



普通高等教育“十五”国家级规划教材

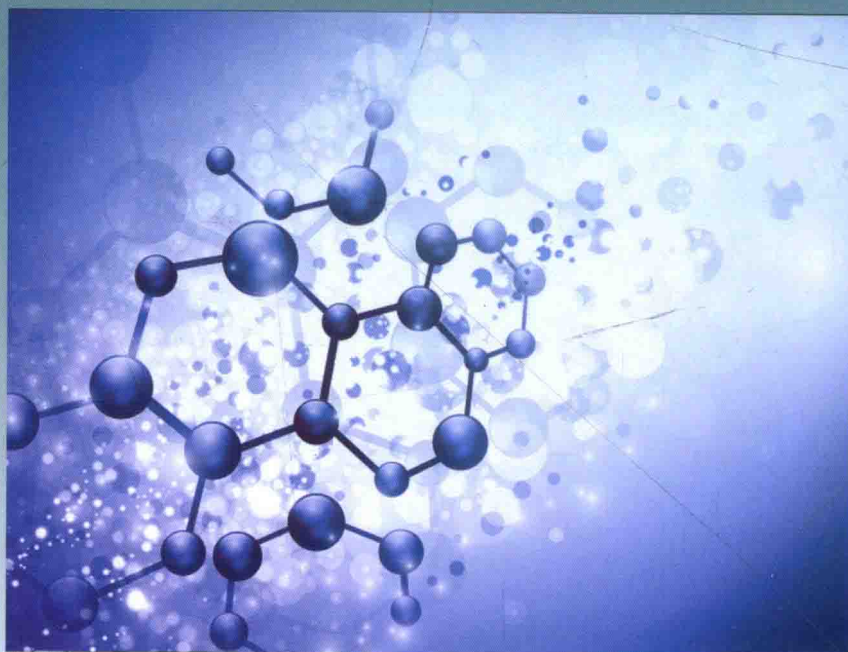
普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

Material Physics

材料物理

(第2版)

主 编 王国梅 万发荣



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



普通高等教育“十五”国家级规划教材

普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

Material Physics

材料物理

(第2版)

主 编 王国梅 万发荣

副主编 冯晋阳 杨善武

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

本书是教育部评选的普通高等教育“十五”国家级规划教材。

“材料物理”是介于“物理学”与“材料学”之间的一门边缘学科,它旨在利用“物理学”中的一些学科的成果来阐明材料中的种种规律和转变过程。本书试图从“物理学”的角度来说明物质的微观结构、组织形貌、原子和电子的运动状况以及它们与材料性能和成分之间的关系,即突出了“物理学”的主干,从“物理学”的一些基本概念、基本原理、基本定律出发,并建立相应的物理模型,阐述材料本身的结构、性质和它们在各种外界条件下发生的变化及其规律。本书内容丰富、涉及面广、实用性强。全书共分13章,主要介绍了材料结构理论;缺陷物理;材料强化;导电物理;电介质物理;铁电物理;磁性物理;材料的相变;非晶态物理基础;高分子物理;低维材料结构;超导材料物理。

本书是高等学校材料科学与工程类相关专业的教材,可供材料物理、材料科学、材料化学、冶金工程、化工工程等专业教学使用,也可供有关科技人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料物理/王国梅,万发荣主编.—2版.—武汉:武汉理工大学出版社,2015.9

ISBN 978-7-5629-4996-1

I. ①材… II. ①王… ②万… III. ①材料科学-物理学-高等学校-教材 IV. ①TB303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 221070 号

项目负责人:田道全

责任编辑:田道全

责任校对:张莉娟

装帧设计:兴和设计

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北丰盈印务有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:27.25

字 数:770 千字

版 次:2015 年 9 月第 2 版

印 次:2015 年 9 月第 1 次印刷 总计第 6 次印刷

印 数:14001~17000 册

定 价:55.00 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:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

