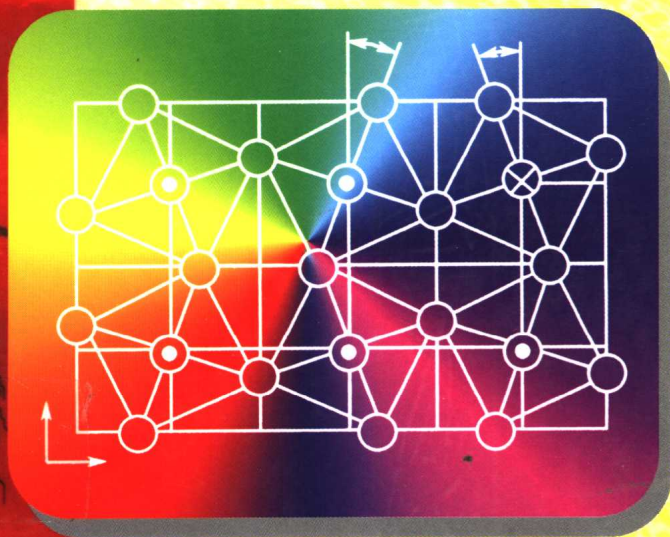


凝聚态物理学丛书

电介质物理学

(第二版)

殷之文 主编



科学出版社

www.sciencep.com

凝聚态物理学丛书

电 介 质 物 理 学

第二版

殷之文 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书第二版是在第一版(《电介质物理学》,方俊鑫、殷之文主编,1989年)的基础上进行全面的修改、补充和完善而完成的。第二版是19位该领域的院士或专家的集体创作。它既保留了第一版的成功之处和特色,又增添了许多新成果、新观点、新应用等新内容,使其内容既全面、系统,又重点突出,是一部难得的更具中国特色的专著。全书12章,主要介绍电介质的极化响应、电荷转移、唯象理论、晶格振动和声子统计、铁电原理、铁电体的第一原理研究、晶体缺陷、电介质能谱、电介质的实验研究、电介质材料的新应用和铁电薄膜等。每章末尾还附有参考文献。

本书可供从事电介质物理、材料和器件的科研、教学、研制、应用、测试等的科技人员及大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电介质物理学/殷之文主编.—2版.—北京:科学出版社,2003
(凝聚态物理学丛书/葛庭燧主编)

ISBN 7-03-010681-4

I. 电… II. 殷… III. 电介质-介质物理学 IV. O47

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第058770号

责任编辑:李义发/责任校对:柏连海

责任印制:安春生/封面设计:槐寿明

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1989年7月第 一 版 开本:850×1168 1/32

2003年5月第 二 版 印张:26 7/8

2003年5月第四次印刷 字数:701 000

印数:4 421—7 420

定价:58.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《凝聚态物理学丛书》出版说明

以固体物理学为主干的凝聚态物理学,通过半个世纪以来的迅速发展,已经成为当今物理学中内容最丰富、应用最广泛、集中人力最多的分支学科.从历史的发展来看,凝聚态物理学无非是固体物理学的向外延拓.由于近年来固体物理学的基本概念和实验技术在许多非固体材料中的应用也卓有成效,所以人们乐于采用范围更加广泛的“凝聚态物理学”这一名称.

凝聚态物理学是研究凝聚态物质的微观结构、运动状态、物理性质及其相互关系的科学.诸如晶体学、金属物理学、半导体物理学、磁学、电介质物理学、低温物理学、高压物理学、发光学以及近期发展起来的表面物理学、非晶态物理学、液晶物理学、高分子物理学及低维固体物理学等都是属于它的分支学科,而且新的分支尚在不断进发.还有,凝聚态物理学的概念、方法和技术还在向相邻的学科渗透,有力地促进了材料科学、化学物理学、生物物理学和地球物理学等学科的发展.

