



国外优秀科技著作出版专项基金资助



# 固体物理导论

Introduction to Solid State Physics

(原著第八版)

[美] C. 基泰尔 (CHARLES KITTEL) 著

项金钟 吴兴惠 译

EIGHTH EDITION

Introduction to  
Solid State Physics

CHARLES KITTEL

Chemical Industry Press



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心



国外优秀科技著作出版专项基金资助

# 固体物理导论

(原著第八版)

[美] C. 基泰尔 (CHARLES KITTEL) 著  
项金钟 吴兴惠 译



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

固体物理导论/[美]基泰尔著(Kittel, C.)著;  
项金钟,吴兴惠译. —北京:化学工业出版社,2005.6  
书名原文:Introduction to Solid State Physics  
ISBN 7-5025-7183-3

I. 固… II. ①基…②项…③吴… III. 固体物  
理学 IV. O48

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 060581 号

Introduction to Solid State Physics. Eighth Edition/by Charles Kittel  
ISBN 0-471-41526-X

Copyright © 2005 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

AUTHORIZED TRANSLATION OF THE EDITION PUBLISHED  
BY JOHN WILEY & SONS, INC., New York, Chichester, Brisbane,  
Singapore AND Toronto. No part of this book may be reproduced in any  
form without the written permission of John Wiley & Sons, Inc.

本书中文简体字版由 John Wiley & Sons, Inc. 授权化学工业出版社  
独家出版发行。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 John Wiley & Sons, Inc. 防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2005-3269

固体物理导论

(原著第八版)

[美] C. 基泰尔 著

项金钟 吴兴惠 译

责任编辑:丁尚林

责任校对:李 林

封面设计:潘 峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 29 $\frac{3}{4}$  彩插 1 字数 728 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7183-3

定 价:58.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

# 国外优秀科技著作出版专项基金

FUND FOR FOREIGN BOOKS OF  
EXCELLENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY  
(FFBEST)

## 管理委员会名单

名誉主任：成思危 全国人大常委会副委员长  
主任委员：谭竹洲 中国石油和化学工业协会会长  
副主任委员：李学勇 王心芳 阎三忠 曹湘洪  
潘德润 朱静华 王印海 龚七一  
俸培宗 魏 然

## 委 员(按姓氏笔画顺序排列)：

王子镐	王心芳	王印海	王光建	王行愚
申长雨	冯 霄	冯孝庭	朱家骅	朱静华
刘振武	杨晋庆	李 彬	李伯耿	李学勇
李静海	吴剑华	辛华基	汪世宏	欧阳平凯
赵学明	洪定一	俸培宗	徐 宇	徐静安
黄少烈	曹 光	曹湘洪	龚七一	盛连喜
阎三忠	葛 雄	焦 奎	曾宝强	谭竹洲
潘德润	戴猷元	魏 然		

秘 书 长：魏 然

副秘书长：徐 宇

中国石油化工集团公司协助出版

# 译者前言

本书译自 C. 基泰尔著《固体物理导论》2005 年第八版。本书作者 C. 基泰尔教授是一位国际知名的材料科学家和物理学家，他多年来一直活跃在磁性材料、半导体物理与材料、超导理论等研究领域，取得了丰硕成果。该书自 1953 年正式出版以来，曾分别于 1956 年、1966 年、1971 年、1976 年、1986 年、1996 年和 2005 年出版修订版。半个世纪以来，该书一直是世界范围内各著名大学相关专业的“固体物理”首选教材，是国际公认的一部经典著作。

本书内容丰富、结构完整，论述深入浅出，物理概念清晰，学术特色突出，是系统性和先进性的完美结合。在该书中，作者将实验基础与理论成果有机结合，在公式推导和物理过程的描述上简洁、清新而独特，引人入胜，流畅易读。本书第八版作为最新版本，作者对其内容体系和章节安排进行了极其重要的调整、拓展和更新，增加了反映该领域最新研究成果的纳米结构、扫描隧道显微术、整数与分数量子霍尔效应、高温超导材料、表面与界面物理等内容。全书共分二十二章，基本上涵盖了现代固体物理学的理论基础和重要课题。书中还附有大量的插图和数据表，与正文配合，能够更清晰地表述所要阐明的内容。书中物理量的数值和公式一般都用 CGS 单位制和 SI 单位制并列给出。在书后附有作者精选的相关附录，这为读者阅读本书提供了极大方便。本书不仅可以作为物理学、材料科学与工程、化学等相关专业本科生、研究生的教材，同时对从事相关领域研究的科技工作者也是一本很有价值的参考书。

