干教师基金等 20 余项科研课题,获得省(部)级科技奖励 5 项。在国内外学术刊物和国际会议上发表论文 70 余篇,被 SCI、EI 和 ISTP 收录 32 篇;申请国家发明专利 9 项,其中授权 3 项;出版著作 19 部。

主要讲授本科生课程:“无机材料科学基础”、“无机材料工艺学”、“无机材料物理性能”、“纳米材料”和“硅酸盐工厂设计及 CAD 技术”等;主讲研究生课程:“固体材料化学”、“材料合成与制备”、“微电子材料及加工”和“非晶态材料”等。

普通高等学校材料科学与工程类专业 新编系列教材编审委员会

顾 问：郭景坤 袁润章 范令惠 杨南如

胡道和 王民权 岳文海 曹文聪

主任委员：张联盟

副主任委员：徐德龙 郑治祥 雷绍锋

委 员：（以姓氏笔画为序）

万发荣 马保国 王国梅 王培铭 文梓芸

叶卫平 叶枝荣 叶 菁 田道全 曲祖元

刘亚云 刘 军 孙成林 吴建青 陈 文

宋晓岚 林宗寿 杨长辉 姜洪舟 钱觉时

钱春香 高建明 徐秋林 黄佳木 黄学辉

蒋 阳 程晓敏 程 新 谢峻林 曾令可

葛 勇 潘 伟 薛理辉

秘 书 长：田道全

总责任编辑：徐秋林

出版说明

材料是社会文明和科技进步的物质基础和先导,材料科学与能源科学、信息科学一并被列为现代科学技术的三大支柱,其发展水平已成为一个国家综合国力的主要标志之一。教育部颁布重新修订的《普通高等学校本科专业目录》后,为适应 21 世纪人才培养需要,及时组织并实施了面向 21 世纪高等工程教育内容和课程体系改革计划、世界银行贷款 21 世纪初高等理工科教育教学改革项目,部分高等学校承担了其中材料科学与工程专业教学改革项目的研究与实践。已经拓宽了专业面的材料科学与工程专业,相应的业务培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求,组织一套新的材料科学与工程专业系列教材已成为众多院校的翘首之盼。武汉理工大学出版社在教育部高等学校材料科学与工程专业教学指导委员会的指导和支持下,经过大量的调研,组织国内几十所大学材料科学与工程学科的知名教授组成“普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材编审委员会”,共同编写了这套系列教材。

本套教材的主、参编人员及编委会顾问,遵照教育部材料科学与工程专业教学指导委员会的有关会议及文件精神,经过充分研讨,决定首批编写出版 14 种主干课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。本套新编系列教材的编写具有以下特色:

教材体系体现人才培养目标——本套系列教材的编写体现了高等学校材料科学与工程专业的培养目标和教学要求,从整体上考虑材料科学与工程专业的课程设置和各门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时统一协调与整后合,组成一套完整的、各门课程有机联系的系列化教材。本套教材的编写除正文以外,还增加了本章内容提要、本章小结、思考题与习题等内容,以使教材既适合于教学需要,又便于学生自学。

教材内容反映教改成果——本套系列教材的编写坚持“少而精”的原则,紧跟教学内容和课程体系改革的步伐,教材内容注重更新,反映教学改革的阶段性成果,以适应 21 世纪材料科学与工程专业人才的培养要求。本套系列教材的编写中,凡涉及材料科学与工程学科的技术规范与标准,全部采用国家最新颁布实施的技术规范和标准。

教材出版实现立体化——本套教材努力使用和推广现代化的教学手段,实现立体化出版,凡具备条件的课程都将根据教学需要,及时组织编写、制作和出版相应的电子课件或教案,以适应教育方式的变革。

本套教材是在教育部颁布实施重新修订的本科专业目录后,组织全国多所高等学校材料科学与工程学科的具有丰富教学经验的教授们共同编写的一套面向新世纪、适应新专业的全新的系列教材。能够为新世纪我国材料科学与工程专业的教材建设贡献微薄之力,自是我们应尽的责任和义务,我们感到十分欣慰。然而,正因其为一套开创性的系列教材,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。嚶其鸣矣,求其友声,我们诚恳希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提宝贵的意见和建议,以便我们不断修改、完善全套教材,共同为我国高等教育事业的发展作出贡献。

前 言

(第 2 版)