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

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 曲祖源

刘亚云 刘 军 孙成林 吴建青 吴建锋

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 陶珍东

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《普通高等学校本科专业目录》(修订版)以后,为促进我国高等工程教育改革,培养适应 21 世纪需要的未来卓越人才,相继组织并实施了面向 21 世纪高等工程教育教学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,以及高等工程教育卓越工程师教育培养计划,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新变化。原有的教材已经不能适应新专业的人才培养目标和教学要求,组织编写并出版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帮助下,经过大量的调研,组织了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,决定首先编写出版本专业的“专业主干课程”教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,然后再根据不同专业方向的培养目标和教学需要,逐步编写出版“专业方向课程”教材,并将研制与专业教学和课程教材相配套的“数字化教学资源”。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人才培养目标和教学要求,从整体上考虑材料科学与工程专业课程设置的课程内容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合后,组成了一套完整的、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的人才培养要求。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——本套系列教材努力应用和推广现代化教育技术和教学手段,实现出版方式的立体化。本套系列教材的编写出版,都将根据人才培养目标和课程教学需要,相继研制和建设相配套的“数字化教学资源”,以适应新时期高等工程教育人才培养和知识传播方式的变革。

本套教材是在教育部颁布实施《普通高等学校本科专业目录》(修订版)以后,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,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,但它仍然还会存在着缺点和不足。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,以便使我们不断地修改、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

第2版前言

本教材自出版以来,至今已有十年,曾入选教育部“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”。在这十年中,全球范围内科学技术的迅速发展和我国经济建设取得的显著成就,都对“材料物理”课程的发展产生了积极的影响。尽管从物理学的角度阐述材料中的种种规律和转变过程这个基调没有变化,但是新材料的问世、新的物理现象和效应的发现、研究手段的发展和工程应用领域的扩大等进一步丰富了材料物理学的内涵。同时,这十年以来,我国关于材料物理、材料科学、材料化学、材料工程等相关专业本科生的“材料物理”课程教学水平有了明显的提高,也提出了相应的要求。为适应这种情况,拟对本教材进行修订,包括部分内容的补充。

本教材共13章,主要内容为:概论;材料结构理论;缺陷物理;材料强化;导电物理;电介质物理;铁电物理;磁性物理;材料的相变;非晶态物理基础;高分子物理;低维材料结构;超导材料物理。各章后附有思考题和习题,供教师、学生参考使用。本教材由武汉理工大学王国梅、北京科技大学万发荣担任主编,由武汉理工大学冯晋阳和北京科技大学杨善武担任副主编。

本次参加修订的老师有:王国梅,万发荣,李李泉,龙毅,张健,冯晋阳,杨善武。王国梅负责第1,5.5,8.5,9.4,9.6,12章节的编写;万发荣负责第2,4,5章节的编写;李李泉负责第3章的编写;龙毅负责第8章的编写;张健负责第10,11章的编写;冯晋阳负责第6,7章的修订,以及第13章的编写;杨善武负责第9章的编写。本版教材的修订,主要做了如下工作:

(1) 改正了第1版教材上文字和插图中的一些明显错误和疏漏。

(2) 增添了“超导材料物理”一章,并对部分章节的内容作了适当的修改和补充。

(3) 为了辅助教师的备课,以及帮助学生掌握和理解课程中的基本概念、理论和方法,本教材开发了同步教学多媒体课件。

由于编者水平有限,教材中难免还存在一些错误、缺点和不足之处,殷切希望使用本教材的老师和同学及其他读者批评指正。

王国梅 万发荣

2015年5月

第1版前言

材料物理是介于物理学和材料学之间的一门边缘学科,它旨在利用物理学中的一些学科的成果来阐明材料中的种种规律和转变过程。材料的发展日新月异,材料学、材料工程与材料科学的内容也在不断深入和更新,随着材料研究方法、测试技术的进步,一些问题诸如:材料中的基本物理模型;材料在各种外界条件下发生的变化,出现多种多样的物理现象和效应;材料的微观组织结构、运动状态、物理性质、化学成分以及它们之间的相互关系等也正不断凸现出来。因此,突出物理学的主干,从物理学的一些基本概念、基本原理、基本定律出发,较为系统地总结和介绍上述这些重要问题是很有必要的。