原书中存在的印刷错误或笔误，凡是译者发现并且确认的，都已在中译版改正，一般没有加译注。

原书第二版（1956 年版，万纾民等译，高等教育出版社 1962 年出版）和第五版（1976 年版，杨顺华等译，科学出版社 1979 年出版）曾有中译本；但自第五版以来，原书内容、结构以及表达方式均有重要的更新、改进和增订，所以有必要按新版重译出版，以飨读者。

从本书的翻译策划到最后完稿付梓，化学工业出版社给予很多关心和支持。同时，李伟、方静华、杨海刚、姜军、杨护霞、王健、王云扬、纳元元等多位同志分担了大量文字录入工作。在此，译者对他（她）们一并表示感谢。

由于时间紧迫，加之译者水平有限，不妥或错误之处，请广大读者指正。

译者

2005 年 4 月

# 作者前言

本书是固体物理学和凝聚态物理学基础教材的第八版，适合于物理学、化学及材料科学与工程等相关专业高年级学生和研究生使用。自本书第一版问世以来，该领域一直在蓬勃发展，并在应用方面取得了令世人瞩目的成就。这样一来，如何使本书既能反映该领域丰富多彩的最新进展，又能保持其作为教材的基础水平，就成为作者必须面临的一大挑战。同时，本书作者也力求在论述这一厚重而欣欣向荣的物理学领域时避免落入呆板和公式化。

想当年，在 1953 年本书第一版出版的时候，人们还不能理解超导电性；对金属中的费米面的研究才刚刚开始，对永磁体的理解也只是初步的；当时也只有很少几位物理学家相信真的存在自旋波；纳米物理学更是 40 年以后的事情。相比之下，其他领域的情况也差不多：DNA 的结构刚刚被确定，地球的大陆漂移学说刚刚被接受。当年与现今一样，是科学上的伟大时代。因此，能够通过 ISSP 的不断修订出版以及时介绍最新成果，也是作者“不亦乐乎”的事情。

本书作为第八版，同第七版相比，有以下几方面变化。

(1) 新增加了重要的一章，专门讨论有关纳米物理学的内容。本章由活跃在该领域的科学家、康奈尔大学的 Paul L. McEuen 教授撰写。纳米物理学是关于一维、二维和三维小尺寸材料的科学。这里的“小尺寸”意指纳米尺寸（约  $10^{-9}$  m）。该领域是固体物理学新的生长点，同时也是近十年来发展最快、最令人鼓舞的一个研究领域。

(2) 近年来由于计算机的普及，使得本书的压缩和简化成为可能。在新版中删去了几乎所有的参考书目，因为读者利用计算机根据关键词由搜索引擎可以快捷地获得对自己有用的各种资料，包括最新的文献。例如，读者可以登录因特网进入 <http://www.physicsweb.org/bestof/cond-mat> 获取相关资料。作者这样做，并不是有意地忽略那些最早解决固体物理问题的研究者所给出的原始文献，确是形势使然。

(3) 新版本在章节安排上作了较大调整。例如：将有关超导电性和磁性的内容提到了前面，以便使一学年中的课程安排更加合理。

晶体学的符号采用物理学中现行的统一用法。书中重要的方程均以 SI 单位制和 CGS 高斯单位制并行给出；有时给出一种单位制的表示，但同时指出这两种单位制的换算关系。本书所采取的两种单位并用的做法，为读者提供了很大的方便，一直很受读者欢迎。书中表格采用惯用单位制。符号  $e$  表示质子所带的电荷，取正值；符号 (18) 表示所在章的第 18 个方程，而 (3.18) 表示第 3 章中的第 18 个方程。矢量上面的尖角 ( $\hat{\ })$  表示单位矢量。

书中习题基本都是围绕着所在章节讨论的主题而设计的，一般都有一定的难度；除部分题目外，多是来源于本书的第六版和第七版。符号 QTS 是指作者和 C. Y. Fong 合著的“Quantum Theory of Solids”一书；符号 TP 是指作者与 H. Kroemer 合著的“Thermal Physics”一书。

