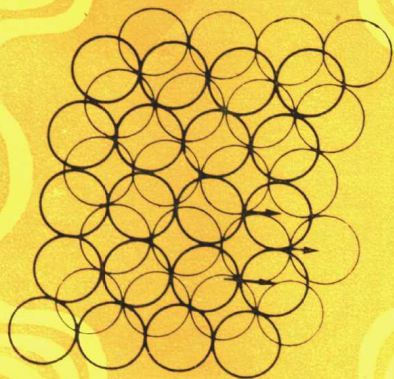


凝聚态物理学丛书

晶体位错理论基础

第一卷



杨顺华 著

科学出版社

内 容 简 介

位错理论起源于用弹性体中位错的行为来解释晶体的范性性质,尔后发展成为晶体缺陷理论的一个重要独立部分。现代位错理论已是金属力学性质微观理论的基础,位错与固体各种结构敏感的物理性质都有相当的联系,在理论上也取得了若干新进展。本书内容是位错理论的基础,分为两卷出版。第一卷主要论述位错的经典弹性理论、点阵理论以及特定具体点阵中位错的精细结构;第二卷介绍位错与点缺陷的相互作用,位错攀移理论,位错集合与位错间界,位错在固体物理性质中的作用,大形变问题及一些新进展。

本书可作为大专院校金属物理、固体及固体理论方面的高年级学生和研究生的教学用书或参考书;也可供有关方面的教师和研究人員参考。从事金属及其他材料研究和开发的科技人員阅读本书也是十分有用的。

凝聚态物理学丛书

晶体位错理论基础

(第一卷)

杨 颢 华 著

责任编辑 李义发

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

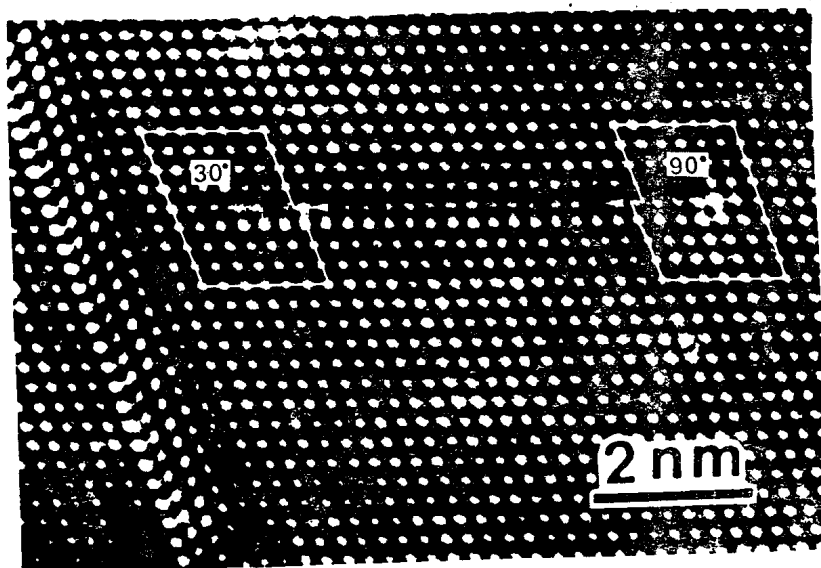
1988年12月第 一 版 开本:850×1168 1/32
1988年12月第一次印刷 印张:19 5/8
4⁵ 1—950 插页:精 3 平 2
印数: 精 1—500 字数:511,000

ISBN 7-03-000547-3/O·142 (平)

ISBN 7-03-000752-2/O·197 (精)

