

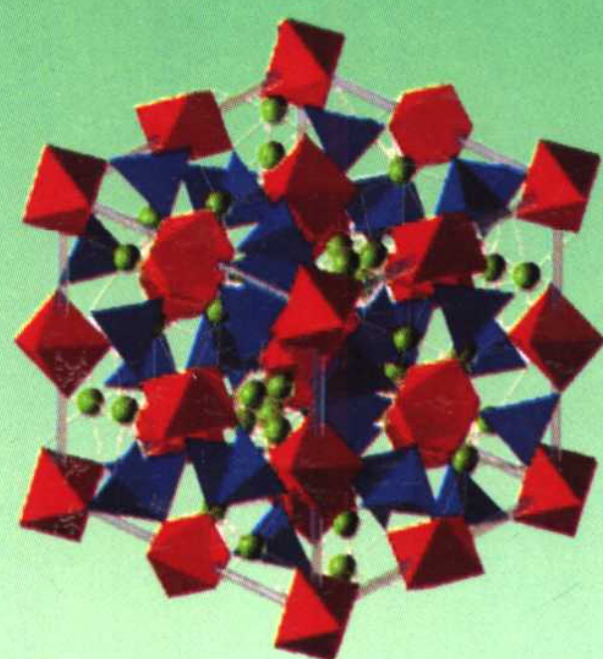
WUTP

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

张联盟 黄学辉 宋晓岚 编



武汉理工大学出版社

Wuhan University of Technology Press

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

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》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,是高等学校材料科学与工程一级学科课程体系中一门重要的学科基础课教材。本书主要从材料科学与工程一级学科层次上阐述材料的组成与结构、制备与加工、性质和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)学科基础课教学使用,亦可作为材料类相关专业工程技术人员的阅读参考书。

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. —武汉:武汉理工大学出版社,2004.8

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 7-5629-2135-0

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(2004)第 005303 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>

E-mail:tiandq@mail.whut.edu.cn

印 刷:武汉理工大印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:39

插 页:1

字 数:1002 千字

版 次:2004 年 8 月第 1 版

印 次:2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3000 册

定 价:48.00 元

本教材有配套的《材料科学基础》多媒体教学课件,选用本教材的教师如果需要,则请联系我们。

Tel:027-87394107(田先生)

E-mail:tiandq@mail.whut.edu.cn

Tel:027-87864033(黄先生)

E-mail:huangxh@mail.whut.edu.cn

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
杨长辉	钱觉时	钱春香	高建明	徐秋林
黄佳木	黄学辉	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。

武汉理工大学出版社

前 言

《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,是在 1998 年国家教育部高等学校专业设置调整、高等教育办学层次普遍提升的背景下,根据专业合并后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所编写的。主要从一级学科层次阐述材料的组成与结构、制备与加工、性质和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。

教材编写的宗旨在于:

尽力融合原二级学科——无机非金属材料物理化学、金属学原理、高分子材料科学等学科的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)、性质和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。

该教材的特点表现在:

1. 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材料结构形成过程。

2. 在内容组织上注重科学原理,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,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. 突出工程能力和思维方法的培养。在例题、习题选材及组织方面,注重科学的创新性思维方法的培养,强化解决工程问题的能力。

5. 在结构编排方面突出教材编排的新颖性及易读性。教材适应面广,既适应于材料科学与工程一级学科(本科)学科基础课教学使用,亦可作为相关专业工程技术人员的参考书。

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老师的极大关

注,尤其是材料科学教研组的顾少轩、张枫、雷丽文、戴英、祝振奇等教师给予了无私的帮助,编者在此表示衷心的感谢!

既然本书是一部精品课程教材建设计划立项研究项目,理所当然,其编写工作也是一种探索,加上编者学识水平所限,那么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。

编 者

2004 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	(28)
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 ₂ X ₃ 型结构	(45)
2.5.4 AX ₃ 型和 A ₂ X 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 ₂ O ₄ 型(尖晶石, Spinnelle)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	族群状结构	(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——佘野方法	(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	烧结概述	(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)
10.6	非常规烧结	(526)
10.6.1	热压烧结	(527)
10.6.2	热等静压烧结	(527)
10.6.3	电火花烧结	(528)
10.6.4	无包套热等静压烧结	(528)
10.6.5	反应烧结	(529)
10.7	影响烧结的因素	(529)
10.7.1	物料活性的影响	(530)
10.7.2	添加物的影响	(531)
10.7.3	气氛的影响	(533)
10.7.4	压力的影响	(534)
	本章小结	(535)
	思考题与习题	(535)
11	腐蚀与氧化	(537)