## 内 容 提 要

本书译自 C. 基泰尔教授所著《固体物理导论》2005 年第八版。在新版中，作者对该书的论述内容和章节安排作了极其重要的拓展和调整。例如，新增加了反映该领域最新研究成果的纳米结构、整数与分数量子霍尔效应、高温超导材料、表面与界面物理等内容。全书共分二十二章，基本上概括了现代固体物理学的理论基础和重要课题。本书从晶体结构、晶格振动和电子运动的理论出发，通过引入各种元激发的模型、概念，系统阐述了固体的热学性质、光学性质、电学性质、磁学性质及力学性质。同时，本书还讨论了非晶固体、点缺陷、位错以及合金等方面的问题。

本书内容丰富、结构完整、思路清晰、表述深入浅出、学术特色鲜明，是系统性与先进性的完美结合。该书不仅可以作为各大学物理学、材料科学与工程、化学等相关专业的本科生、研究生教材，同时对从事相关专业研究的科技工作者也是一本极好的参考书。

# 目 录

<b>第 1 章 晶体结构</b> .....	1
1.1 原子的周期性阵列 .....	1
1.1.1 晶格平移矢量 .....	3
1.1.2 结构基元与晶体结构 .....	3
1.1.3 原胞 .....	4
1.2 晶格的基本类型 .....	5
1.2.1 二维晶格的分类 .....	5
1.2.2 三维晶格的分类 .....	5
1.3 晶面指数系统 .....	9
1.4 简单晶体结构 .....	10
1.4.1 氯化钠型结构 .....	10
1.4.2 氯化铯型结构 .....	11
1.4.3 六角密堆积 ( <i>hcp</i> ) 型结构 .....	12
1.4.4 金刚石型结构 .....	13
1.4.5 立方硫化锌型结构 .....	14
1.5 原子结构的直接成像 .....	14
1.6 非理想晶体结构 .....	17
1.6.1 无规堆垛和多型性 .....	17
1.7 晶体结构的有关数据 .....	17
小结 .....	17
习题 .....	17
<b>第 2 章 晶体衍射和倒格子</b> .....	19
2.1 晶体衍射 .....	19
2.1.1 布拉格定律 .....	19
2.2 散射波振幅 .....	21
2.2.1 傅里叶分析 .....	21
2.2.2 倒格矢 .....	23
2.2.3 衍射条件 .....	24
2.2.4 劳厄方程 .....	25
2.3 布里渊区 .....	26
2.3.1 简单立方晶格的倒格子 .....	28
2.3.2 体心立方晶格的倒格子 .....	28
2.3.3 面心立方晶格的倒格子 .....	29



2.4	结构基元的傅里叶分析	30
2.4.1	体心立方晶格的结构因子	31
2.4.2	面心立方晶格的结构因子	31
2.4.3	原子形状因子	32
	小结	33
	习题	33
<b>第3章</b>	<b>晶体结合与弹性常量</b>	<b>36</b>
3.1	惰性气体晶体	41
3.1.1	范德瓦耳斯-伦敦相互作用	41
3.1.2	排斥相互作用	44
3.1.3	平衡晶格常量	45
3.1.4	内聚能	46
3.2	离子晶体	46
3.2.1	静电能或马德隆 (Madelung) 能	48
3.2.2	马德隆常数的计算	49
3.3	共价晶体	51
3.4	金属晶体	53
3.5	氢键晶体	53
3.6	原子半径	54
3.6.1	离子晶体半径	54
3.7	弹性应变的分析	56
3.7.1	膨胀	57
3.7.2	应力分量	58
3.8	弹性顺度与劲度常量	58
3.8.1	弹性能密度	59
3.8.2	立方晶体的弹性劲度常量	59
3.8.3	体积弹性模量与压缩率	60
3.9	立方晶体中的弹性波	61
3.9.1	沿 $[100]$ 方向的弹性波	62
3.9.2	沿 $[110]$ 方向的弹性波	62
	小结	64
	习题	65
<b>第4章</b>	<b>声子 (I): 晶格振动</b>	<b>67</b>
4.1	单原子结构基元情况下的晶格振动	67
4.1.1	第一布里渊区	69
4.1.2	群速	70
4.1.3	长波极限	71
4.1.4	从实验出发的力常量的推导	71