研究凝聚态物质本身的性质和它在各种外界条件(如力、热、光、气、电、磁、各种微观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,彼此层出不穷,内容丰富多彩,这些既体现了多粒子体系的复杂性,又反映了物质结构概念上的统一性.所有这一切不仅对人们的智力提出了强有力的挑战,更重要的是,这些规律往往和生产实践有着密切的联系,在应用、开发上富有潜力,有可能开辟出新的技术领域,为新材料、元件、器件的研制和发展,提供牢固的物理基础.凝聚态物理学的发展,导致了一系列重要的技术突破和变革,对社会和科学技术的发展将发生深远的影响.

为了适应世界正在兴起的新技术革命的需要,促进凝聚态物

理学的发展,并为这一领域的科技人员提供必要的参考书,我们特组织了这套《凝聚态物理学丛书》,希望它的出版将有助于推动我国凝聚态物理学的发展,为我国的四化建设做出贡献.

主 编 葛庭燧

副主编 冯 端

第二版序

电介质物理学是一门古老的学科,经历了不同时期的发展阶段,逐步深入、渐进发展,直至发展到今天,电介质物理学的整个内容和机理都已发生了翻天覆地的变化.早先的电介质仅仅是作为分隔电流的绝缘材料来应用.当时电介质的研究对象就是绝缘体(材料),并以绝缘材料的介电常数、损耗、电导和击穿等所谓四大参数为其主要内容.

20世纪30年代后,随着电子技术、激光、红外、声学、各种高新技术和新材料不断出现和发展,特别是极性电介质的出现和被广泛应用,彻底改变了原先电介质的含义和所包括的内容,使人们对电介质的理解及其范畴大大加深、加宽,并使以四大参数为主要内容的电介质物理学逐步演变为研究物质内部电极化过程的学科.从这个意义上讲,电介质物理学又是一门崭新的学科,有许多新的领域和课题正等待着人们去进一步深入研究、探讨、发现和开拓.

由中国物理学会电介质专业委员会和科学出版社共同组织,由方俊鑫、殷之文主编的《电介质物理学》(1989年7月第一版,科学出版社,《凝聚态物理学丛书》之一),是一部由我国科学家集体智慧创作而成的,具有我国特色的高水平、高质量专著.问世之后,得到了同行专家和广大读者的好评和欢迎,对我国电介质事业的发展发挥过重要作用.在国外虽有大量的文章发表,但类同的专著也不多见,该书的内容编排与配搭,科学、技术、理论、实验方法和应用等论述都是经过深思熟虑的.在当时来说,这已是一部内容比较全面,基本上包括了电介质物理学的主要部分和组成,且是十分难得的具有中国特色的专著.

时至今日,该书出版已达10多年了.10多年来,国内外的电

介质事业又有了突飞猛进的发展,出现了许多与国民经济建设、国防、科研、教学等紧密相关的新领域、新技术、新理论,取得了一系列新成果,并得到了空前的广泛应用,有许多已深入到老百姓的日常生活之中,例如各种不同功能的电器设备等.在这些新成就中,由于受到年代的限制,有些内容是当时原书无法涉及到的.因此,现在在殷之文院士的倡议和督促下,由中国物理学会电介质专业委员会和科学出版社共同组织,由殷之文院士任主编,不失时机地将原书中所没有涉及到的若干新内容(例如铁电薄膜、缺陷和微结构,铁电第一性原理电介质器件与应用等)补充进去,并对原书进行修订、编辑、完善、提高,出版该书的第二版,这一举措非常及时、非常必要,而且也是十分难能可贵的.因此,我深信,该书第二版的问世对我国电介质事业的深入发展将起更大的推动作用,并对我国电介质领域的理论、工艺、实验方法和应用将作出具有历史性的贡献.