“材料物理”是继“材料学”、“材料工程基础”、“材料科学基础”之后开的课程,在学生已掌握材料的发展和分类、材料加工原理与工艺,以及材料科学的基本知识基础上,主要讲授材料中的物理问题,即从物理学的角度阐述材料本身的结构、性质和它们在各种外界条件下发生的变化及其变化规律。通过本课程的学习,使学生获得较广泛的材料物理基础知识,初步掌握各种材料中的基本物理原理,能够应用物理学的基本理论和实验技术,进行材料的研究,改进传统材料和研制新材料。

全书共分12章,各章内容简介分述如下:第1章对材料物理课程的内容、材料学与物理学的有机联系、材料物理涉及的基础学科及其与新材料和高技术的关系作了概括性的叙述。第2章介绍材料结构中原子结构、晶体结构和准晶、非晶、液晶的基本理论,以及材料结构的实验研究。第3章介绍材料中各种缺陷的基本性质、特征和它们之间的相互作用以及缺陷理论的应用,主要讨论固体材料中晶体缺陷的几何图像及其运动规律。第4章从实验的角度适当介绍材料强度、硬度、断裂韧性等重要力学性质,在此基础上,重点讨论材料强化的一些基本内容。第5章介绍各种材料的电子电导和离子电导的物理基础。第6章介绍电介质在不同频率、不同场强的电场作用下所出现的现象,物质内部的电极化过程,以及电介质的实验研究。第7章介绍铁电体自发极化机制,以及铁电体的各种宏观效应:介电响应、压电、热电、电光和非线性光学效应等。第8章介绍物质磁性的来源及基本理论,自发磁化基本现象和基本理论,以及技术磁化的机制等。第9章着重介绍材料相变的基本分类,典型的材料相变和实验研究,简要介绍朗道相变理论、微观理论和相变动力学。第10章介绍有关非晶态物质的结构和结构模型,非晶态固体的形成,以及电学和光学方面的性质。第11章介绍高分子材料的结构,高分子的聚集状态和转变,以及高分子材料的主要性质。第12章着重从物理学的角度介绍薄膜的形成,结构与缺陷,表面界面,尺寸效应,以及薄膜的附着和内应力。

本书由武汉理工大学王国梅教授和北京科技大学万发荣教授担任主编。撰写本书

的分工情况如下:第1、12章以及第5章第5节、第8章第8节、第9章第4节和第6节由武汉理工大学王国梅教授撰写;第2、4、5章由北京科技大学万发荣教授撰写;第3章由南京工业大学李李泉教授撰写;第6、11章由武汉理工大学周静副教授撰写;第7、10章由武汉理工大学张健副教授撰写;第8章由北京科技大学龙毅教授撰写;第9章由北京科技大学杨善武副教授撰写。

材料物理范围非常广泛。金属物理、半导体物理、电介质物理、铁电体物理、非晶态物理、高分子物理、薄膜物理等可以说都包含了材料物理的内容。因此,会有很多内容尚不能编进教材之中。这里,尽量做到遴选最基础、最基本的内容,供本科生教学之用。本书适合作为材料物理、材料化学、材料科学、冶金、化工等专业本科生的教材和相关工程技术人员参考使用。

归纳综合诸多材料之共性,试图从物理学的角度阐明材料中的种种规律和转变过程。显然这是一个尝试。鉴于编者水平,教材中的缺点、错误恐怕不少,希望使用本教材的老师和同学及其他读者向我们提出宝贵意见,以便今后再版时修改。同时,本教材编写时,参考了许多同类教材和著作,其中部分列入了书末的参考文献。在此表示真诚的感谢。

