

Selected Foreign Text Books



晶体的 物理性质

[英] J. F. 奈 著

孟中岩

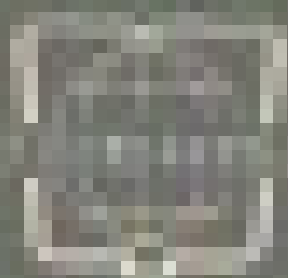
袁绥华

孙鸿涛

李永祥

译

西安交通大学《外国教材精选》编委会



晶体的物理性质

陈维明 著
科学出版社



科学出版社

外国教材精选

晶体的物理性质

[英] J.F. 奈 著

孟中岩 袁绥华 译
孙鸿涛 李永祥

西安交通大学《外国教材精选》编委会

内 容 简 介

本书从晶体物理性质的共同数学基础——张量和矩阵方法以及性质间的热力学关系出发,系统地阐述了晶体的平衡性质、输运性质和晶体光学,着重讨论了晶体对称性对晶体各向异性性质的影响,并概括了晶体物理性质的热力学基础和光学基础。

本书可作为材料科学、固体物理学和电子器件学科等相关专业的大学生、研究生的教材或选读材料,也可供有关专业的教师和科技人员参考。

PHYSICAL PROPERTIES OF CRYSTALS THEIR REPRESENTATION BY TENSORS AND MATRICES

BY J. F. NYE, F.R.S

CLARENDON PRESS. OXFORD, 1985, 2nd Edition

晶体的物理性质

西安交通大学《外国教材精选》编委会 编

孟中岩 袁绥华 译
孙鸿涛 李永祥

西安交通大学出版社轻版印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 16 字数 376 千字

印数:1—600

陕新出批(1994年)字第80号

工本费:25.00元

《外国教材精选》总序

近十年来,我国高等学校教材建设在经历了从无到有、巩固提高的过程之后,目前正进入向高质量、高层次、多品种发展的欣欣向荣,百花争艳时期。现在,教材建设仍是高等学校教学改革的重要方面,这里也存在一个改革开放的问题。在这种形势下,精选国外一些有影响、有特色、特别是世界上著名大学现用的优秀教材进行翻译,无疑将对我国当前教材建设起到借鉴、促进和填补某些学科空白的积极作用。为此,我们决定组织翻译这套《外国教材精选》系列书。

外国教材专业面广、类型繁多、层次各异,我们这套系列书在选题时以专业面较广,内容新颖或具有明显特色的教材为目标。具体原则如下:

1. 列选的教材不限国别及语种,以便博采众长。
2. 国外著名经典性教材,多次修订重版经久不衰者。
3. 最新出版,为国外著名大学所采用,有独特风格、体系,能反映国外教育动向,可供借鉴者。
4. 反映最新科技成果,能填补国内某学科教材空缺者。

根据我校具体情况,《外国教材精选》系列书将以电类教材(含电力、电子、计算机与信息科学)为主。

我们期望这套系列书,不仅是高等学校的学生和教师的良师益友;而且对已在生产科研第一线的广大科技工作者的知识更新,吸取国外科技新成果方面也大有裨益。

这套《外国教材精选》虽然从搜求原著、遴选、翻译、审校等方面都做了较细致的工作,但从浩如烟海的外国教材中精选少数形成一套系列书,对我们毕竟还是一种尝试。书源还不够充分,经验也感不足,缺点在所难免,诚挚地希望读者予以指正。

西安交通大学《外国教材精选》编委会

1988年6月

译者前言

本书译自 J. F. 奈著《晶体的物理性质》第 2 版(1985)。本书原为作者早年在剑桥大学讲授晶体物理学的讲稿,原书第 1 版 1957 年问世以来,曾 7 次重印出版,受到许多国家学者的好评与普遍引用。本书阐明了晶体各种宏观物理性质及其与晶体对称性的关系,并概括了晶体物理性质的热力学基础和光学基础。内容精炼、深入浅出、概念清晰,不过多涉及繁难的理论推导。书中的练习、注释和附录,与正文配合,使所需论述的内容表述更清晰。尽管自原书出版以来,关于晶体物理性质的理论和实验研究有了很大发展,但正如作者在第 2 版前言中指出的“该学科中宏观连续介质处理的原理仍保持原样”。因而第 2 版正文保持原样,而书末增补了最新的参考文献,经作者精心挑选,并加注释,能作为本学科主要新发展的象征。所以,我们认为将此书译成中文,作为材料科学、固体物理学和电子元器件学科的大学生、研究生教材和科技人员的参考读物是有意义的。