平 装 12.50 元
定价: 布面精装 14.00 元

科技新书目: 178—平 088 精 089



ZnS 的高分辨像。左边有一个三层的微孪晶；中间有一个横向的层错片，其左端是 30° 不全位错，右端是 90° 不全位错。

承郭可信教授惠赠。

FCS1/23

• i •

《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

序 言

固体材料的力学微观研究开始在本世纪二十年代。著名的学者有苏联的 Иоффе, 英国的 A. A. Griffith, 德国的 U. Dehlinger, F. Zwicker 和 A. Goertz 等人。到了三十年代, 这门学科的研究趋向成熟, 匈牙利之 E. Orowan, 德国之 M. Polanyi, 英国之 G. I. Taylor 不期于 1934 年各自发表论文, 正确地描述晶体中微观缺陷的图象, 阐明它的物理概念。Taylor 文中设想这种缺陷在晶体中成为列阵时可计算晶体的加工硬化与实验相比较, 这是材料力学中将微观结构与宏观实测联系起来的初次尝试。Taylor 将这种缺陷命名为 dislocation。1956 年, 由 J. W. Menter, P. B. Hirsch 在电子显微镜中观察到这种晶体中缺陷的形态结构与 Taylor 所设想的丝毫无异。自此众议纷纭者咸为缄默。位错学说于以成立, 在固体物理学中成为一个重要的领域*。

初, 柯俊同志 1953 年从英国归来, 我去前门旅舍访问, 谈及 dislocation 事, 两人都觉得学说新成立, 应定个译名, 以利此学说在中国推广, 因而推敲此缺陷之由来和图象, 试译为位错, 以后逐渐为大家所认可。然而迫于当时的形势, 学习和研究位错理论和实验工作还难于开展。

1960 年吴有训先生应伦敦皇家学会邀请访问英国归来, 吴先生告诉我们: “五十年代英国的物理学研究最大成就之一就是发展了位错理论和实验工作, 他们以此为自豪”。当时国内的政治形势也有所转变。于是 1960 年 8 月在长春举行全国性的晶体缺陷讨论会。会议文集由科学出版社 1962 年出版, 这就是现在所见的《晶

* 较详细的历史过程见本书引论。

体缺陷与金属强度》上、下两册。当时距 Taylor 等三人首创位错学说已有二十八年之久了。

自然晶体或人造晶体的结构不可能十分完美，缺陷的存在是不可避免的。科学工作者的任务就是要研究它的结构、形态以及它的由来。位错是晶体中主要缺陷之一。它也存在于非晶态和连续介质中。缺陷之存在并非对物质都是有害的。半导体中需要掺进微量元素以成结，金属强化之一途即为加工增加位错。五十年代末有若干科学家主张制造完全没有位错的晶体以达到晶体的理想强度，结果事与愿违，徒劳无功而罢。我国有句成语“格物以致知”，意思是研究事物的目的在于明白它的道理，又说“万物皆备于我”，明白了事物的道理就要利用它为我所用。这难道不是今日科技工作者的职责么？！

自六十年代以来，我国科技工作者很快地熟悉位错理论，进行基础研究的多所创见，应用固体材料工业中去帮助解决生产问题的更是所在多有。国外位错专著亦有多种介绍到国内，有一些译成我国文字。至于以我国文字详细论述位错理论的仅见冯端教授等所著《金属物理》（第一版 1964，科学出版社）*中一大章。缺乏以自己研究心得普遍论述位错这一学科的书籍，读者引以为憾。北京钢铁学院副教授杨顺华同志对于位错理论研究有年，且有教学经验，又对于固体物理各分支学科有广博深邃的了解。朋友们早已劝他写这本书，前年方始执笔，现已成稿，全书分两卷出版，共约八十万字。至于作者对写作此书的意图，材料的取舍，在本书的《前言》中已详述的了，毋需在此重复。

这是我国科学工作者以自己的观点撰写的第一部论述位错学说的专著，距长春第一次讨论会已二十余年，去位错学说创建之年已半个世纪。思之能无慨叹！

钱临照

* 修订版，《金属物理学》，第一卷（1987）第七章。

前 言

本书谨献给金属物理方面的读者，也献给固体物理方面的读者。

位错理论的发展与晶体力学性质的微观理论有着极密切的联系，但它们是两个不同的课题。本书主要在于阐述位错理论的基础，至于若干有关晶体力学性质的问题是作为问题的提出及理论的应用去处理。随着力学性质的实验和理论的发展，肯定还会要以位错及其它晶体缺陷的基本理论为依据，提出更多精细具体的微观模型和机制，应用于说明或预测晶体力学性质的各种现象。这显然是一个广大的研究领域。但本书只是表述位错理论基础，而无意深入涉及后面这个重要的、广泛的、实际的工作领域，这应是另一部专著的主题。