《材料科学基础》为教育部高等教育百门精品课程教材建设计划立项研究项目教材,是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是配合“材料科学基础”国家级精品课程(2005 年)建设编写的教材。该教材是根据国家教育部“无机非金属材料工程专业规范”的知识领域、知识单元要求,参阅“材料科学与工程专业规范”要求,为满足材料科学与工程一级学科办学的学科基础课教学的实际需要编写的。主要从一级学科层次阐述材料的组成与结构、制备与加工、性质、使用性能等材料科学与工程主要要素之间的相互关系及其制约规律。

本教材于 2004 年 8 月出版第 1 版后,经过许多兄弟院校广大师生近四年的教学使用,结合高等教育材料科学与工程专业教学改革所取得的阶段性成果,吸取广大读者反馈的意见,经过修订后于 2008 年 8 月出版第 2 版。关于本教材多媒体教学课件的阅读与获取,请读者访问武汉理工大学国家级精品课程《材料科学基础》网站(<http://202.114.88.54/new/jw03/index.htm>)。

教材编写的宗旨在于:

尽力融合二级学科——无机非金属材料、金属材料、高分子材料等材料共性科学原理和方法,构建一级学科层次上阐述材料结构(包含电子结构、空间质点排列、显微结构或相结构等结构层次)、性质、性能相互关系以及静态、动态条件下解决材料设计、制备、加工等相关工程问题的科学基础;

在建立材料领域科学基础的同时,通过科学思维方法的训练,全面培养学生运用科学原理解决实际问题的工程能力;

通过教材内容的精选与组织,培养材料工作者既注重材料研究与开发的基础研发过程,又重视材料加工与服役中的性能变化及环境行为效应等材料使用过程的综合素质,使学生成为能够理解并调控材料开发-服役-消亡的整个材料循环过程的综合型人才。

教材编写的特色如下:

1. 在知识体系构建方面,教材内容较全面地涵盖了一级学科的基本内容。如阐述晶体微观结构时,涵盖了金属、无机非金属、高分子等典型材料的结构,既阐述不同材料结构上的共性,又突出地阐述无机非金属材料个性。在相平衡内容组织上,既突出无机非金属材料多相之间的平衡关系,又兼顾金属材料间的平衡问题;既描述热力学平衡状态下的问题,又兼顾非平衡条件下的显微结构形成。

2. 在内容组织方面,教材注重科学原理,强化工程意识。全书内容共性突出,个性分明,以材料制备及加工过程中的科学原理及共性规律为主线,兼顾材料服役中的环境行为效应,使科学和工程融为一体。

3. 在知识推介方面,教材突出认识论的规律性。遵循从理想到实际、从规则到不规则、从静态到动态、从宏观到微观再到宏观的原则,循序渐进地介绍材料的组成、制备、结构、性质与性能的相依性。

4. 在科学与工程能力培养方面,教材突出了科学思维方法和工程能力的培养。在例题、

习题选材及组织方面,注重科学的创新的思维方法的培养,强化解决工程问题的能力。

5. 在结构体例的编排方面,教材突出了新颖性与可读性。教材适应面广,既适应于材料科学与工程一级学科本科基础课程教学使用,亦可作为相关专业工程技术人员的参考书。

由于本教材是根据国家教育部“材料科学与工程专业规范”的知识领域、知识单元编写的,其知识体系较为全面,不同的二级学科专业(应用研究型、技术型)在使用本教材时,可根据即将出台的专业规范的具体要求,在学时数、讲授内容及深度等方面有所取舍。

本书由武汉理工大学张联盟、黄学辉、中南大学宋晓岚等教授编写。具体编写分工如下:武汉理工大学张联盟编写第1章、第11章、第12章;武汉理工大学黄学辉编写第2章、第3章、第7章、第8章、第9章、第10章;中南大学宋晓岚编写第4章、第5章、第6章;全书由武汉理工大学黄学辉教授负责全书统稿及例题、习题择选。

本书的编写工作得到了武汉理工大学材料科学与工程学院材料科学系全体教师的极大关注,尤其是材料科学基础课程教学团队的顾少轩、张枫、雷丽文、戴英、刘曰利、祝振奇等教师给予了无私的帮助,作者在此表示衷心的感谢。本书的顺利出版,得到了武汉理工大学出版社的大力支持,田道全副编审、徐秋林副编审为本书的编辑出版付出了辛勤的劳动,作者在此表示衷心的感谢。