本书翻译分工如下:第一、二章和附录:孟中岩教授;第三至第六章:孙鸿涛博士;第七、八章:李永祥博士;第九章至第十四章:袁绥华教授。全书由孟中岩负责校订。

原书中有的印刷错误和笔误,凡是我们发现并确认的,都已改正,没有加译注。

本书出版得到西安交通大学出版社总编辑杨蔚百教授的鼓励与支持,房向群同志担任责任编辑,花了许多心血,在此一并表示感谢。

由于译校者水平有限,不妥和错误之处在所难免,望读者批评指正。

孟中岩

1990 年 9 月

第1版原序

本教科书的目的是用张量标志法系统地阐述晶体的物理性质,说明张量是什么以及怎样使用它们。本书不关心从结构出发解释特殊的晶体性质,而目的却在于从两个主题——性质的共同数学基础和它们间的热力学关系出发统一描述张量性质。

编写计划从数学基础开始,起初仅处理到二阶张量,这构成第一部分,然后表明各种性质如何依次地在张量系统内寻找它们的位置,随后介绍高于二阶的张量和矩阵方法,作为理论的自然发展。性质的这种数学处理与由二、三、四部分描述的关于热力学的和光学的基础齐头并进。

本书起源于作者在剑桥对二年级大学生讲授的晶体物理课程,这些学生攻读自然科学荣誉学位考试第一部分的结晶学(作为主要科目矿物学和结晶学部分)。对大部分内容的处理是适宜于物理系二年级或更高年级优秀生力所能及的水平。但是,作者也已考虑到固体物理学或金属学的研究生和研究工作者,在他们的学科中需要使用张量和矩阵的导论性教科书。数学讨论尽可能保持简单,特别在详细说明张量标志法和形式处理的前几章中。已了解晶体对称性的读者将处于有利地位,不过对理解论证所需要的基本对称理论已被总结在附录中。读者可能发现关于热电性这章比其他章节难一些,但不可能按本书其余部分的水平给出热电性的适当处理,然而这种性质如此自然地配合系统的发展以致包含它似乎是正确的。

所提及的参考文献并不打算是完整的,它们是进一步阅读的简明线索,以及对原始资料表示感谢。

本书始终使用有理化 m. k. s. (米-千克-秒)单位制,最初选用它是因为其为有理化制,从而避免使用不方便的 4π 因子,否则损害了许多电磁公式的简明性。任何有理化制会是适用的,但众所周知 m. k. s. 制特别优越,它正日益被物理学家们所接受,使之成为优选者。

我愉快地表达对剑桥矿物学和岩石学系 R. C. Evans 博士和 N. F. M. Henry 博士的感谢,他们鼓励我写此书,并详细地评论了全部章节的初稿,无论何时他们的建议都有很大的帮助。我也必须对其他友人和同事们致谢,他们评阅了原稿:英国皇家学会会员 F. C. Frank 教授(阅读了第一至第十章),英国皇家学会会员 K. Lonsdale 教授(读了第一、二、三、八和九章)以及英国皇家学会会员 Edward Bullard 先生、D. Polder 博士和 F. G. Fumi 博士曾分别评阅第七章和第十四章。当我在新泽西州默里谷贝尔电话实验室任职时就开始了本书的写作,我非常感谢在那里得到的慷慨合作,在默里谷的三位同事给了我特别的帮助:W. L. Bound 先生把他未出版的“最小二乘八边形盘”方法赠与我,并提供了第九章 § 7 中矩阵方法的数据实例;A. N. Holden 博士同样地给我使用未发表的著作而复写成 129~131 页上的梗概,并读了第十章;Conyers Herring 博士对令人烦恼的电磁能主题给予了帮助。

用来表示 32 晶类的晶体性质矩阵形式圆点和圆圈是取自 K. S. Van Dyke 和 G. D. Gordon 的未出版的压电数据手册,稍微作了些变更。

分布于书中的一些练习得到允许取自或采纳剑桥矿物学和岩石学的教师们所使用的习题集,对他们致以谢意。

鉴于我以前作为该系的一个成员,我愿对 W. A. Wooster 博士表示我特别由衷的感谢,因为他在系里拟订了课程,这本书是该课程激起兴趣的成果。

作者

1955 年 7 月于布里斯托尔

1985 年版序言

自本书的第 1 版问世来,已经成功地生长了许多物质的人工晶体,并且它们的物理性质的研究已产生了令人生畏的极为丰富的文献,例如,6 年前 Landolt-Börnstein 仅就关于弹性电介质的性质列出了 4 700 篇参考资料。在原子论和实验方面已有很大发展,但在所有这些活动中,该学科宏观连续介质处理的原理仍保持原样,这就是为什么现在似乎还值得花时间出版这个新版本。