4.2	基元中含有两个原子的情况	71
4.3	弹性波的量子化	74
4.4	声子动量	75
4.5	声子引起的非弹性散射	75
	小结	76
	习题	77
<b>第5章</b>	<b>声子(Ⅱ): 热学性质</b>	<b>79</b>
5.1	声子比热容	79
5.1.1	普朗克分布	80
5.1.2	简正模的计算方法	80
5.1.3	一维情况下的态密度	81
5.1.4	三维情况下的态密度	83
5.1.5	计算态密度的德拜模型	83
5.1.6	德拜的 $T^3$ 律	84
5.1.7	计算态密度的爱因斯坦模型	85
5.1.8	$D(\omega)$ 的一般表达式	87
5.2	非谐晶体相互作用	88
5.2.1	热膨胀	89
5.3	导热性	89
5.3.1	声子气的热阻率	91
5.3.2	倒逆过程	92
5.3.3	非理想晶格的情况	93
	习题	94
<b>第6章</b>	<b>自由电子费米气</b>	<b>96</b>
6.1	一维情况下的能级	97
6.2	温度对费米-狄拉克分布的影响	99
6.3	三维情况下的自由电子气	99
6.4	电子气的比热容	102
6.4.1	金属比热容的实验结果	104
6.4.2	重费米子	106
6.5	电导率和欧姆定律	106
6.5.1	金属电阻率的实验结果	108
6.5.2	倒逆散射	109
6.6	在磁场中的运动	110
6.6.1	霍尔效应	111
6.7	金属的导热性	112
6.7.1	热导率与电导率之比	113
	习题	113

<b>第 7 章 能带</b> .....	115
7.1 近自由电子模型 .....	116
7.1.1 能隙的由来 .....	117
7.1.2 能隙的大小 .....	118
7.2 布洛赫函数 .....	119
7.3 克勒尼希-彭尼模型 .....	119
7.4 电子在周期势场中的波动方程 .....	121
7.4.1 关于布洛赫定理的另一种表述形式 .....	123
7.4.2 电子的晶体动量 .....	123
7.4.3 关于中心方程的解 .....	123
7.4.4 倒易空间中的克勒尼希-彭尼模型 .....	124
7.4.5 空格点近似 .....	125
7.4.6 在布里渊区边界附近的近似解 .....	125
7.5 能带中的轨道数目 .....	128
7.5.1 金属和绝缘体 .....	128
小结 .....	129
习题 .....	129
<b>第 8 章 半导体晶体</b> .....	131
8.1 带隙 .....	133
8.2 运动方程 .....	135
8.2.1 公式 $\hbar k = F$ 的物理推导 .....	136
8.2.2 空穴 .....	137
8.2.3 有效质量 .....	139
8.2.4 有效质量的物理基础 .....	140
8.2.5 半导体中的有效质量 .....	141
8.2.6 硅和锗 .....	143
8.3 本征载流子浓度 .....	144
8.3.1 本征迁移率 .....	146
8.4 杂质导电性 .....	147
8.4.1 施主态 .....	147
8.4.2 受主态 .....	149
8.4.3 施主和受主的热致电离 .....	150
8.5 温差电效应 .....	150
8.6 半金属 .....	151
8.7 超晶格 .....	152
8.7.1 布洛赫振子 .....	152
8.7.2 齐纳隧道效应 .....	152
小结 .....	153
习题 .....	153

<b>第 9 章 费米面和金属</b> .....	155
约化布里渊区图式 .....	156
周期布里渊区图式 .....	158
9.1 费米面的结构 .....	158
9.1.1 近自由电子的情况 .....	159
9.2 电子轨道、空穴轨道和开放轨道 .....	161
9.3 能带的计算 .....	163
9.3.1 能带计算的紧束缚法 .....	163
9.3.2 维格纳-赛茨法 .....	165
9.3.3 内聚能 .....	166
9.3.4 赝势法 .....	167
9.4 费米面研究中的实验方法 .....	170
9.4.1 磁场中的轨道量子化 .....	170
9.4.2 德哈斯-范阿尔芬效应 .....	171
9.4.3 极值轨道 .....	174
9.4.4 铜的费米面 .....	174
9.4.5 磁击穿 .....	176
小结 .....	177
习题 .....	177
<b>第 10 章 超导电性</b> .....	179
10.1 实验结果概述 .....	180
10.1.1 超导电性的普遍性 .....	182
10.1.2 磁场导致超导电性的破坏 .....	182
10.1.3 迈斯纳效应 .....	183
10.1.4 比热容 .....	185
10.1.5 能隙 .....	186
10.1.6 微波及红外性质 .....	187
10.1.7 同位素效应 .....	188
10.2 理论研究概述 .....	188
10.2.1 超导相变热力学 .....	188
10.2.2 伦敦方程 .....	190
10.2.3 相干长度 .....	192
10.2.4 超导电性的 BCS 理论 .....	193
10.2.5 BCS 基态 .....	193
10.2.6 超导环内的磁通量子化 .....	194
10.2.7 持续电流的存在时间 .....	196
10.2.8 第 II 类超导体 .....	196
10.2.9 涡旋态 .....	197
10.2.10 $H_{c1}$ 和 $H_{c2}$ 的估算 .....	197