冯洛

第二版前言

《电介质物理学》第一版于1989年面世后,受到了有关科技人员的欢迎,已陆续重印三次.1998年在南京召开的第八届全国电介质物理学术会议期间,部分代表在谈到该书时一致认为该书起点较高,质量较好,对推动我国电介质物理学的科研、教学以及电介质材料的研究和开发都起到了积极的推动作用.同时专家们也注意到,电介质物理学的某些研究领域和研究成果尚未收入该书中;而且第一版问世后的十多年来国内外在电介质物理和电介质材料的研究上又取得了不少新成果,这些也都有必要在书中反映出来,使之更系统、更新颖、更能反映当代电介质物理学的主要成就和现状.

基于以上情况,不少代表建议对第一版做相应的补充和修改,出版《电介质物理学》第二版.经过各章作者和科学出版社等好几年的共同努力,现在新版终于与读者见面了.

电介质物理学是一门较老而又不断发展的学科,同时又是一门与其他学科有许多交叉的学科.这便决定了它内容的广泛性.本书从电介质最基本的现象,即极化和电荷转移现象入手,概括论述了本领域中较基础、较普遍的理论 and 较有力、较常用的研究方法,使本书既精炼而又实用,为本领域的科研工作和学科发展提供必备的工具.这些原理和方法将为理解电介质和部分其他功能材料的性质和控制改进这些材料的性能提供基础知识和分析问题的依据.部分章节还归纳了有关领域的研究现状,使读者容易把握该方向的前沿.我国正在经历着深刻的变革,随着我国科学技术的不断发展和积累、创新精神和思维方式的不断深入、经济全球化形势的不断推进,科技发展的新时代即将到来.在电介质领域中,研究材料宏观性质与物质内部的微观运动过程及原子组态的关系,从而

提高材料研究和利用的能力和水平,对更好地创新是十分重要的.电介质物理学的理论基础对相关材料和器件领域的发展将起着越来越重要的作用.从这个角度说,本书对本学科的发展、电介质材料和器件的研制将起到一定的推动作用.

继承本书第一版的传统,本书第二版由多位专家共同撰写,他们在各自的领域中都有较深的造诣,使本书在保证一定系统性的同时,能够充分发挥作者各自的专长,使本书具有一定的深度,从而更充分地反映了本学科发展的水平和所取得的成就.在理论、实验、应用的结合方面,本版做了较大的改进:在电介质理论方面,本版更系统,内容更全面,更充分地展示了电介质物理学从宏观到微观的发展进程;在实验方面,注重了近代的一些主要研究方法,所包括的研究方法也较多;本书还对电介质的部分应用和铁电薄膜做了较详细的讨论,这不仅对材料工作者及从事电介质应用的读者有益,也使本书更完整,内容更全面和系统化.

与本书上一版相比增加了四章,连同原有的八章共十二章.新四章包括山东大学钟维烈、王渊旭撰写的铁电体的第一性原理研究(第七章),南京大学李齐撰写的晶体中的缺陷(第八章),中科院上海硅酸盐研究所王永龄撰写、董显林审阅的电介质材料的新应用(第十一章)和四川大学肖定全撰写的铁电薄膜(第十二章).第一性原理研究反映了近年来电介质特别是铁电体研究从宏观到微观的又一发展进程,是材料性能预测和探索新材料的有力手段.第七章介绍了第一性原理计算的基本概念、主要方法和主要结果.第八章反映了实际晶体的不完整性.点缺陷、线缺陷、面缺陷、体缺陷对电介质的电学、光学、老化等诸多性能有着重要的影响,简要介绍了晶体中主要缺陷的种类与作用、它们的形成与运动及晶体表面等,为深入分析电介质的宏观现象提供了不可缺少的基础知识.第十一章中结合作者本人的工作,着重介绍了与电介质材料的高介电常数和自发极化特性有关的一些新应用,包括高介电容器、微波器件、铁电储能电容器、压电点火、压电双晶片、水声换能器、热释电应用、铁电高功率电源以及铁电薄膜存储器等应用,同时也对

应用中的一些实际问题做了分析.第十二章介绍了近些年来对信息、电子等行业具有重要促进作用的铁电薄膜的制备技术、性能特点、研究方法和重要应用等.