值得特别注意的是,在正文中仅有的改变涉及弹性及其相关性质的公式表示中体转矩的作用,以往围绕这个命题的困惑现已清除。同时,我乘此机会在书末附加了最新的文献目录,并带注释,我希望它能作为本学科中已发生的主要新发展的象征。我感谢 J. W. Steeds 博士和 F. G. Fumi 教授。因为他们的及时帮助使我得到恰当的文献。

作者

1984 年 4 月于布里斯托尔大学物理系

引言

晶体的物理性质是由可测量的量间的关系定义的。例如密度是用质量和体积间的关系定义。质量和体积两者可被测量出来而不涉及方向,从而密度是与方向无关的性质。另一方面,晶体性质如电导率是用两个可测量的量(电场强度和电流密度)之间的关系定义的,必须像大小一样说明两量的方向,所以这一类物理性质与其测量方向相关。作为一个实验事实,许多晶体的电导率事实上随方向而改变,在这样的情况下,对所讨论的性质称晶体是各向异性的。

于是,如何确定与方向相关的晶体性质的值的问题出现了,显然,一个单一的数是不足的;当我们详细说明时,它与晶体对称性的关系怎样,也同样是一个问题。对这两问题的答案以及它们的复杂性形成了本书的主题。

电导率是依赖于测量方向的许多晶体性质中的一种。几个深入的例子是:由温度梯度产生的热流(热导率);由电场在电介质中产生的极化强度(电介质极化率);可能由机械应力引起的晶体极化(压电性);机械应力引起形变(弹性);能由电场建立的双折射(电光效应)或由应力建立的双折射(光弹效应)。

对于少数几个性质,例如密度,所有晶体是各向同性的,对某些其他的性质,立方晶体刚好是各向同性的,例如电导率、折射率,有时候这导致立方晶体对一切性质是各向同性的错误概念。然而,立方晶体的对称元素与完全各向同性的物体不相同,事实上,立方晶体是各向异性的,弹性、光弹性以及某些其他性质常明显地呈各向异性。所以我们必须把立方晶体认作潜在的各向异性,而且能继续证明对某些性质它们是各向同性的。一切晶体对它们的某些性质而言是各向异性的。

于是在本书中,我们研究如何说明晶体的物理性质,大量的物理性质是由称为张量的数学量描述的,而我们仅涉及张量性质,在附录C中给出它们的一览表;为了帮助赋予主题恰当的看法,附录C还列出一些不是直接用张量描述的其他性质。当然,根据其原子结构和晶体结构解释任何特殊晶体的这些张量值是物理学的一部分任务,在某种意义上说明那是下一个注意中心。在此我们缺乏雄心,我们关注张量的形成和一般意义比它们的实际数值更多。把晶体简单地看作各向异性的连续介质,没有结构,具有一定的对称性质将能满足我们的目的。况且,除了处理热电性这个性质外,我们将假设均匀性:晶体的性质在所有的点是相同的。

本书的进程

张量由其阶数分类。第一章介绍张量概念并示明零阶、一阶和二阶张量如何能用于研究晶体性质,第二章继续数学展开。第三到第六章依次地应用张量方法于各种物理性质,然后在第七和第八章介绍三阶和四阶张量,并用于描述压电性和弹性。第九章描写用矩阵表述晶体性质的不同方法,这个技术对执行数值计算特别有用。参考平衡状态和热力学的可逆变化,符合这点处理的所有性质是可以描述的;在第十章中给出了性质的统一处理和它们的热力学内在关系。在第十一和第十二章过渡到传导性和热电性,因为它们为运输现象,是不可逆的,它们的热力学需要特殊考虑,所以处理这些性质放在平衡态性质之后。最后两章,第十三和第十四章专

心于晶体光学,特别是电光效应、光弹性和光学活性。

首次阅读的选择

对本书的第一次阅读,建议作如下选择,它们或多或少是独立的:

第一章 晶体物理基础

第三章 顺磁和抗磁磁化率

第四章 电极化

第五章 应力张量

第六章 应变张量和热膨胀

第七章 压电性、三阶张量

第八章 弹性、四阶张量

第十一章 热导率和电导率(直到 § 4 末)

目 录

译者前言

第1版原序

1985年版序言

引言

第一部分 一般原理

第一章 晶体物理基础

§ 1 标量、矢量和二阶张量	(1)
§ 2 坐标变换	(4)
§ 3 张量的定义	(7)
§ 4 表征二次曲面	(8)
§ 5 晶体对称性对晶体性质的影响	(11)
§ 6 给定方向上性质的大小	(14)
§ 7 表征二次曲面的几何性质	(15)
小结	(17)

第二章 变换和二阶张量:进一步展开

§ 1 坐标轴的变换	(20)
§ 2 矢量、极矢量和轴矢量	(23)
§ 3 张量的主轴	(25)
§ 4 Mohr 圆作图法	(26)
§ 5 量值椭球面	(29)
小结	(30)

第二部分 平衡态性质

第三章 顺磁和抗磁磁化率

§ 1 一般关系	(33)
§ 2 晶体的磁化能	(36)
§ 3 力偶和力	(37)
§ 4 粉末的磁化率	(41)
小结	(41)

第四章 电极化

§ 1 一般关系	(43)
§ 2 电极化强度与磁化强度的差别	(44)
§ 3 平板电容器的 D 、 E 和 P 关系	(45)
§ 4 极化晶体能量	(46)
§ 5 电场中作用于晶体的力和力偶	(47)

§ 6 均匀各向异性电介质中的静电场	(47)
§ 1—§ 6 的小结	(48)
§ 7 热释电性	(49)
§ 8 铁电性	(51)
§ 7, § 8 的小结	(51)
第五章 应力张量	
§ 1 应力概念	(53)
§ 2 证明 σ_{ij} 构成张量	(56)
§ 3 应力二次曲面	(57)
§ 4 应力张量的特殊形式	(58)
§ 5 应力张量与表示晶体性质的张量之间的差别	(59)
小结	(59)
第六章 应变张量和热膨胀	
§ 1 一维应变	(61)
§ 2 二维应变	(62)
§ 3 三维应变	(64)
§ 4 应变和晶体对称性	(68)
§ 1—§ 4 的小结	(68)
§ 5 热膨胀	(69)
§ 5 的小结	(71)
第七章 压电性、三阶张量	
§ 1 直接压电效应	(73)
§ 2 独立模量的简约, 矩阵标志法	(75)
§ 3 逆压电效应	(76)
§ 4 由晶体对称性简约独立模量数	(77)
§ 5 全部晶类的结果	(81)
§ 6 表征曲面	(84)
小结	(86)
第八章 弹性、四阶张量	
§ 1 胡克定律	(88)
§ 2 矩阵标志法	(90)
§ 3 应变晶体的能量	(91)
§ 4 晶体对称性的影响	(92)
§ 5 表征面和杨氏模量	(97)
§ 6 晶体的体积压缩率和线压缩率	(99)
§ 7 柔量与刚度的关系	(100)
§ 8 弹性系数的数值	(100)
小结	(101)

第九章 矩阵方法

§1 矩阵和张量标志法	(103)
§2 矩阵代数	(103)
§3 晶体性质的矩阵标志法	(105)
§4 两个导出矩阵	(107)
§5 二阶张量性质沿任意方向的量值	(108)
§6 坐标轴旋转	(109)
§7 矩阵计算举例	(109)
小结	(117)

第十章 平衡态晶体热力学

§1 晶体的热学、电学和力学性质	(120)
§2 热弹性热力学	(122)
§3 热、电和弹性性质的热力学	(126)
§4 不同条件下所测系数之间的关系	(129)
小结	(134)

第三部分 输运性质

第十一章 热导率和电导率

§1 热导率和热阻率张量	(135)
§2 稳态热流的两种特殊情况	(137)
§3 一般情况下的稳态热流	(138)
§4 电导率	(141)
§5 倒易关系 $k_{ij} = k_{ji}$	(141)
§6 热力学论证 Onsager 原理	(143)
小结	(146)

第十二章 热电性

§1 各向同性导体中的热电效应	(148)
§2 各向同性连续介质的热电效应	(150)
§3 晶体中的热电效应	(153)
小结	(157)