10.2.11	单粒子隧道效应	199
10.2.12	约瑟夫森超导体隧道贯穿现象	200
10.2.13	直流 (DC) 约瑟夫森效应	200
10.2.14	交流 (AC) 约瑟夫森效应	201
10.2.15	宏观量子相干性	202
10.3	高温超导体	203
	小结 (CGS)	204
	习题	204
	参考文献	205
<b>第 11 章</b>	<b>抗磁性与顺磁性</b>	206
11.1	朗之万抗磁性方程	207
11.2	单核体系抗磁性的量子理论	208
11.3	顺磁性	209
11.4	顺磁性的量子理论	209
11.4.1	稀土离子	211
11.4.2	洪德定则	211
11.4.3	铁族离子	212
11.4.4	晶体场劈裂	213
11.4.5	轨道角动量猝灭	213
11.4.6	光谱劈裂因子	215
11.4.7	与温度无关的范弗莱克顺磁性	215
11.5	绝热去磁致冷	216
11.5.1	核去磁	217
11.6	传导电子的顺磁磁化率	218
	小结 (CGS)	220
	习题	220
<b>第 12 章</b>	<b>铁磁性与反铁磁性</b>	222
12.1	铁磁序	223
12.1.1	居里点和交换积分	223
12.1.2	饱和磁化强度对温度的依赖关系	225
12.1.3	绝对零度下的饱和磁化强度	226
12.2	磁波子	228
12.2.1	自旋波的量子化	230
12.2.2	磁波子的热激发	230
12.3	中子磁散射	231
12.4	亚铁磁序	232
12.4.1	亚铁磁体的居里温度及其磁化率	233
12.4.2	铁石榴石 (Iron Garnets)	234

12.5	反铁磁序	234
12.5.1	奈尔温度以下的磁化率	236
12.5.2	反铁磁性磁波子	237
12.6	铁磁畴	238
12.6.1	各向异性能	239
12.6.2	畴间的过渡区域	240
12.6.3	磁畴的起因	241
12.6.4	矫顽力和磁滞	242
12.7	单畴粒子	243
12.7.1	地磁和生物磁性现象	244
12.7.2	磁力显微术	244
	小结 (CGS)	245
	习题	245
<b>第 13 章</b>	<b>磁共振</b>	<b>248</b>
13.1	核磁共振	249
13.1.1	运动方程	250
13.2	谱线宽度	254
13.2.1	线宽的运动致窄效应	254
13.3	超精细劈裂	256
13.3.1	举例: 顺磁性点缺陷	257
	A. 卤化碱晶体中的 F 心	257
	B. 硅中的施主原子	259
13.3.2	奈特移位 (Knight Shift)	259
13.4	核四极矩共振	260
13.5	铁磁共振	260
13.5.1	铁磁共振 (FMR) 中的形状效应	261
13.5.2	自旋波共振	261
13.6	反铁磁共振	263
13.7	电子顺磁共振	264
13.7.1	线宽的交换致窄效应	264
13.7.2	谱线的零场劈裂现象	264
13.8	微波激射作用的原理	264
13.8.1	三能级微波激射器	265
13.8.2	激光器	266
	小结 (CGS)	267
	习题	267
<b>第 14 章</b>	<b>等离子子、电磁偶子和极化子</b>	<b>269</b>
14.1	电子气的介电函数	270

14.1.1	介电函数的定义	270
14.1.2	等离子体光学	270
14.1.3	电磁波的色散关系	272
14.1.4	等离子体中的横光学模	272
14.1.5	金属的紫外透明性	273
14.1.6	纵等离子体振荡	273
14.2	等离子体子 (Plasmon)	274
14.3	静电屏蔽	276
14.3.1	屏蔽库仑势	278
14.3.2	赝势分量 $U(0)$	278
14.3.3	莫特型金属-绝缘体转变	279
14.3.4	金属中的屏蔽效应和声子	280
14.4	电磁耦子	280
14.4.1	LST 关系	282
14.5	电子-电子相互作用	285
14.5.1	费米液体	285
14.5.2	电子-电子碰撞	286
14.6	电子-声子相互作用: 极化子	287
14.7	线型金属的派尔斯失稳性	289
	小结 (CGS)	290
	习题	290

