

21
第 1 卷

固体物理导论

[美] C. 基泰尔 著

科学出版社

固体物理导论

[美] C. 基泰尔 著

杨顺华 金怀诚 王鼎盛 译
杨天宇 王桂蓉 曾泽培

科学出版社

1979

内 容 简 介

本书译自基泰尔著《固体物理导论》1976年第五版。全书基本上概括了现代固体物理学的理论基础和重要课题,从晶体结构、点阵振动和电子运动的理论出发,引入各种元激发的模型概念,阐明固体的输运性质、光学性质、电介性质、磁学性质和力学性质,可供固体物理等有关专业的大学师生、研究生及工作人员参考。

C. Kittel

INTRODUCTION TO SOLID STATE PHYSICS

(5th edition)

John Wiley & Sons, Inc., 1976

固 体 物 理 导 论

[美] C. 基泰尔 著

杨顺华 金怀诚 王鼎盛 译
杨大宇 王桂蓉 曾泽培

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

岳 阳 地 区 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979年11月第一版 开本: 787×1092 1/32

1979年11月第一次印刷 印张: 21

印数: 0001—40,500 字数: 469,000

统一书号: 13031·394

本社书号: 1403·13—3

定 价: 2.10 元

译者前言

本书译自 C. 基泰尔著《固体物理导论》第五版(1976)。原书第一版出版于 1953 年。十余年来作者根据教学实践经验几经修订重版,已经有包括阿拉伯文在内的十一种文字译本,在国际上是一本比较受欢迎的固体物理学教材。本书内容基本上概括了现代固体物理学的理论基础和重要课题,着重于物理原理的阐明,论述深入浅出,流畅易读,既不过多涉及繁难的理论推导,也不偏重于讨论具体的固体器件的技术问题。书中还附有大量的插图和数值表,与正文配合,能够更清晰地表述所需要阐明的内容。书中所附参考书目,也经过著者精心挑选,确有参考价值。从以上这些方面看来,我们认为,在当前将此书译为中文,作为一本固体物理学的大学教材和科研人员的参考读物是有一定意义的,也可供在某一方面需要进一步深入学习的读者参考。

原书中有的印刷错误和笔误,凡是我们发现并且确认的,都已改正,一般没有加译注。

原书中物理量的数值和公式一般都用 CGS 单位制和 SI 单位制(国际单位制)并列表示。如有读者对于 SI 单位制系统不十分熟悉,可以参看《物理》杂志第 6 卷(1977)第 4 期第 236 页所载“国际单位制”一文,那里有比较清楚的说明。

原书第二版(1956 年版)曾有中文译本(万纾民等译,原高等教育出版社 1962 年出版)。但自第二版以来,原书内容和表达方式均有较大改进和增订,所以有必要按新版本重译。

本书由中国科学院物理研究所和中国科学技术大学同志合作翻译。翻译分工如下：第一、二章：物理所杨大宇；第三章至第八章：科大金怀诚；第九章、第十二章：物理所曾泽培、王桂蓉；第十四章至第十六章：物理所王鼎盛；第十、十一、十三、十七和第十八章：物理所杨顺华。全书最后由杨顺华负责校订。

本书译校者谨在此向对译稿提出过宝贵意见的李荫远、吴令安同志以及其他诸位同志致以深切谢意。

由于时间紧迫，译校者水平有限，不妥甚至错误之处恐在所难免，望广大读者指正。

译 者

一九七七年十二月

原 序

这是一部为理工科高年级学生和刚毕业学生用的固体物理学和材料科学的基础教材。

由于在晶体中原子和分子作有规则的排列，晶体表现出若干显著的特性，固体物理学主要就是论述这些特性。它们包括电子能带和固体的元激发：声子、等离（子体）激元、极化子、激子、磁振子和极化激元。本书讲述如何应用简单模型来了解它们。实际固体可能更为复杂，但是对简单模型的能力和效用无论怎样估价也不会失之过高。

本书初版于1953年问世，这是在晶体管的发明公布五年之后。当前，固体的革命正处在它发展的全盛时期。由于实验和理论之间有益的相互影响，固体物理学之发展令人感到振奋；这一情况可由过去十年中诺贝尔奖金的授奖情况作证。在全世界，从事固体物理的工作者比其它学科领域都多。

在本书的这一新版中，为了帮助大学生们学习，我们作了新的努力。书的前半部分，直到讨论半导体物理的第八章，可以作为半学期或一个学期的课程，给学生提供关于固体物理学基础的导引。学习这一部分仅要求读者掌握一般程度的电磁学理论。如果再由第十二章至第十五章选出若干章节作为补充，就可以构成一个简短的教程。本书后半部分是将前面几章论述的材料应用于各个专门领域。学习这部分内容肯定要求掌握中级程度的电磁学基础；这些内容是：等离激元、光学性质、超导电性、铁电体和磁学。