另一方面，位错作为一种实际存在于晶体之中的结构缺陷，也有人把它看作是晶体中的一种拓扑性元激发，它与固体中其它类型的元激发，例如电子和声子，必定发生不容忽视的相互作用；从而对于，例如，固体的电学性质、磁学性质、超导电性质，以及光学性质等产生一定程度的影响。过去固体物理学家对位错不甚重视，或者说位错理论未引起多数固体物理学家的理解和重视。但随着学科的发展，这种情况正在发生改变，阐明位错对于各种固体物理性质的影响的工作日益积累增多。本书笔者希望在这个方向上，即在引起国内的固体物理学家们对位错及其他晶体缺陷的注意和兴趣的方向上做一点初步的工作，并给他们提供有关位错的必要的基础知识。

笔者于二十余年前曾和钱临照教授编写过一篇题为《晶体中位错理论的基础》的长篇总结论文。内容比较偏重于基本概念和几何结构方面，尔后，即有编写一本较全面的位错理论专书的想

法。奈以人事变迁,岁月蹉跎,至今方能着笔。

本书计划分为第一、二卷两卷。第一卷处理位错理论最基本的内容,即弹性理论和几何理论。第二卷包含更广泛深入的若干课题,即点缺陷与位错的相互作用和位错动力学,各种位错集合组态,点阵转变,位错与固体的物理性质,向错,大形变问题,以及一些新的发展。

本书力求成为在读者的研究工作中是有用的,或者说,希望当读者在自己的研究课题中需要作有关定量计算或分析时能够实际应用本书所论述的方法和导出的公式,希望能缩短读者检索研读原始文献与进入自己课题之间的距离。笔者无意在科技出版物目录中增加一本普及位错学说的教材。

本书是在钱临照教授和冯端教授指导、关怀与鼓励之下编写的,并承冯端教授全文审阅,提出极其宝贵的意见,笔者在此表示深切感谢。

柯俊教授、郭可信教授、马如璋教授、肖纪美教授、肖治纲同志、田中卓同志等对本书提出了重要意见,给予了热情支持。没有他们的支持,本书是不可能完成的,笔者表示衷心感谢。

杨顺华

引 论

“位错”对于本书的大多数读者应该已经不是完全陌生的了^[1,2]。

位错是晶体中的一类结构缺陷。结构缺陷的出现会改变晶体(固体)的拓扑性质,所以位错属于拓扑缺陷。

晶体是一种有序的凝聚态物质,有序态可以用某种有序参量来描述。若在一些实空间区域内有序态遭到严重破坏,那里的有序参量将发生突变,或甚至出现奇异性,这些区域就是缺陷,这是有序物质中缺陷的一般定义。有序物质中缺陷的实例很多,例如晶体点阵空位,间隙原子,位错,超导体和超流体的量子涡旋线,晶体中的堆垛层错,有序合金中的反相畴界,铁磁体中的磁畴壁和铁电体中的电畴界等。现今缺陷在凝聚态物理中所起的重要作用愈来愈引人注目,关于缺陷的研究也愈来愈丰富发展。

我们在本书中将局限于讨论位错这一类特定的缺陷,也将涉及位错与其他种类缺陷和元激发的相互作用。我们的论述将着重于位错的基础理论方面,关于实验观察和理论的应用应是另一些专著的主题。

位错概念的发端可追溯至本世纪初,自从把这个概念模型引入固体物理领域至今也已经历了半个世纪,早已从比较直观粗略的观念进展到非常抽象精致的理论。关于位错的诸多方面的研究工作和文献数量极大,浩若烟海,在篇幅有限的两卷书里要将这些成果和进展详尽地反映无遗是没有可能的。因此,我们只希望能概述这个领域中重大课题的处理方法和若干结果。

由于现代物理学极其迅速的发展,各个领域多样的相互影响与渗透,使得任何方面的一部专论都不可避免地具有局限性。不过我们将尽力作到使本书能为读者准确提供位错研究中最必要的

知识,使读者了解这个领域的发展过程和现状,并提出笔者对于发展动向的粗浅评议和见解。

早在二十世纪初期, Volterra, Weingarten 和 Somigliana 等意大利学派的弹性力学家们就在连续介质弹性力学中引入了位错的概念^[3]。连续弹性介质中的位错可以产生多值的应力场,它们也是内应力的来源。位错的引入是传统古典弹性力学的一个发展,在 Love 的标准著作 “The Mathematical Theory of Elasticity” 一书中对这一课题也曾进行过阐述^[4]。