既然本书是教育部高等教育百门精品课程建设计划立项研究项目的结晶,理所当然,其编写工作也是一种探索,加上编者学识水平有限,书中的不足与不妥之处在所难免,恳请阅读本书的广大师生及学者给予批评指正。

作 者

2008年8月

目 录

1 材料引言	(1)
本章提要	(1)
1.1 材料类型	(1)
1.1.1 金属材料	(1)
1.1.2 无机非金属材料	(4)
1.1.3 有机高分子材料(聚合物)	(6)
1.1.4 复合材料	(7)
1.2 材料组成、结构、性质、工艺及其与环境的关系	(8)
1.2.1 材料结构层次	(8)
1.2.2 工程材料常见性质与性能	(8)
1.2.3 材料的加工工艺	(9)
1.2.4 材料性能的环境效应	(10)
1.3 材料的选择	(11)
本章小结	(12)
思考题与习题	(12)
2 晶体结构	(13)
本章提要	(13)
2.1 结晶学基础	(13)
2.1.1 空间点阵	(13)
2.1.2 结晶学指数	(15)
2.1.3 晶向与晶面的关系、晶带轴定理	(18)
2.2 晶体中质点的结合力与结合能	(20)
2.2.1 晶体中质点间的结合力	(20)
2.2.2 晶体的结合力与结合能	(22)
2.3 晶体中质点的堆积	(26)
2.3.1 最紧密堆积原理与最紧密堆积方式	(26)
2.3.2 内在因素对晶体结构的影响——化学组成与晶体结构的关系	(29)
2.3.3 外在因素对晶体结构的影响——同质多晶与类质同晶及晶型转变	(34)
2.4 单质晶体结构	(36)
2.4.1 金属晶体的结构	(36)
2.4.2 非金属元素单质的晶体结构	(38)
2.5 无机化合物结构	(39)
2.5.1 AX型结构	(39)
2.5.2 AX ₂ 型结构	(43)

2.5.3	A_2X_3 型结构	(45)
2.5.4	AX_3 型和 A_2X_5 型结构	(47)
2.5.5	ABO_3 型结构	(48)
2.5.6	ABO_4 型(白钨矿型)结构及声光效应	(53)
2.5.7	AB_2O_4 型(尖晶石, Spinelle)结构	(54)
2.5.8	石榴(Garnet)结构	(55)
2.5.9	无机化合物结构与鲍林规则(Pauling's Rule)	(56)
2.6	硅酸盐晶体结构	(57)
2.6.1	硅酸盐晶体的组成表征、结构特点及分类	(58)
2.6.2	岛状结构	(59)
2.6.3	组群状结构	(61)
2.6.4	链状结构	(63)
2.6.5	层状结构	(66)
2.6.6	架状结构	(70)
2.7	高分子材料结构	(78)
2.7.1	高分子的链结构	(79)
2.7.2	高分子的聚集态结构	(82)
	本章小结	(90)
	思考题与习题	(91)
3	晶体结构缺陷	(93)
	本章提要	(93)
3.1	晶体结构缺陷的类型	(93)
3.1.1	按缺陷的几何形态分类	(93)
3.1.2	按缺陷产生的原因分类	(94)
3.2	点缺陷	(96)
3.2.1	点缺陷的符号表征——Kroger-Vink 符号	(96)
3.2.2	缺陷反应表示法	(97)
3.2.3	热缺陷浓度的计算	(99)
3.2.4	热缺陷在外力作用下的运动	(102)
3.2.5	热缺陷与晶体的离子导电性	(104)
3.3	线缺陷	(105)
3.3.1	晶体的塑性和强度	(105)
3.3.2	位错的类型	(110)
3.3.3	位错的伯格斯矢量及位错的性质	(111)
3.3.4	位错的应力场与应变能	(115)
3.3.5	位错的运动	(120)
3.3.6	位错所受的力	(126)
3.3.7	位错的反应	(133)
3.3.8	位错与点缺陷的交互作用	(133)