本章提要	(537)
11.1 腐蚀	(537)
11.1.1 材料腐蚀的基本概念	(537)
11.1.2 应力腐蚀	(540)
11.1.3 晶间(晶界)腐蚀	(547)
11.2 氧化——界面在金属氧化中的作用	(551)
11.2.1 金属氧化及其理论	(551)
11.2.2 金属氧化的界面行为	(553)
11.2.3 界面与稀土活性元素效应	(556)
11.2.4 内氧化合金中的金属/氧化物界面	(561)
11.3 辐射损伤	(562)
本章小结	(563)
思考题与习题	(563)
12 疲劳与断裂	(564)
本章提要	(564)
12.1 疲劳	(564)
12.1.1 疲劳的概念	(564)
12.1.2 疲劳裂纹扩展的物理模型	(567)
12.1.3 疲劳裂纹扩展的力学行为与特征	(568)
12.2 低温断裂与疲劳	(573)
12.2.1 韧-脆转化理论	(573)
12.2.2 低温疲劳	(575)
12.3 高温蠕变与疲劳	(577)
12.3.1 高温蠕变	(578)
12.3.2 高温疲劳	(581)
12.4 环境断裂——氢脆	(583)
12.4.1 氢脆	(583)
12.4.2 氢致开裂机理	(587)
12.5 材料的疲劳与断裂	(592)
12.5.1 纤维强化复合材料	(592)
12.5.2 颗粒强化复合材料	(594)
12.5.3 铝-锂合金	(595)
12.5.4 陶瓷材料	(595)
本章小结	(597)
思考题与习题	(597)
参考文献	(598)
附录1 材料科学基础重要名词术语	(600)
附录2 元素的离子半径表	(611)

1 材料引言

本章提要

材料是人类社会赖以生存的物质基础和科学技术发展的技术先导,本章主要从材料科学与工程一级学科的层次上阐述材料的分类方法,认识材料的基本性质,了解材料的基本用途及其在使用中的环境行为效应,掌握选择材料的基本原则,建立起对材料的感性认识。材料的种类繁多,发展也非常迅速,但人们可以根据材料的基本组成、材料的性质特征、材料存在的状态、材料的物理性质、材料的物理效应、材料的用途等对材料进行分类。

1.1 材料类型

材料按其化学作用(或基本组成)分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料(聚合物)和复合材料四大类。

1.1.1 金属材料

金属材料是由元素周期表中的金属元素组成的材料。可分为由一种金属元素构成的单质(纯金属),由两种或两种以上的金属元素或金属与非金属元素构成的合金。合金又可分为固溶体和金属间化合物。

在 103 种元素中,除 He、Ne、Ar 等 6 种惰性元素和 C、Si、N 等 16 种非金属元素外,其余 81 种为金属元素。在金属元素中有 Li、Na、K、Ca 等 16 种碱金属和碱土金属,Be、Mg、Al 等 3 种轻金属,Fe、Co、Ni、Mn 等 4 种铁族金属,Zn、Cd、Sn、Sb 等 12 种易熔金属,W、Mo、V、Ti 等 11 种难熔金属,Cu、Ag、Au、Pt 等 9 种贵金属,Ce、La、Nd 等 16 种稀土金属,U、Th、Pa、Pu 等 15 种铀族金属。除 Hg 之外,单质金属在常温下呈现固体形态,外观不透明,具有特殊的金属光泽及良好的导电性和导热性。在力学性质方面,具有较高的强度、刚度、延展性及耐冲击性。金属主要用于结构或承载方面。纯金属一般使用的不多,很多情况下使用的是合金。

合金是由两种或两种以上的金属元素,或金属元素与非金属元素形成的具有金属特性的新物质。由于合金具有金属特征,故广义地称为金属。合金的性质与组成合金的各个相的性质有关,同时也与这些相在合金中的数量、形状及分布有关。当合金的晶体结构保持溶剂组元的晶体结构时,这种合金称为一次固溶体或端际固溶体,简称为固溶体。根据溶质原子在溶剂晶体结构中的位置,一次固溶体可分为置换固溶体和间隙固溶体。在置换固溶体中,溶质原子位于溶剂晶体结构的晶格格点上;在间隙固溶体中,溶质原子位于溶剂晶体结构的晶格间隙。溶质原子在固溶体中的分布可以是随机的,即呈统计分布;也可以是部分有序或完全有序,在完全有序固溶体中,异类原子趋于相邻,这种结构亦称为超点阵或超结构。此外,合金中溶质原子还可能形成丛聚,即同类原子趋于相邻。丛聚可以呈随机弥散分布。事实上,实验中还没

有见到溶质原子成完全随机分布的固溶体。因此,只能在宏观尺度上认为处于热力学平衡态的固溶体是真正均匀的,而原子尺度上并不要求它也是均匀的。不同类型固溶体中原子排列情况示于图 1.1。