第四部分 晶体光学

第十三章 自然和人工双折射。二次效应

§1 双折射	(161)
§2 电光和光弹效应	(164)
§3 二次效应通论	(174)
小结	(176)

第十四章 旋光性

§1 导论	(178)
-------	-------

§ 2 旋光性和双折射	(179)
§ 3 叠加原理	(182)
§ 4 效应的数量级	(183)
§ 5 $[g_{ij}]$ 的张量特征	(183)
§ 6 晶体对称性对 g_{ij} 的影响	(184)
小结	(186)
附录 A 矢量标志法和矢量公式的概要	(188)
附录 B 晶体的对称性和选择坐标轴的约定	(189)
附录 C 晶体性质的对称性	(200)
附录 D 32 晶类的独立系数的数目	(203)
附录 E 32 晶类的平衡态性质的矩阵	(205)
附录 F 磁能和电能	(212)
附录 G 受夹的和自由的等温电容率间的差别	(214)
附录 H 从麦克斯韦方程证明光率体的性质	(215)
练习解答附带注释	(220)
文献目录	(223)
增补参考文献和注释(1985)	(227)

注 释

得到允许, 自 Hartshorne and Stuart 的晶体和偏光显微镜 (Edward Arnold (Publishers) Ltd.) 复印图 13.7.

第一部分

一般原理

第一章 晶体物理基础

§ 1 标量、矢量和二阶张量

(i) 标量。在物理学中,我们习惯于处理某些物理量,它们不以任何方式与方向相关联。例如物体的密度或温度,就密度与温度的通常定义来说,提到测量某个特殊方向上的这些量是毫无意义的。这样无方向性的物理量被称为标量。并且我们注意到一个标量的值是由给定一个单一的数来完全地说明的。一个标量也被称为零阶张量,其理由将在后面说明。

(ii) 矢量。与标量相反,有一类被称为矢量的不同类型的物理量,它们只能用参考方向来定义。机械力是一个众所周知的例子。为了完全说明作用在某一点上的一个力,需要给出其大小和方向,可以方便地用一定长度和方向的箭号来表示。其他的矢量例子有:在一点的电场强度、磁偶极矩以及在一点的温度梯度。在本书中我们把矢量作如下表示:如某一点的电场强度表示为 E ,用 p 表示矢量 p 的大小或长度。

为了换一种方法来说明一个给定大小与方向的矢量,我们可以选择三个互相垂直的轴 Ox_1, Ox_2, Ox_3 , 并且给出矢量沿这三根轴的分量,这些分量只不过是矢量在轴上的投影。如果 E 的分量 E_1, E_2, E_3 , 则写为

$$E = [E_1, E_2, E_3]$$

因此,当已选定了参照系的坐标轴,一个矢量可由该矢量沿轴的三个分量的值来完全地说明。一个矢量也称为一阶张量,其理由将在后面说明。

矢量的运算方法形成矢量分析的主题,后面我们将不必用这么多,但会不时引用。假设读者早已熟悉标积与矢积的符号、标量的梯度、矢量的散度以及矢量的旋度——例如可参考 Abraham 和 Becher (1937)。附录 A 中给出了矢量符号和公式的总结。

(iii) 二阶张量。现在我们必须引入一个矢量概念的扩展,考虑下述例子。如矢量 E 所表示的电场作用于—导体上,其中便有电流流过,用矢量 j 表示电流密度(垂直于电流方向的每个单位截面的电流),如果导体是各向同性的且服从欧姆定律,则 j 平行于 E (图 1.1(a)), 且 j 的大小正比于 E 的大小。可写为

$$j = \sigma E \quad (1)$$

式中 σ 是电导率。如果相对于轴 Ox_1, Ox_2, Ox_3 , $j = [j_1, j_2, j_3]$ 和 $E = [E_1, E_2, E_3]$, 便有

$$j_1 = \sigma E_1, \quad j_2 = \sigma E_2, \quad j_3 = \sigma E_3 \quad (2)$$

j 的每个分量是正比于相应的 E 分量的。

如导体是一块晶体, j 和 E 的分量之间的关系就不会这样简单。一般对晶体而言,它们的导电性质是各向异性的(立方晶体形成晶体的特殊点群,其电导率是各向同性的,但是,正如在引言中曾说过,像所有其他点群的晶体一样,我们将立方晶体当作潜在的各向异性处理,随后 (§ 5 的 5.1) 将证明实际上立方晶体的电导率是各向同性的。)对于晶体,方程(2)由下式替代