3.4 面缺陷	(138)
3.4.1 晶界(位错界面)	(138)
3.4.2 堆积层错	(145)
3.4.3 反映孪晶界面	(146)
3.5 固溶体	(147)
3.5.1 固溶体的分类	(147)
3.5.2 置换型固溶体	(148)
3.5.3 间隙型固溶体	(149)
3.5.4 形成固溶体后对晶体性质的影响	(150)
3.5.5 固溶体的研究方法	(151)
3.6 非化学计量化合物	(155)
3.6.1 由于负离子缺位,使金属离子过剩.....	(155)
3.6.2 由于间隙正离子,使金属离子过剩.....	(157)
3.6.3 由于间隙负离子,使负离子过剩.....	(158)
3.6.4 由于正离子缺位,使负离子过剩.....	(158)
本章小结.....	(159)
思考题与习题.....	(160)
4 非晶态结构与性质	(163)
本章提要.....	(163)
4.1 熔体的结构	(163)
4.1.1 对熔体的一般认识	(163)
4.1.2 硅酸盐熔体结构——聚合物理论	(164)
4.2 熔体的性质	(169)
4.2.1 粘度	(169)
4.2.2 表面张力	(177)
4.3 玻璃的形成	(180)
4.3.1 玻璃的通性	(180)
4.3.2 玻璃的转变	(182)
4.3.3 玻璃的形成	(184)
4.4 玻璃的结构	(192)
4.4.1 晶子学说	(192)
4.4.2 无规则网络学说	(194)
4.4.3 两大学说的比较与发展	(196)
4.5 常见玻璃类型	(197)
4.5.1 硅酸盐玻璃	(197)
4.5.2 硼酸盐玻璃	(200)
本章小结.....	(201)
思考题与习题.....	(202)
5 表面结构与性质	(205)

本章提要	(205)
5.1 固体的表面及其结构	(205)
5.1.1 固体的表面	(206)
5.1.2 固体的表面结构	(211)
5.2 固体的界面及其结构	(216)
5.2.1 固体的界面	(216)
5.2.2 陶瓷晶界结构	(218)
5.3 润湿与粘附	(222)
5.3.1 润湿的类型	(223)
5.3.2 接触角和 Young 方程	(224)
5.3.3 非理想固体表面上的接触角	(226)
5.3.4 测定固体表面张力的方法	(227)
5.3.5 粘附及其化学条件	(229)
5.4 测定固体表面成分和结构的方法	(231)
5.4.1 低能电子衍射(LEED)	(232)
5.4.2 俄歇电子能谱(AES)	(233)
5.4.3 扫描隧道显微镜(STM)	(235)
5.4.4 原子间力显微镜(AFM)	(237)
本章小结	(239)
思考题与习题	(239)
6 相平衡和相图	(241)
本章提要	(241)
6.1 相平衡及其研究方法	(241)
6.1.1 相平衡的基本概念	(241)
6.1.2 相律	(245)
6.1.3 相平衡的研究方法	(246)
6.1.4 应用相图时需注意的几个问题	(251)
6.2 单元系统	(252)
6.2.1 具有多晶转变的单元系统相图	(252)
6.2.2 单元系统专业相图	(256)
6.3 二元系统	(263)
6.3.1 二元系统相图的表示方法及杠杆规则	(264)
6.3.2 二元系统相图的基本类型	(265)
6.3.3 二元系统专业相图	(276)
6.4 三元系统	(297)
6.4.1 三元系统组成表示法	(297)
6.4.2 浓度三角形的性质	(298)
6.4.3 三元系统相图的基本类型	(302)
6.4.4 三元系统专业相图	(321)

6.5 交互三元系统	(344)
6.5.1 组成表示方法	(344)
6.5.2 交互三元系统相图的基本类型	(348)
6.5.3 交互三元系统专业相图—— $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-AlN-SiO}_2$ 系统相图	(351)
6.6 四元系统	(352)
6.6.1 四元系统组成的表示方法	(353)
6.6.2 浓度四面体的性质	(353)
6.6.3 具有一个低共熔点的四元系统相图	(354)
6.6.4 生成化合物的四元系统相图	(356)
6.6.5 四元系统专业相图	(361)
本章小结	(368)
思考题与习题	(368)
7 基本动力学过程——扩散	(372)
本章提要	(372)
7.1 扩散动力学方程——菲克定律	(372)
7.1.1 菲克第一定律	(372)
7.1.2 菲克第二定律	(375)
7.2 菲克定律的应用	(376)
7.2.1 稳态扩散及其应用	(376)
7.2.2 非稳态扩散	(381)
7.3 固体扩散机构与扩散系数	(388)
7.3.1 原子随机行走与扩散	(388)
7.3.2 扩散的微观机制	(389)
7.3.3 扩散机构和扩散系数的关系	(391)
7.3.4 扩散系数的测定	(394)
7.4 扩散系数与浓度的关系——佶野方法	(394)
7.4.1 问题引出	(394)
7.4.2 数学处理	(395)
7.5 多元系统中的扩散	(396)
7.5.1 能斯特-爱因斯坦(Nernst-Einstein)公式	(397)
7.5.2 克肯达尔(Kirkendall)效应	(398)
7.5.3 达肯(Darken)方程	(401)
7.6 影响扩散系数的因素	(405)
7.6.1 外在因素	(405)
7.6.2 内在因素	(408)
本章小结	(413)
思考题与习题	(413)
8 材料中的相变	(415)
本章提要	(415)