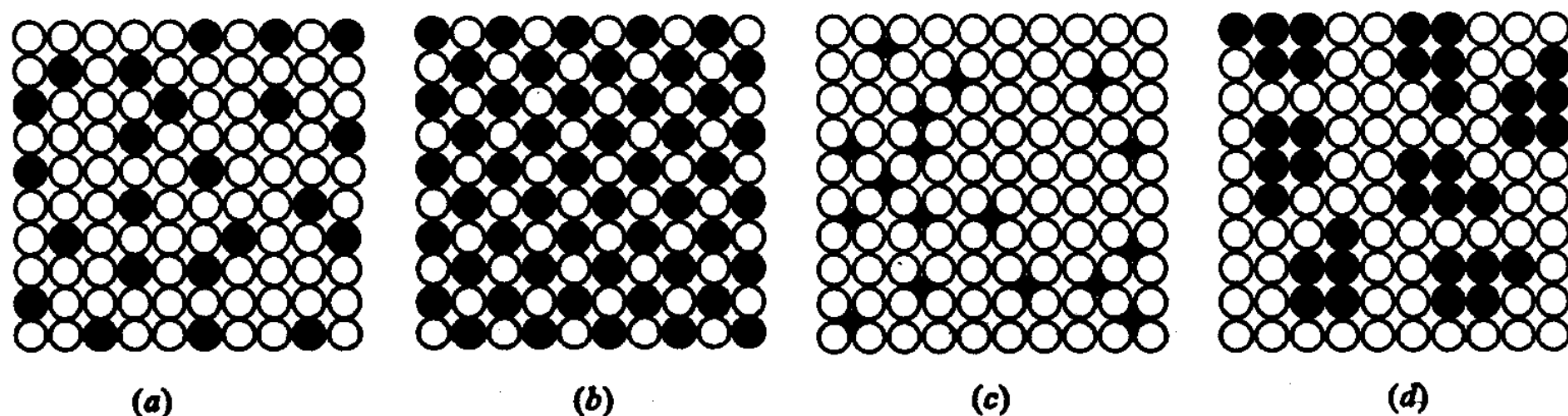


图 1.1 不同类型固溶体中原子排列示意图

(a) 随机置换固溶体; (b) 有序置换固溶体; (c) 随机间隙固溶体; (d) 固溶体中的溶质丛聚

金属元素与其他金属元素或非金属元素之间形成合金时,除固溶体外,还可能形成金属间化合物。金属间化合物可分为三类,即由负电性决定的原子价化合物(简称价化合物)、由电子浓度决定的电子化合物(亦称为电子相)以及由原子尺寸决定的尺寸因素化合物。除了这三类由单一因素决定的典型金属间化合物外,还有许多金属间化合物,其结构由两个或多个因素决定,称之为复杂化合物。

价化合物是指符合原子价规则的化合物,也就是正负离子通过电子的转移(离子键)和(或)电子的共用(共价键)而形成稳定的 8 电子组态的 ns^2np^6 的化合物。

按照结合键的性质,价化合物可分为离子化合物、共价化合物和离子-共价化合物。在离子-共价化合物中,价电子既没有从正离子转到负离子,也不是位于两种离子的中间位置,而是偏向于(或更接近于)一种离子。

按照价电子是否都是键合电子,又可将价化合物分为正常价化合物和一般价化合物,前者的价电子都是键合电子,后者只有部分价电子是键合电子。因此,对于化学式 $C_m A_n$ 的正常价化合物,由于 m 个阳离子(正离子 Cation)C 的价电子必须恰好补足 n 个阴离子(负离子 Anion)A 的 8 电子壳层,故有:

$$m e_C = n(8 - e_A) \quad (1.1)$$

式中 e_C 和 e_A 分别是非电离态的 C 与 A 的价电子数。式(1.1)是正常价化合物的价电子方程,它决定了正常价化合物的可能的 m 、 n 值。

对于化学式 $C_m A_n$ 的一般价化合物,由于 m 个阳离子提供给 n 个阴离子的键合电子数必须等于 n 个阴离子为补足成 8 电子层所需要的电子数,故其价电子方程为:

$$m(e_C - e_{CC}) = n(8 - e_A - e_{AA}) \quad (1.2)$$

式中 e_{CC} 是留在每个阳离子上的平均价电子数,包括非键合电子和形成 C—C 键的电子,它们是不形成 C—A 键的。 e_{AA} 则是每个阴离子由于阴离子之间形成共价键而获得的平均价电子数,这些价电子也是不参与 C—A 键的。

由式(1.1)和式(1.2)不难看出,正常价化合物只是一般价化合物的特殊情形,即 $e_{AA} = e_{CC} = 0$ 的情形。若化合物中 e_{CC} 很大,则称为多阳离子化合物。若 e_{AA} 很大,则称为多阴离子化合物。

正常价化合物一般是由周期表中相距较远、电化学性质相差较大的两元素所形成。其特