对第一版的第一至八章也都作了全面的修改和补充,并将第七章调改为新版第九章,将第八章调改为新版的第十章,使得这些章节的内容更新颖更充实.在新版中,第一章由上海交通大学方俊鑫和上海硅酸盐研究所王评初撰写、(山东大学钟维烈审阅)主要增加了电介质物理学在近些年中的部分新进展.第二章(由中山大学陆夏莲、李景德撰写)、第四章(由中山大学陆夏莲、清华大学周志刚、中山大学李景德撰写)、第五章(由陆夏莲、李景德撰写)对第一版相应各章做了全面修订,使之更系统,更易于阅读和理解.第三章(由哈尔滨理工大学雷清泉、范勇撰写,中科院物理研究所陈正豪审阅,并对原第三章进行改写),主要介绍了电介质中的电荷转移与能带结构、电极、温度、电场的关系,空间电荷的形成、特点与表征,以及介质击穿机理;并简要介绍了导电逾渗、击穿和放电结构的分形研究.第六章(由清华大学周志刚和中科院物理研究所李从周撰写、陈正豪审阅)主要增加了铁电液晶的结构、铁电体的对称性、晶体对称性与晶体的物理性质及相变的关系,并对铁电畴及其新动向作了较详细的介绍.第九章(由浙江大学倪尔瑚和李从周撰写、上海大学孟中岩审阅)对介质能谱作了更全面的介绍,除频域介电谱外,增加了时域介电谱和色散傅里叶变换波谱.第十章(由美国加州大学洛杉矶分校许煜寰撰写)增加了薄膜微结构研究及电学、光学、力学性能测量方法.

本版各作者和审校者虽都尽了最大努力,但由于时间仓促,缺点错误仍在所难免,欢迎各位读者批评指正.

序

2002.4

目 录

第一章 绪论	方俊鑫 王评初	(1)
§ 1.1 介质的电极化		(1)
§ 1.2 固态电介质		(7)
§ 1.3 近年来电介质物理学的部分进展		(13)
§ 1.4 电介质物理学的展望		(22)
参考文献		(25)
第二章 介质的电极化响应		
.....	陆夏莲 李景德	(28)
§ 2.1 基本概念		(28)
2.1.1 电势移和电极化		(28)
2.1.2 宏观物质中的电磁运动		(30)
2.1.3 介质在交变电场中的损耗		(34)
§ 2.2 电介质的微观极化机构		(37)
2.2.1 电子云分布的畸变		(37)
2.2.2 离子的位移		(41)
2.2.3 固有电偶极矩的取向		(44)
2.2.4 空间电荷		(47)
§ 2.3 有效场		(49)
2.3.1 弥散态物质		(49)
2.3.2 Lorentz 修正场		(52)
2.3.3 昂萨格修正场		(54)
§ 2.4 介电弛豫		(57)
2.4.1 弛豫过程的物理意义		(57)
2.4.2 德拜弛豫方程		(60)
2.4.3 双势阱弛豫模型		(63)
§ 2.5 谐振吸收和色散		(65)

2.5.1	复折射率	(65)
2.5.2	线性振子的强迫振动	(68)
2.5.3	离子晶体中的极化波	(70)
2.5.4	介电色散关系	(74)
§ 2.6	各向异性电介质	(75)
2.6.1	张量的概念	(75)
2.6.2	方向对称性和点群	(79)
2.6.3	晶体中方向的描述和坐标系	(82)
§ 2.7	电极化的非线性效应	(85)
2.7.1	非线性介电张量	(85)
2.7.2	折射率椭球	(87)
2.7.3	电光效应	(90)
§ 2.8	其他的电极化响应	(93)
2.8.1	金属中的色散	(93)
2.8.2	伦琴射线的色散	(94)
	参考文献	(95)
第三章	电介质中的电荷转移	雷清泉 范勇 (96)
§ 3.1	电传导和电荷转移	(96)
§ 3.2	晶体的能带结构	(99)
3.2.1	Bloch 定理	(99)
3.2.2	能带的概念	(104)
§ 3.3	非晶体的能带结构	(107)
3.3.1	无序效应及定域态	(107)
3.3.2	典型的能带模型	(109)
3.3.3	定域态的能量分布函数	(111)
§ 3.4	弱电场中的电流	(112)
3.4.1	直流离子体电导	(112)
3.4.2	直流电子体电导	(117)
3.4.3	交流电导	(130)
3.4.4	导电逾渗模型	(130)