几乎与此同时,物理学家对晶体的范性行为开始了细致的研究。1913 至 1914 年, Baker^[5] 和 Andrade^[6] 分别观察到在经过拉伸的钠、钾和汞、铅、锡单晶体表面上呈现出鱼鳞状的条纹,这就是以后所称的滑移带。继此以后,许多科学家对金属和离子晶体的范性进行了大量的工作^[7],我国学者钱临照先生关于体心立方金属钠、钾和钋的研究是这方面先驱的开创性工作^[8]。为了说明晶体范性行为的微观机理,在 1928 和 1929 年, Prandtl^[9] 和 Dehlinger^[10] 分别提出晶体滑移过程中诸原子以类似于所谓位错的晶体缺陷组态作集体运动的观念。至 1934 年, Taylor^[11], Polanyi^[12] 和 Orowan^[13] 三位科学家分别独立地明确提出晶体中位错的概念和图象。特别是 Taylor,他把晶体中的位错与早期 Volterra 处理的弹性体中的位错明确地对应起来,从而在固体物理学中首次引入刃型位错的概念,作为一种线型的晶体缺陷。1939 年, Burgers^[14] 引入另一种类型的位错:螺型位错,指出位错强度,即后来所称的 Burgers 矢量 $\mathbf{b}$ 的意义及重要性;并且推导了关于各向同性介质中任意(平移)位错环所产生的位移场的普遍公式,即著名的 Burgers 公式。

1938 年, Frenkel 和 Kontorova^[15] 从完整晶体出发,采用一个简单的一维模型,得出晶体在受外力作用的过程中点阵中会有位错传播的论断,这可以看作是位错点阵模型的发端。1940 年, Peierls^[16] 提出关于简单立方晶体中刃型位错的一个部分离散模型。1947 年, Nabarro^[17] 对此加以发展,完成著名的 Peierls-Na-

barro 模型,在理解晶体点阵中位错结构问题上前进了一大步,计算了位错宽度和位错在晶体中滑移所受阻力这两个重要的量。同是在 1947 年, Cottrell^[18] 报告了他关于溶质原子与位错相互作用的设想,并据此解释碳素钢的屈服点,获得满意的结果;这是金属与合金力学性质微观理论方面的一项开创性工作。同时,Heidenreich 和 Shockley^[19] 具体描绘出面心立方结构晶体中位错分解扩展的过程,引入不全位错的概念,首次说明晶体结构与位错精细结构的关系。

上述工作一方面是引入了晶体中线型缺陷——位错的概念和模型,说明了位错结构的若干细节,另一方面在解释实际晶体的力学强度问题上作出了重大进展。

1949 年, Frank^[20] 首次把位错的存在及相应的原子组态与晶体生长机制联系起来,解释了实际的晶体生长速度为何远高于完整晶体模型的理论生长速度。1950 年, Griffin^[21] 用相衬显微镜观察到绿柱石表面上一对螺型位错露头处发展出来的蜷线型生长台阶。可以认为这是继发现范性形变后的单晶体表面上出现滑移带之后关于位错存在的第二类实验证据。

早在 1939 和 1940 年, Burgers^[14] 和 Bragg^[22] 就曾分别提出过小角晶界可能是由规则排列的刃型位错构成。1950 年, Read 和 Shockley^[23] 对晶界的位错结构进行了精确的理论分析。1953 年, Vogel 等^[24] 利用浸蚀法观察到位错在晶体表面的露头点,验证了关于小角晶界上位错分布与晶粒相对取向之间关系的理论预测,这是关于位错存在的又一类实验证据。同年, Hedges 和 Mitchell^[25] 使 Ag 原子沉淀在 AgBr 晶体中的位错线上而将晶体中的位错网络显示出来,这就是缀饰法,是位错实验观察的另一方法。位错直接观察最有力的方法是电子显微术,1956 年, Menter^[26] 首次用电子显微镜观察到铂酞花青 (Pt-Phthalocynine) 晶体中的位错。同年, Hirsch 等^[27] 在电子显微镜下用衍衬法观察到金属晶体中位错的运动。自此以后,关于位错直接观察的工作迅速发展^[28,29,30]。