关于超导体的讨论我们作了一些改进：对上临界场和下

临界场作了简单估计,采用约瑟夫森-安得生的方法推导伦敦公式,算出持续电流的寿命超过宇宙年龄. 在一般的固体物理教科书中,最普遍和最严重的缺点就是关于(例如半导体中)空穴性能的推导是不够完善的. 本书的这一版对于空穴的特性作了清晰而全面的论述. 本书新版所补充的新课题包括:派尔斯失稳性、磁泡、耿氏振荡器、太阳电池、阿耳文波、电子-空穴液滴以及温差电效应. 原 54 个附表中有不少作了修订;增加了大约 50 幅新的插图和许多新的习题.

本书系统阐述了固体器件的工作原理,虽然讨论了一些器件,但毕竟不是一本关于固体器件工艺的书,我们必须首先掌握的应该是原理.

本书课题的选择不应当被看作是一个衡量各个领域的重要性的标准,更不能把参考文献的选择看作是衡量个人贡献的标准. 仅仅一本教材并不能代表当前工作的广度. 关于这里没有讨论到的课题以及更详细的文献目录,可以参看 Seitz-Turnbull-Ehrenreich 所编的多卷文集《Solid State Physics》以及其他丛书中的评述文章. 在现有的文献中,可以提出大约 20,000 篇高质量的论文. 我试图从那些最易找到的英文文献中举例选出少量而有用的文章. 本书曾被译为法文、德文、西班牙文、意大利文、日文、俄文、波兰文、罗马尼亚文、匈牙利文、中文和阿拉伯文. 这些译文本往往补充了用这些语言写的另一些参考文献. 有一本为本书而编的好的辅助读物是用瑞典文写的.

重要的公式若在使用 SI 单位制和 CGS 单位制时表达式有所不同,则二者并列写出. 但在插图说明、各章小结以及一些较长的段落中有例外,在那里,读者只要作一个替换,将 c 换为 1 或 $1/4\pi\epsilon_0$. 换为 1,就可以从 CGS 制变换到 SI 制表示.

附表采用通用的单位制表示. 若干章的目录页上说明了

所采用的符号惯例，这些惯例使得两种单位制并列使用成为简单而自然*。符号 e 表示质子电荷，是一个正数。符号 (18) 表示该章内第 18 个公式，例如 (3.18)，表示第三章第 18 个公式。插图的图号也是这样。矢量上方所标的脱字符“^”，如 \hat{k} ，表示该矢量是单位矢量。较长或较难的习题前面都加上星号“*”标志。我们选取这些难题是便于教师额外评分。上一版中的附录有些已被编入新版正文章节，另一些由于讲授的机会较少而被删去。

本书新版的编写和出版是通过许多同事和朋友的协作而完成的，作者在此对他们表示感谢。（下略）

C. 基泰尔

* 各章目录页翻译时已删去，有关惯例放入脚注中。——译者

目 录

译者前言	i
原序	iii
论题索引	xxi
附表索引	xxiii
一般性参考书目	xxv

第一章 晶体结构

1.1 原子的周期性列阵	3
1.1.1 点阵平移矢量和点阵	3
1.1.2 对称操作	4
1.1.3 基元和晶体结构	6
1.1.4 点阵初基晶胞	8
1.2 点阵的基本类型	8
1.2.1 二维点阵类型	11
1.2.2 三维点阵类型	13
1.3 晶面指数系统	17
1.4 简单晶体结构	20
1.4.1 氯化钠结构	21
1.4.2 氯化铯结构	22
1.4.3 六角密堆积结构	23
1.4.4 金刚石结构	25
1.4.5 立方硫化锌结构	26
1.4.6 六角硫化锌(纤锌矿)结构	27
1.5 非理想晶体结构的出现	29
1.5.1 无规堆积和多型性	29
1.6 玻璃体	30
1.7 晶体结构资料的汇集	31

小结	34
习题	35
参考文献	36

第二章 晶体衍射和倒易点阵

2.0.1 入射束	38
2.0.2 布喇格定律	41
2.1 实验衍射方法	43
2.1.1 劳埃方法	43
2.1.2 旋转晶体方法	45
2.1.3 粉末方法	49
2.2 散射波振幅的推导	49
2.2.1 傅里叶分析	50
2.2.2 倒易点阵矢量	51
2.2.3 衍射条件	53
2.3 布里渊区	56
2.3.1 简单立方点阵的倒易点阵	59
2.3.2 体心立方点阵的倒易点阵	60
2.3.3 面心立方点阵的倒易点阵	62
2.4 基元的傅里叶分析	64
2.4.1 体心立方点阵的结构因子	65
2.4.2 面心立方点阵的结构因子	66
2.4.3 原子形状因子	68
2.5 反射谱线对温度的依赖关系	70
小结	74
习题	75
参考文献	80