王国梅 万发荣

2004年8月

目 录

1 概论	(1)
2 材料结构理论	(4)
2.1 概述	(4)
2.2 原子结合与结合键	(5)
2.2.1 离子键	(5)
2.2.2 共价键	(6)
2.2.3 金属键	(6)
2.2.4 极化键	(6)
2.3 晶体结构与晶体学	(9)
2.4 准晶、非晶和液晶	(14)
2.4.1 准晶	(14)
2.4.2 非晶	(15)
2.4.3 液晶	(16)
2.5 材料结构的实验研究	(16)
2.5.1 X 射线衍射	(16)
2.5.2 电子衍射	(18)
2.5.3 中子衍射	(19)
2.5.4 场离子显微镜	(19)
2.5.5 扫描隧道显微镜	(20)
3 缺陷物理	(22)
3.1 概述	(22)
3.2 点缺陷	(24)
3.2.1 点缺陷的主要类型	(24)
3.2.2 热缺陷数目的统计理论	(25)
3.2.3 点缺陷对物理性能的影响	(26)
3.3 原子扩散理论	(27)
3.3.1 扩散方程和扩散系数	(27)
3.3.2 自扩散的微观机制	(29)
3.3.3 杂质原子的扩散	(31)
3.4 离子晶体的点缺陷及其导电性	(32)
3.4.1 离子晶体中的点缺陷	(32)
3.4.2 离子晶体的导电性	(33)
3.4.3 色心	(34)
3.5 位错	(35)

3.5.1	位错的主要类型	(35)
3.5.2	位错的滑移与晶体的范性形变	(36)
3.5.3	位错能	(38)
3.5.4	位错的其他性质和影响	(39)
3.6	面缺陷	(41)
3.6.1	小角晶界的位错模型	(41)
3.6.2	孪晶界和堆垛层错	(43)
3.6.3	晶界能	(44)
4	材料强化	(46)
4.1	概述	(46)
4.2	力学试验与材料性能	(47)
4.2.1	拉伸试验	(47)
4.2.2	弯曲试验	(49)
4.2.3	硬度试验	(50)
4.2.4	冲击试验	(52)
4.2.5	断裂韧性	(53)
4.2.6	蠕变	(54)
4.2.7	疲劳	(55)
4.3	加工硬化	(57)
4.4	固溶强化	(60)
4.5	弥散强化	(61)
4.6	固态相变强化	(65)
4.7	复合强化	(70)
4.7.1	颗粒增强复合材料	(70)
4.7.2	纤维型复合材料	(71)
4.7.3	层状增强复合材料	(72)
5	导电物理	(73)
5.1	概述	(73)
5.2	材料的导电性能	(75)
5.2.1	能带结构	(75)
5.2.2	超导现象	(79)
5.2.3	导电材料与电阻材料	(81)
5.2.4	其他材料的导电性能	(81)
5.3	半导体与 p-n 结	(81)
5.3.1	本征半导体与非本征半导体	(81)
5.3.2	n 型半导体与 p 型半导体	(82)
5.3.3	p-n 结	(84)
5.4	半导体的物理效应	(86)
5.4.1	余辉效应	(86)
5.4.2	发光二极管	(88)
5.4.3	激光二极管	(89)
5.4.4	光伏特效应	(90)

5.5 半导体陶瓷的缺陷化学理论基础.....	(92)
5.5.1 克鲁格维克符号系统.....	(92)
5.5.2 准化学反应.....	(92)
5.5.3 质量作用定律.....	(93)
5.5.4 半导体陶瓷的能带结构.....	(95)
5.5.5 BaTiO_3 半导瓷的缺陷化学研究	(98)
5.6 能带理论的应用	(101)
5.6.1 半导体的表面能级	(101)
5.6.2 半导体与半导体的接触	(102)
5.6.3 半导体与金属的接触	(104)
6 电介质物理	(107)
6.1 概述	(107)
6.1.1 电介质的概念及特点	(107)
6.1.2 电介质的分类	(107)
6.1.3 电介质的四大基本常数	(108)
6.1.4 电介质的理论	(108)
6.1.5 电介质的实验研究	(109)
6.2 静电场中的电介质行为	(109)
6.2.1 静电介电系数和电极化	(109)
6.2.2 洛伦兹有效场	(113)
6.3 变动电场中电介质的行为及介质损耗	(116)
6.4 极化弛豫	(118)
6.5 动态介电系数	(119)
6.6 固体电介质的电导与击穿	(121)
6.6.1 固体电介质的电导	(121)
6.6.2 固体电介质的击穿	(132)
6.7 电介质的唯象理论	(136)
6.7.1 热力学唯象理论方法	(136)
6.7.2 固态电介质的特征函数	(138)
6.7.3 电介质宏观性质的统一描述方法	(141)
6.8 复介电常数和介电谱的实验研究	(142)
6.8.1 复介电常数的测量	(143)
6.8.2 介电谱	(144)
6.8.3 介电常数对温度的函数关系(温度谱)	(147)
6.8.4 热激励去极化电流的测量(TSDC 谱)	(149)
7 铁电物理	(152)
7.1 铁电物理的一般性质	(152)
7.2 铁电体的电畴与电滞回线	(153)
7.2.1 铁电体的电畴	(153)
7.2.2 铁电体的电滞回线	(158)
7.3 铁电相变与晶体的结构变化	(160)
7.3.1 无序-有序型相变铁电体	(160)