在自三十年代至五十年代这一时期,以位错及其它晶体缺陷理论为基础的固体力学性质的微观理论也获得极为可观的进展^[31-35]。

五十年代上半叶,位错理论的一个重要发展是位错连续分布的理论,或称位错的连续场理论。Eshelby 等较早就开始发展缺陷的连续场理论^[36]。关于无限小位错连续分布的观念也逐步引入^[37]。1953年,Nye^[38]首次明确定义位错密度张量,并把它与点阵曲率联系起来。1955年前后,Kröner^[39-42]处理了位错连续分布的几何学和静力学,在线性弹性力学范围内分析了由连续分布位错所引起的非协调性应变及内应力。同期,近藤^[43]及 Bilby 等^[44]建立了连续分布位错状态(场)的普遍微分几何理论,阐明了分布位错在非黎曼空间中的实现。这些工作开创了位错场论这一重要新领域^[45],对于大形变非线性情况,采用微分几何理论也是可以处理的^[46]。

继位错的微分几何理论以后,在七十年代缺陷理论出现了两个方面重大的,但也是更普遍抽象的理论发展:其一是有序介质中缺陷的代数拓扑理论^[47];其二是缺陷的规范场理论^[48]。第一个方面的先驱性工作是由 Rougula^[49]及 Toulouse 和 Klémen^[50]等人提出的。他们用序参量场描述有序介质,并建立相应的序参量空间,它是一个拓扑空间。然后应用代数拓扑学的同伦论,构造序参量空间上的同伦群,证明此群的每一个群元标志一类缺陷。这样就给有序介质(包括晶态物质)中的缺陷提供了一个绝对分类,另外还可以预言一些原来几乎无法设想的运动学行为。第二个方面的首创性贡献属于 Golebiewska-Losta^[51]及 Edelen^[52], Julia 和 Toulouse^[53]等人,他们的工作是把缺陷动力学理论纳入杨-Mills 规范场论的框架结构,对于位错的连续统场论可望得出一些新的结果^[54]。这些发展可以认为是缺陷理论现代最普遍的形式。

实际晶体中的缺陷,尤其是位错,对于固体的许多物理性质,例如半导体的电学性质,超导体、铁磁体的性质的作用是近年来持

续进行研究、引人入胜、十分重要的课题^[33,55]，值得固体物理实验与理论工作者更充分的重视。无序和缺陷态的模型和理论已经成为现代凝聚态物理的重要组成部分^[56]。

以上我们极其简略地叙述了位错模型概念的提出及理论发展的历史纪要。读者可以看出，位错理论及其应用和实验观察至今仍是一个活跃的，不断扩大的领域，与凝聚态物理其它方面的联系正在不断增加和深入。在凝聚态物理各个不同方面工作的实验与理论工作者对于位错理论已有的成果和现代发展会从不同的角度感到兴趣。

关于位错及其它有关缺陷的专著、会议文集、评述论文以及原始文献其数量之多已可汗牛充栋。如 Seeger^[57]，Nabarro^[58]，Hirth 和 Lothe^[59]，Friedel^[33]，以及 Nabarro 新编的七卷巨著“Dislocations in Solids”（1979—1986）既是优秀全面的专著，又载有极丰富的文献目录。Read 比较早期的著作^[60]是一本清晰的人门读物。