3.4.5	载流子的弥散输运——Scher-Montroll 理论	… (138)
3.4.6	表面电导	… (141)
§ 3.5	强电场中的电流	… (142)
3.5.1	电极效应	… (142)
3.5.2	体效应	… (148)
§ 3.6	电介质中的空间电荷	… (153)
3.6.1	空间电荷来源及类型	… (153)
3.6.2	空间电荷的表征技术	… (154)
3.6.3	受陷电荷的释放机理	… (159)
3.6.4	空间电荷效应	… (165)
§ 3.7	绝缘介质的电击穿	… (172)
3.7.1	气体放电	… (172)
3.7.2	液体介质击穿	… (175)
3.7.3	固体介质击穿	… (176)
	参考文献	… (193)
第四章	电介质的唯象理论	…
	陆夏莲 周志刚 李景德	(195)
§ 4.1	热力学方法基本概念	… (195)
4.1.1	宏观均匀体系	… (195)
4.1.2	热力学量	… (197)
§ 4.2	固态电介质的热力学描述方法	… (199)
4.2.1	均匀形变	… (199)
4.2.2	应变和应力	… (202)
4.2.3	外界对电介质作功的形式	… (204)
4.2.4	平衡态固相电介质	… (205)
§ 4.3	极性固态相变	… (208)
4.3.1	自发极化和电畴	… (208)
4.3.2	二级铁电相变	… (212)
4.3.3	一级铁电相变	… (218)
4.3.4	诱导铁电相变	… (222)

4.3.5	极性相变的热力学理论	(224)
§ 4.4	电介质的线性效应	(225)
4.4.1	物性参数的定义	(225)
4.4.2	线性物性参数	(230)
4.4.3	物性常数和模量	(233)
4.4.4	各向异性的张量描述方法	(233)
§ 4.5	热释电性	(237)
4.5.1	热释电体	(237)
4.5.2	热释电系数	(242)
§ 4.6	压电性	(246)
4.6.1	压电体	(246)
4.6.2	压电振子	(247)
4.6.3	压电谐振等效电路	(253)
4.6.4	导纳圆图	(258)
§ 4.7	电致伸缩效应	(262)
4.7.1	外电场作用于介质的力	(262)
4.7.2	电致伸缩系数	(264)
参考文献		(267)
第五章	晶格振动和声子统计	陆夏莲 李景德 (269)
§ 5.1	晶体中的热运动	(269)
5.1.1	宏观物质中的热运动	(269)
5.1.2	束缚原子体系的振动	(270)
5.1.3	简谐振动模	(272)
5.1.4	振动能量的量子化	(274)
5.1.5	二次量子化和声子	(276)
§ 5.2	晶格动力学	(278)
5.2.1	晶体的理想化近似	(278)
5.2.2	布里渊区	(283)
5.2.3	声学支和光学支振动模	(285)
5.2.4	三维理想晶体	(288)