7.3.2	位移型相变铁电体	(163)
7.3.3	晶格振动与相变	(169)
7.4	铁电体物理效应	(172)
7.4.1	压电效应	(172)
7.4.2	热释电效应	(177)
7.4.3	电致伸缩	(178)
7.4.4	光学效应	(181)
7.5	铁电物理效应的实验研究	(189)
7.5.1	电介质的铁电性与热电性的实验研究	(189)
7.5.2	压电效应和电致伸缩效应的实验研究	(193)
8	磁性物理	(200)
8.1	概述	(200)
8.2	原子和离子的固有磁矩	(201)
8.2.1	自由原子的磁矩	(201)
8.2.2	物质中的原子磁矩	(203)
8.3	物质的抗磁性和顺磁性	(205)
8.3.1	抗磁性(Diamagnetism)	(206)
8.3.2	顺磁性(Paramagnetism)	(206)
8.4	铁磁性的“分子场”理论	(206)
8.4.1	铁磁性(Ferromagnetism)	(206)
8.4.2	外斯分子场理论(Weiss Mean Field Theory)	(206)
8.4.3	直接交换作用	(207)
8.4.4	稀土金属化合物中的间接交换作用	(208)
8.5	亚铁磁性“分子场”理论	(208)
8.5.1	亚铁磁体、亚铁磁性	(209)
8.5.2	尖晶石型铁氧体的晶体结构	(209)
8.5.3	奈尔亚铁磁性分子场理论	(211)
8.6	铁磁体中的磁晶各向异性、磁致伸缩	(213)
8.6.1	磁晶各向异性能(Magnetocrystalline Anisotropy Energy)	(213)
8.6.2	退磁场能(Demagnetizing Energy)	(215)
8.6.3	磁致伸缩(Magnetostriction)	(215)
8.7	畴壁与磁畴结构	(216)
8.7.1	磁畴壁(Domain Walls)	(216)
8.7.2	磁畴(Magnetic Domain)	(218)
8.7.3	单畴结构	(219)
9	材料的相变	(222)
9.1	概述	(222)
9.2	相变的基本类型	(224)
9.2.1	相变按热力学分类	(224)
9.2.2	相变按动力学分类	(225)
9.2.3	相变按机制分类	(227)
9.3	马氏体相变	(228)

9.3.1 马氏体相变热力学	(229)
9.3.2 马氏体相变动力学	(229)
9.3.3 马氏体相变的晶体学唯象理论	(231)
9.4 铁电相变、铁性相变	(233)
9.4.1 铁电相变类型	(233)
9.4.2 电介质的特征函数	(236)
9.4.3 铁性相变(Ferroic Phase Transition)	(238)
9.5 有序-无序相变	(238)
9.5.1 有序度参数	(239)
9.5.2 长程有序的统计理论	(239)
9.6 朗道相变理论概要	(242)
9.6.1 序参量与对称破缺	(242)
9.6.2 朗道相变理论	(243)
9.7 相变动力学	(245)
9.7.1 形核	(245)
9.7.2 长大	(247)
9.7.3 转变速率	(249)
9.8 界面稳定性与形态演变	(250)
9.8.1 组分过冷	(250)
9.8.2 典型界面形态及其形成机理	(253)
9.8.3 枝晶生长	(255)
9.9 相变微观理论简介	(257)
9.9.1 伊辛模型	(257)
9.9.2 临界指数与标度律	(258)
9.9.3 重正化群理论大意	(259)
9.10 相变的实验研究	(260)
9.10.1 相变点的测定	(260)
9.10.2 相变动力学测量	(261)
9.10.3 相变机制的实验研究	(262)
10 非晶态物理基础	(264)
10.1 绪论	(264)
10.2 非晶态固体的结构	(265)
10.2.1 非晶态固体的结构特点	(265)
10.2.2 非晶态固体结构的描述	(268)
10.2.3 非晶态固体结构的实验研究	(270)
10.3 非晶态固体结构模型	(274)
10.3.1 微晶模型	(275)
10.3.2 无序密堆积硬球模型	(275)
10.3.3 无规则网络结构模型	(277)
10.4 非晶态固体的形成	(279)
10.4.1 结晶与非晶态形成	(279)
10.4.2 非晶态形成能力	(281)