本书旨在论述位错理论及与之最紧密相关的课题，对于晶体中其它诸类型缺陷的理论与实验问题，我们不准准备深入涉及或甚至完全不涉及，读者可以参看例如文献 [60]。

参 考 文 献

- [1] 钱临照主编，晶体缺陷与金属强度，上册，科学出版社（1962）。
- [2] 冯 端，金属物理学，第一卷，科学出版社（1987）。
- [3] Weingarten, G., Atti. Accad. naz. Lincii, Rend., *Cl. Sci. fis. mat. natur.*, 5, 57 (1901).
Volterra, V., *Ann. Ecole Narm. Super.*, 24, 401(1907).
Somigliana, C., Atti. Accad. naz. Lincii, Rend., *Cl. Sci. fis. mat. natur.*, 23, 463(1914).
- [4] Love, A. E. H., *Mathematical Theory of Elasticity*, Cambridge Univ Press (1927; 1934).
- [5] Baker B. B., *Proc. Roy. Soc.*, 25, 235(1913).
- [6] Andrade, E. N. da C., *Phil. Mag.*, 27, 869(1914).
- [7] Schmid, E. and W. Boas, “晶体范性学”，钱临照译，科学出版社（1958）。
- [8] Andrade, E. N. da C. and L. C. Tsien, *Proc. Roy. Soc., London*, 163A, 1(1937).
Tsien, L. C. and Y. S. Chow, *ibid*, 163A, 19(1937).

- [9] Prandtl, L., *Zeit. angew. Math. Phys.*, **8**, 85(1928).
- [10] Dehlinger, U., *Ann. Phys.*, **2**, 249(1929).
- [11] Taylor, G. I., *Proc. Roy. Soc.*, **A145**, 362(1934).
- [12] Polanyi, M., *Z. Phys.*, **89**, 660(1934).
- [13] Orowan, E., *Z. Phys.*, **89**, 634(1934).
- [14] Burgers, J. M., *Proc. Koninkl. Nederl. Acad. Wetenschap.*, **42**, 293, 378(1939)
- [15] Конторова, Т. А. и Я. И. Френкель, *ЖЭТФ*, **8**, 89, 1340(1938).
- [16] Peierls, R., *Proc. Roy. Soc.*, **A52**, 34(1940).
- [17] Nabarro, F. N. R., *Proc. Roy. Soc.*, **A59**, 256(1947).
- [18] Cottrell, A. H., in *Rept. Conf. Strength of Solids*, Bristol (1947), *Physica Society*, 30(1948).
- [19] Heidenreich, R. D. and W. Shockley, *ibid.*, 57.
- [20] Frank, F. C., *Dis. Faraday Soc.*, **5**, 48(1949).
- [21] Griffin, L. J., *Phil. Mag.*, **47**, 196(1950).
- [22] Bragg, W. L., *Proc. Phys. Soc.*, **52**, 54(1940).
- [23] Read, W. T. and Shockley, W., *Phys. Rev.*, **78**, 23(1950).
- [24] Vogel, F. L. et al., *Phys. Rev.*, **90**, 489(1953).
- [25] Hedges, J. M. and Mitchell, J. W., *Phil. Mag.*, **44**, 359(1953).
- [26] Menter, J. W., *Proc. Roy. Soc.*, **A236**, 119(1956).
- [27] Hirsch, P. B. et al., *Phil. Mag.*, **1**, 677(1956).
- [28] Amelinckx, S., *The Direct Observation of Dislocations*, Academic Press (1964).
- [29] Hirsch, P. B. et al., *Electron Microscopy of Thin Crystals*, Kreiger (1977).
- [30] Humphreys, C. J. in *Dislocations in Solids*, vol. 5, 1, ed. by F. R. N. Nabarro. North-Holland (1980).
- [31] Cottrell, A. H., «晶体中的位错和范性流变», 葛庭燧译, 科学出版社(1960).
- [32] Seeger, A., «晶体的范性及其理论», 张宏图译, 科学出版社(1963).
- [33] Friedel, J., «位错», 王煜译, 科学出版社(1984).
- [34] *Dislocations in Solids*, vol. 4, ed. by F. R. N. Nabarro, North Holland (1980).
- [35] 哈宽富编著, «金属力学性质的微观理论», 科学出版社(1983).
- [36] Eshelby, J. D., *Solid State Physics*, **3**, 79(1956).
- [37] Eshelby, J. D., *Phil. Mag.*, **40**, 903(1949).
- Leibfried, G., *Z. f. Phys.*, **130**, 214(1950).
- [38] Nye, J. F., *Acta Met.*, **1**, 153(1953).
- [39] Kröner, E., *Acta Met.*, **2**, 302(1954).
- [40] Kröner, E., *Z. f. Phys.*, **142**, 463(1955).
- [41] Kröner, E., *Kontinuums Theorie der Versetzungen*, Springer, Berlin (1958).
- [42] Kröner, E. and Seeger, A., *Arch. for Rational Mechanics and Analysis*, **3**, 97 (1959).
- [43] Kondo, K., *RAAG Memoirs*, vol. I, II (1955, 1958).
- [44] Bilby, B. A. et al., *Proc. Roy. Soc.*, **A231**, 263(1955).
- Bilby, B. A. and E. Smith, *Proc. Roy. Soc.*, **A236**, 481(1956).
- [45] Kröner, E., *Continuum Theory of Defects*, in *Physique des défauts*, R. Balian et al. eds., Les Houches (1980); North-Holland (1981).
- [46] Gairola, B. K. D., *Nonlinear Elastic Problem*, in *Dislocations in Solids*, vol.