8.1 相变概述	(415)
8.1.1 相变分类	(415)
8.1.2 相变的条件	(418)
8.2 液相-固相的转变——成核-生长相变	(419)
8.2.1 晶核生成速率(核化速率)	(419)
8.2.2 晶体生长速率	(423)
8.2.3 总的结晶速率	(426)
8.2.4 影响结晶速率的因素	(428)
8.3 液相-液相的转变——调幅分解	(429)
8.3.1 液相的不混溶现象(玻璃的分相)	(429)
8.3.2 调幅分解动力学	(432)
8.3.3 分相的结晶化学观点	(436)
8.4 马氏体相变	(438)
8.4.1 马氏体相变概念与特征	(438)
8.4.2 马氏体转变热力学	(444)
8.4.3 马氏体转变动力学	(447)
8.4.4 不同材料中的马氏体转变	(448)
8.4.5 马氏体的特殊性能及应用	(451)
8.5 有序-无序转变	(454)
8.5.1 概念和定义	(454)
8.5.2 有序合金类型	(456)
8.5.3 有序-无序转变的热力学分析	(459)
8.5.4 有序-无序转变的动力学分析	(460)
8.6 相变与弥散强化	(464)
8.6.1 相变的强化效应	(464)
8.6.2 弥散强化(沉淀强化)	(464)
8.6.3 有序强化	(468)
本章小结	(468)
思考题与习题	(469)
9 材料制备中的固态反应	(470)
本章提要	(470)
9.1 固态反应概论	(470)
9.1.1 固态反应分类	(470)
9.1.2 固态反应特征	(471)
9.2 固态反应机理	(471)
9.2.1 相界面上化学反应机理	(472)
9.2.2 相界面上反应和离子扩散的关系	(473)
9.2.3 中间产物和连续反应	(473)
9.2.4 不同反应类型和机理	(474)

9.3 固态反应动力学	(476)
9.3.1 一般动力学关系	(476)
9.3.2 化学动力学范围	(477)
9.3.3 扩散动力学范围	(482)
9.3.4 通过流体相传输的反应和动力学表达式	(487)
9.3.5 过渡范围	(491)
9.4 材料制备中的插层反应	(492)
9.4.1 插层反应对晶体结构的要求(结构条件)	(492)
9.4.2 插层复合法制备有机-无机纳米复合材料	(493)
9.5 影响固态反应的因素	(495)
9.5.1 反应物化学组成的影响	(496)
9.5.2 反应物颗粒及均匀性的影响	(496)
9.5.3 反应温度的影响	(497)
9.5.4 压力和气氛的影响	(497)
9.5.5 反应物活性的影响	(498)
本章小结	(498)
思考题与习题	(499)
10 烧结	(500)
本章提要	(500)
10.1 概述	(500)
10.1.1 烧结理论研究的历史	(500)
10.1.2 烧结的基本类型	(502)
10.2 烧结过程及机理	(503)
10.2.1 烧结过程	(503)
10.2.2 烧结推动力	(504)
10.2.3 烧结机理	(505)
10.3 固相烧结	(508)
10.3.1 烧结初期	(508)
10.3.2 烧结中期	(513)
10.3.3 烧结末期	(515)
10.4 再结晶和晶粒长大	(516)
10.4.1 初次再结晶	(517)
10.4.2 晶粒长大	(517)
10.4.3 二次再结晶	(520)
10.5 液相烧结	(522)
10.5.1 带有液相烧结的特点	(522)
10.5.2 颗粒重排	(523)
10.5.3 溶解-沉淀	(523)
10.5.4 粘性或塑性流动烧结的动力学关系	(525)