10.4.3	玻璃化转变	(282)
10.5	非晶态半导体	(283)
10.5.1	非晶态半导体的电子态	(283)
10.5.2	非晶态半导体的能带模型	(287)
10.5.3	非晶态半导体的电导	(288)
11	高分子物理	(291)
11.1	概述	(291)
11.2	高分子的分子结构	(292)
11.2.1	高分子链的组成	(293)
11.2.2	高分子链的构型	(299)
11.2.3	高分子链的构象	(303)
11.3	高分子的聚集态结构	(307)
11.3.1	晶态与非晶态聚合物的结构	(307)
11.3.2	液晶态聚合物的结构	(320)
11.3.3	高分子“合金”的结构形态	(322)
11.3.4	聚合物的取向结构	(323)
11.4	高分子的力学性能	(325)
11.4.1	橡胶弹性	(325)
11.4.2	聚合物的黏弹性	(333)
11.5	高分子的电、光和热学性能	(338)
11.5.1	高分子的电学性能	(338)
11.5.2	高分子的光学性能	(349)
11.5.3	高分子的热学性能	(355)
12	低维材料结构	(363)
12.1	薄膜的形成	(363)
12.1.1	薄膜的形成过程	(363)
12.1.2	薄膜形成的理论基础	(365)
12.2	薄膜的结构与缺陷	(369)
12.2.1	薄膜的组织结构	(369)
12.2.2	薄膜的晶体结构	(370)
12.2.3	薄膜的表面结构	(371)
12.2.4	薄膜的缺陷	(372)
12.2.5	薄膜的异常结构和非理想化学计量比	(373)
12.3	薄膜的表面和界面	(373)
12.3.1	表面态和表面空间电荷层	(374)
12.3.2	表面势垒	(375)
12.3.3	界面结构和界面特性、电接触	(376)
12.4	薄膜的尺寸效应	(378)
12.4.1	尺寸效应	(378)
12.4.2	金属薄膜的尺寸效应	(379)
12.4.3	薄膜中铁电相变的尺寸效应	(381)
12.5	薄膜和基片的附着和附着力、内应力	(382)

12.5.1	附着	(382)
12.5.2	附着机理与附着力	(383)
12.5.3	内应力	(384)
12.6	磁电阻效应	(385)
13	超导材料物理	(389)
13.1	超导材料的基本性质	(389)
13.1.1	完全导电性	(389)
13.1.2	完全抗磁性	(390)
13.1.3	临界条件	(391)
13.1.4	新的凝聚态	(391)
13.1.5	超导电性的普适性	(393)
13.2	超导电性的唯象理论	(394)
13.2.1	二流体模型	(394)
13.2.2	伦敦方程	(395)
13.2.3	金兹堡-朗道理论(Landau-Ginzburg)	(396)
13.3	超导电性的微观机制	(396)
13.3.1	同位素效应	(397)
13.3.2	超导能隙	(397)
13.3.3	BCS 理论	(397)
13.4	第 I 类超导体和第 II 类超导体	(401)
13.5	超导电子的隧道效应	(403)
13.5.1	单粒子隧道结	(404)
13.5.2	直流约瑟夫森效应	(405)
13.5.3	交流约瑟夫森效应	(407)
13.6	高温超导体	(409)
13.6.1	高温超导体的结构	(411)
13.6.2	高温超导机制的理论研究	(415)
13.7	其他类型的超导体	(415)
13.7.1	有机高分子超导体	(415)
13.7.2	重费米子超导体	(416)
13.7.3	铁基系列超导体	(416)
	参考文献	(418)