<b>第 15 章</b>	<b>光学过程与激子</b>	292
15.1	光学反射比	293
15.1.1	克拉默斯-克勒尼希关系	294
15.1.2	数学注释	295
15.1.3	举例: 无碰撞电子气的电导率	296
15.1.4	电子的带间跃迁	296
15.2	激子	297
15.2.1	弗仑克尔激子	298
	A. 卤化碱晶体	300
	B. 分子晶体	300
15.2.2	弱束缚 (莫特-万尼尔) 激子	301
15.2.3	激子凝聚为电子-空穴液滴 (EHD)	301
15.3	晶体中的拉曼效应	303
15.3.1	利用 X 射线得到的电子谱	304
15.4	快粒子在固体中的能量损失	305
	小结	307
	习题	307

<b>第 16 章 介电体和铁电体</b> .....	309
A. 麦克斯韦方程组 (Maxwell Equations) .....	310
B. 极化强度 (Polarization) .....	310
16.1 宏观电场 .....	311
16.1.1 退化场 $E_1$ .....	312
16.2 原子位置上的局部场 .....	314
16.2.1 洛伦兹场 $E_2$ .....	315
16.2.2 空腔内诸偶极子的场 $E_3$ .....	315
16.3 介电常量与极化率 .....	316
16.3.1 电子极化率 .....	317
16.3.2 电子极化率的经典理论 .....	318
16.4 结构相变 .....	318
16.5 铁电晶体 .....	319
16.5.1 铁电体的分类 .....	319
16.6 位移相变 .....	321
16.6.1 软光学声子 .....	322
16.6.2 相变的朗道 (Landau) 理论 .....	323
16.6.3 二级相变 .....	324
16.6.4 一级相变 .....	324
16.6.5 反铁电性 .....	325
16.6.6 铁电畴 .....	327
16.6.7 压电性 .....	327
小结 (CGS) .....	329
习题 .....	329
<b>第 17 章 表面与界面物理</b> .....	332
17.1 重构和弛豫 .....	332
17.2 表面晶体学 .....	333
17.2.1 反射高能电子衍射 .....	335
17.3 表面电子结构 .....	336
17.3.1 功函数 .....	336
17.3.2 热电子发射 .....	337
17.3.3 表面态 .....	337
17.3.4 表面上的切向输运 .....	338
17.4 二维通道情况下的磁致电阻效应 .....	339
17.4.1 整数量子霍尔效应 (IQHE) .....	340
17.4.2 真实系统中的 IQHE .....	341
17.4.3 分数量子霍尔效应 (FQHE) .....	342
17.5 p-n 结 .....	343
17.5.1 整流特性 .....	343



17.5.2	太阳电池和光生伏打型检测器	344
17.5.3	肖特基势垒	344
17.6	异质结结构	345
17.6.1	n-N 异质结	346
17.7	半导体激光器	347
17.8	发光二极管 (LED)	348
	习题	349
<b>第 18 章 纳米结构</b>		<b>351</b>
18.1	纳米结构的显微成像技术	353
18.1.1	电子显微技术	354
18.1.2	光学显微技术	355
18.1.3	扫描隧道显微技术	356
18.1.4	原子力显微技术	357
18.2	一维 (1D) 系统的电子结构	359
18.2.1	一维 (1D) 子带	359
18.2.2	范霍甫 (Van Hove) 奇点的光谱技术	360
18.2.3	一维金属——库仑相互作用和晶格耦合	360
18.3	一维情况下的电输运	363
18.3.1	电导量子化和 Landauer 公式	363
18.3.2	串联共振隧道效应中的双势垒	364
18.3.3	非相干相加和欧姆定律	366
18.3.4	定域化	366
18.3.5	电压探头及 Buttiker-Landauer 理论	367
18.4	零维 (0D) 系统的电子结构	370
18.4.1	量子化能级	370
18.4.2	半导体纳米晶	371
18.4.3	金属量子点	372
18.4.4	离散电荷态	373
18.5	零维 (0D) 情况下的电输运	375
18.5.1	库仑振荡	375
18.5.2	自旋、莫特绝缘体和近藤效应	377
18.5.3	超导量子点中的库珀对效应	378
18.6	振动性质和热学性质	379
18.6.1	量子化振动模	379
18.6.2	横振动	380
18.6.3	比热容及热输运	381
	小结	382
	习题	382