§ 5.3	极性相变和软模	(291)
5.3.1	铁电软模	(291)
5.3.2	非简谐作用	(293)
5.3.3	相变和序参数	(297)
§ 5.4	热平均值	(299)
5.4.1	系综平均值	(299)
5.4.2	量子统计	(301)
5.4.3	声子的统计方法	(303)
5.4.4	热力学函数的统计公式	(305)
	参考文献	(306)
第六章	铁电原理	周志刚 李从周 (307)
§ 6.1	铁电体的结构	(307)
6.1.1	铁电体	(307)
6.1.2	铁电体的分类	(309)
6.1.3	铁电晶体	(313)
6.1.4	铁电液晶	(325)
6.1.5	铁电聚合物	(334)
§ 6.2	铁电体的对称性	(337)
6.2.1	对称性和对称群	(337)
6.2.2	对称群和晶体群	(340)
6.2.3	居里群	(358)
§ 6.3	对称性和物理性能关系	(364)
6.3.1	居里原理与诺埃曼原理	(364)
6.3.2	铁电群和反铁电群	(367)
6.3.3	铁弹群和铁电-铁磁群	(372)
§ 6.4	畴结构与缺陷	(378)
6.4.1	畴结构	(378)
6.4.2	畴壁的运动	(390)
6.4.3	畴结构与缺陷	(394)
6.4.4	畴结构研究进展	(400)

§ 6.5	结构相变和软模·····	(405)
6.5.1	晶格稳定条件与软模概念·····	(405)
6.5.2	简谐模型·····	(406)
6.5.3	非谐相互作用·····	(408)
6.5.4	主序参量和次级序参量·····	(410)
§ 6.6	Landau 唯象理论和涨落·····	(413)
6.6.1	单元序参量·····	(413)
6.6.2	序参量与应变的耦合·····	(415)
6.6.3	短程力体系中的涨落·····	(417)
6.6.4	单轴铁电体·····	(418)
6.6.5	声学模和铁电涨落的相互作用·····	(420)
6.6.6	多元序参量·····	(424)
6.6.7	非本征铁电体·····	(426)
6.6.8	涨落和短程相互作用·····	(427)
6.6.9	涨落和长程相互作用·····	(428)
§ 6.7	氢键铁电体的六角顶点模型·····	(428)
6.7.1	冰规则·····	(428)
6.7.2	二维 KDP 铁电模型·····	(429)
§ 6.8	结构相变与有序-无序·····	(431)
6.8.1	Slater-Takagi 模型·····	(431)
6.8.2	同位素效应·····	(435)
§ 6.9	赝自旋模型 Hamiltonian·····	(435)
§ 6.10	位移型与有序-无序型统一模型·····	(438)
	参考文献·····	(440)
第七章	铁电体的第一性原理研究 ··· 钟维烈 王渊旭	(451)
§ 7.1	基本概念·····	(451)
§ 7.2	基态结构·····	(454)
§ 7.3	自发极化·····	(466)
§ 7.4	铁电相变·····	(473)
§ 7.5	压电性·····	(483)

参考文献	(493)
第八章 晶体中的缺陷	李 齐 (496)
§ 8.1 点缺陷	(496)
8.1.1 热平衡态的点缺陷, 空位与填隙原子	(496)
8.1.2 非平衡点缺陷的产生	(498)
8.1.3 点缺陷的运动和原子输运过程	(501)
8.1.4 离子晶体中的点缺陷与色心	(503)
8.1.5 杂质原子	(506)
§ 8.2 位错	(507)
8.2.1 位错及其运动的几何特征	(507)
8.2.2 位错的弹性性质	(511)
8.2.3 位错核心结构	(515)
8.2.4 位错的产生和增殖	(518)
8.2.5 位错与其他缺陷间的交互作用	(521)
§ 8.3 晶体的表面	(526)
8.3.1 晶体外形与表面微观形貌	(526)
8.3.2 表面弛豫与重构	(529)
8.3.3 技术材料的表面	(531)
§ 8.4 面缺陷	(533)
8.4.1 平移界面	(533)
8.4.2 孪晶界面	(539)
8.4.3 晶界	(543)
8.4.4 相界	(547)
参考文献	(549)
第九章 电介质能谱	倪尔翔 李从周 (551)
§ 9.1 引论	(551)
§ 9.2 介电谱	(556)
9.2.1 引言	(556)
9.2.2 弛豫型介电谱	(558)
9.2.3 交变电场的情况; Kramers-Krönig 关系式	(564)