1 概 论

材料物理是介于物理学和材料学之间的一门边缘学科,它旨在利用物理学中的一些学科的成果来阐明材料中的种种规律和转变过程。其涉及的内容很广,包括诸多材料的微观组织结构、运动状态、物理性质、化学成分以及它们之间的相互关系。

材料是多种多样的,金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料,以及一些新出现或正在发展的新材料,诸如复合材料、半导体材料、超导材料、电介质材料、铁电材料、非晶态材料、低维材料、光电信息材料、激光材料、生物材料、智能材料、能源材料、生态环境材料等。上述诸多材料在它们制备和使用过程中的许多概念、现象和转变都惊人地相似。诸如晶体和玻璃的结构及它们之间的关系、缺陷行为、平衡热力学、扩散、界面结构与行为、材料相变机理、不同类型材料中的电子迁移及禁锢等。显然,这对于从物理学的角度阐述诸多材料的种种规律就有了良好的前提。

材料工程更注重实际,主要论及材料的加工工艺。目前,它已变成一门极其复杂的技艺,诸如半导体、超导体、聚合物、高性能陶瓷、高纯金属、纳米材料、薄膜、生物工程等的加工工艺都是如此。

材料科学的形成是金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料各学科发展过程的殊途同归,是科学技术发展的结果。也就是说,构成工程材料的结构材料 and 功能材料有着共同的学科基础,这个学科就是材料科学。显然,材料科学已成为一门独立的学科以及各组成学科的聚集体。

材料种类类型、材料加工工艺以及各种材料之间相互有机联系而形成的材料科学,就广义而言,三者构成了材料学。

材料物理是和材料生产实践(材料加工工艺)息息相关、互相促进和共同发展的。一方面,材料物理所研究的一些主要课题往往是从生产实践中提出来的:由于金属的主要用途是作为结构材料,因而在金属性能的研究中,强度和范性就成为最突出的问题;在陶瓷生产中,陶瓷是烧结体,因而研究烧结(或烧成)技术就成为陶瓷工艺学中的一个主要论题;随着薄膜和超微粉等低维材料的开发应用和生产发展,尺寸效应就成为一个迫切需要研究的实际问题;由于“金属玻璃”在工艺上的突破并实现连续生产,因而其力学性质、磁性、超导电性等实际问题的研究也就随之提出;由于电子技术、激光、红外技术的需要,研究电介质材料就由研究绝缘体的四大参数逐步扩展到研究物质的电极化过程;为了发展耐高温的材料,推动了对于金属或陶瓷的高温强度、高温蠕变、氧化及扩散的研究等。另一方面,将材料物理的基本研究成果应用到生产实践中去,也会发挥很大的作用:再结晶结构的研究显著地改进了硅钢片的质量;利用非晶硒的光导特性的研究成果,发展了新的静电复印技术;集成铁电学的研究,促进了铁电存储器的实际应用开发。

以上是从材料工程的角度来谈的。关于材料科学研究,研究材料本身的性质和它在各种外界条件(如力、热、光、气、电、磁、各种微粒子束的辐照乃至各种极端条件)下发生的变化,常常可以发现多种多样的物理现象和效应,揭示出新的规律,形成新的概念。例如铁电、热释电、压电、电致伸缩等效应的发现,以及由此导出的新概念和规律性,显然是有赖于对各种电介质材料进行长期的、逐步的和系统的科学研究。由此可见,从材料科学的角度来谈,两者也有着密切的联系。