- 1, 223, ed. by F. R. N. Nabarro, North-Holland (1979).
- [47] Mermin, N. D., *Rev. Mod. Phys.*, **51**, 591(1979).
 - Trebin, H. R., *Adv. Phys.*, **31**, 195(1982).
 - [48] Kadić, A. and Edelen, D. G. B., *A Gauge Theory of Dislocations and Disclinations*, Springer, (1983).
 - [49] Rogula, D., *Large Deformation of Crystals, Homotopy and Defects*, in *Trends in Appl. of Pure Math. to Mech.*, ed. G. Fichera, Pitman (1976).
 - [50] Toulouse, G. and Kleman, M., *J. Phys. Lett.*, **37**, L149(1976).
 - [51] Golebiewska-Lasota, A. A., *Int. J. Engng. Sci.*, **17**, 329(1979).
 - [52] Golebiewska-Lasota, A. A. and Edelen, D. G. B., *Int. J. Engng. Sci.*, **17**(1979) 335.
 - Edelen, D. G. B., *ibid.*, **17**, 441(1979); **18**, 1095(1980).
 - [53] Julia, B. and G. Toulouse, *J. Phys. Lett.*, **40**, L395(1979).
 - [54] 龙期威, 董连科编著, «微观与宏观相结合的断裂力学. 微观缺陷和断裂理论», 第45期«应用数学和力学»讲座讲义 (1986).
 - [55] Nabarro, F. R. N., *Theory of Crystal Dislocations*, Clarendon Press (1967).
 - Dislocations in Solids*, vol. 5, ed. F. R. N. Nabarro, North-Holland (1980).
 - [56] *Ill-condensed Matters*; Les Houches (1978); North Holland (1979); 冯端, *物理*, **13**, 193(1984).
 - [57] Seeger, A., *Theorie der Gitterfehlstellen*, *Handbuch der Physik*, VII/1, Springer (1955).
 - [58] Hirth, J. P. and Lothe, J., *Theory of Dislocations*, John-Wiley & Sons, 2nd. ed. (1982).
 - [59] Read, W. T., *Dislocations in Crystals*, McGraw-Hill (1953).
 - [60] *Physique des Defauts*, Baliau et al. eds., Les Houches (1980); North Holland (1981).
 - Leibfried, G. et al., *Point Defects in Metals*, vol. I, II, Springer (1979; 1980).
 - Stonham, A. M., *Theory of Defects in Solids*, Clarendon Press (1975).

目 录

引 论	xiii
第一章 位错的基本性质	1
§ 1.1 刃型位错和螺型位错	1
§ 1.2 位错的普遍定义	8
§ 1.3 晶体缺陷和 Burgers 矢量	11
§ 1.4 广义的位错	21
§ 1.5 位错的运动	28
§ 1.6 位错线上的割阶和扭折	36
§ 1.7 位错源: 位错的增殖	46
§ 1.8 位错间界和位错群	54
一般性参考文献	62
第二章 各向同性介质中的直线位错	63
§ 2.1 螺型位错	63
§ 2.2 刃型位错	66
§ 2.3 作用在位错上的力	75
§ 2.4 自由表面: 镜像力问题	81
§ 2.5 平行直线位错间的相互作用能	90
一般性参考文献	94
第三章 各向同性介质中的位错环	95
§ 3.1 位错位移场的 Burgers 公式	95
§ 3.2 位错应力场的 Peach-Koehler 公式	100
§ 3.3 弹性能量; Blin 公式	105
§ 3.4 作用在位错线元上的力	110
一般性参考文献	114
第四章 若干具体结果	115