材料物理涉及的范围很广,诸如金属物理学、半导体物理学、电介质物理学、铁电物理学、磁学、非晶态物理学、高分子物理学、薄膜物理学等。

材料物理作为物理学的一个分支,其发展与物理学的实验技术和基本理论的进展密切相关。物理学的新技术和新理论,将会极大地促进材料物理领域的发展。在实验技术上,XRD、SEM、TEM、HREM、FIM、XPS、IR、Raman 光谱、ESR、NMR 等现代测试方法的应用,为材料研究开辟了新天地。在理论方面,量子力学在材料物理理论中所起的促进作用是人所共知的。另一方面,在材料物理中的一些重大成就,也往往会对物理学和其他领域产生很大的影响。为了解决诸多材料物相突变问题而建立和发展起来的相变理论就是其中的例证。

回顾材料发展和材料研究的历史,尤其是 20 世纪乃至最近二三十年出现的材料(市场上已出现的材料,或通过专利、论文和材料会议报道的即将问世的材料),以及材料科学研究成果,可以归纳、总结出材料学与物理学是有密切联系的。因此,从物理学的角度说明材料,即形成材料物理学科,显然是顺理成章的。

材料物理的基础牵涉到许多不同的学科,诸如晶体学、材料力学、物理化学、材料科学基础、材料物理性能,以及物理学中的一些分支(热力学、弹塑性理论、统计物理、量子力学、固体物理学)等。就是说,它是利用了这些学科的成果,形成了以诸种材料为对象的一门独立的、综合性的物理学科。晶体学的研究揭示了材料的微观组织结构;材料科学基础有助于了解各种材料之间的相互内在联系;量子力学、统计物理及弹性力学方法帮助我们理解材料中的电子、原子以及各种晶体缺陷的运动规律和它们之间的交互作用;固体物理学给我们提供了关于原子键合、原子振动、电子结构、能带结构等的基础知识;而热力学、物理化学、材料力学、材料物理性能可以用来阐明材料的一些宏观规律和材料特性。

材料物理是研究物质(主要是固体物质)的微观结构、组织形式、运动状态、物理性能、化学成分以及它们之间相互关系的学科。材料物理突出物理学的主干,从物理学的一些基本概念、基本原理、基本定律出发,并建立相应的物理模型,力图阐述材料本身的结构、性质和它们在各种外界条件下发生的变化及其变化规律,得出结论,进而指导材料的生产和科学研究。

材料是国民经济发展、国力增强的重要基础。随着材料科学技术的发展,在对传统材料进行技术改造的同时,一些新材料也不断涌现。从科学技术上看,今天人类已进入蓬勃发展的高技术时代。这里,简单提一提“新材料”与“高技术”。

所谓“新材料”,就是那些新出现或已在发展中的,在成分、组织、结构、形态等方面不同于普通材料,具有传统材料所不具备的优异性能和特殊功能的材料。

所谓“高技术”,就是采用新材料、新工艺,产生更高效益,能促进人类社会更快进步的技术。

高技术引入大量新材料,二者相辅相成。其中一个最突出的例子是:半导体材料及大规模集成电路技术的不断突破,使电子计算机的体积越来越小,能力却成千上万倍地提高。

材料物理作为一门学科,其中的一个基本任务是关注新材料、高技术的发展,以力图从其中总结归纳出新的物理现象、效应、模型或图像。同时,材料物理本身也在不断发展中,如金属物理、半导体物理、电介质物理、非晶态物理、高分子物理、薄膜物理等,其研究成果往往会揭示出一些新的物理概念和规律。上述这些意味着在应用、开发上蕴藏着巨大的潜力,如研制出新材料、新的元件或器件;或有可能开辟出新的技术领域。从这个意义上看,材料物理将为研制高技术材料打下牢固的物理基础。

全书共分 13 章,分别阐述了材料结构理论、缺陷物理、材料强化、导电物理、电介质物理、铁电物理、磁性物理、材料的相变、非晶态物理基础、高分子物理、低维材料结构和超导材料物理。第 1 章简要地介绍了材料物理的概况,突出从物理学的角度阐述诸多材料中的种种规律这个基本思路,说明它与其他学科的密切联系,以及其在实践中所发挥的重要作用。第 2 章介绍了材料中原子的结合方式,原子的排列方式以及由此形成的晶体结构;介绍了准晶、非晶和液晶材料,以及材料结构的实验方