第三章 晶体结合

3.1 惰性气体的晶体	82
3.1.1 范德瓦尔斯-伦敦相互作用	87
3.1.2 排斥相互作用	90
3.1.3 平衡点阵常数	92
3.1.4 内聚能	94
3.1.5 压缩率和体积弹性模量	95
3.2 离子晶体	97
3.2.1 静电能或马德隆能	98
3.2.2 马德隆常数的计算	101
3.3 共价晶体	105
3.4 金属晶体	109
3.5 氢键晶体	109
3.6 原子半径	110
3.6.1 四面体共价半径	113
3.6.2 离子晶体半径	113
小结	114
习题	115
参考文献	117

第四章 声子 I——点阵振动

4.1 单原子点阵的振动	119
4.1.1 第一布里渊区	123
4.1.2 群速	124
4.1.3 长波极限或连续统极限	125
4.1.4 由实验导出力常数	126
4.2 每个初基胞含有两个原子的点阵	126
4.3 点阵振动的量子化	131

4.4 声子动量	133
4.5 声子对中子的非弹性散射	135
小结	136
习题	137
参考文献	140

第五章 声子 II——热学性质

5.1 点阵热容	142
5.1.1 爱因斯坦模型	145
5.1.2 简正模式的计数法	146
5.1.3 一维情况下的模式密度	146
5.1.4 三维情况下的模式密度	150
5.1.5 实例: $\varrho(\omega)$ 的普遍表达式	151
5.1.6 点阵热容的德拜模型	153
5.2 非谐晶体相互作用	157
5.2.1 热膨胀	159
5.3 热传导	160
5.3.1 点阵热阻率	163
5.3.2 倒逆过程	166
5.3.3 缺陷	167
习题	170
参考文献	172

第六章 自由电子费密气体

6.1 一维情况下的能级和轨道密度	176
6.2 温度对费密-狄喇克分布的影响	178
6.3 三维情况下的自由电子气	179
6.4 电子气的热容	183
6.4.1 金属热容的实验结果	185

6.5 电导率和欧姆定律	187
6.5.1 金属电阻率的实验结果	190
6.6 磁场中的运动	192
6.6.1 霍尔效应	193
6.7 金属的热导率	196
6.7.1 热导率对电导率之比	197
习题	199
参考文献	202

第七章 能 带

7.1 近自由电子模型	204
7.1.1 能隙的起因	206
7.2 布洛赫函数	208
7.3 克朗尼格-朋奈模型	209
7.4 周期势场中电子的波动方程	211
7.4.1 电子的晶体动量	215
7.4.2 中心方程的解	216
7.4.3 布里渊区边界附近的近似解	218
7.5 能带中轨道的数目	221
7.5.1 金属和绝缘体	222
小结	223
习题	224
参考文献	226

第八章 半导体晶体

8.1 能带隙	230
8.2 运动方程	233
8.2.1 公式 $\hbar dk/dt = \mathbf{F}$ 的更完整的推导	234
8.2.2 空穴	236

8.2.3	有效质量	239
8.2.4	有效质量的物理基础	241
8.2.5	半导体中的有效质量	243
8.2.6	硅和锗	247
8.3	本征载流子浓度	249
8.3.1	本征区域中的迁移率	252
8.4	杂质导电性	253
8.4.1	施主和受主的热电离	257
8.4.2	杂质存在时的迁移率	258
8.5	半导体中的温差电效应	259
8.6	半金属	261
8.7	非晶态半导体	261
8.8	p-n 结	262
8.8.1	整流	264
8.8.2	太阳能电池和光生伏打检测器	265
8.8.3	肖特基势垒	266
8.8.4	耿氏效应振荡器	267
小结	268
习题	269
参考文献	271

第九章 费密面和金属

9.1	费密面的构成	278
9.2	电子轨道、空穴轨道和开放轨道	283
9.3	能带的计算	285
9.3.1	能带计算的紧束缚法	286
9.3.2	维格纳-赛茨法	291
9.3.3	赝势	294
9.4	费密面研究的实验方法	297

9.4.1 磁场内轨道的量子化	297
9.4.2 德哈斯-范阿耳芬效应	299
9.5 电阻率	308
小结	309
习题	310
参考文献	313

第十章 等离子激元、极化激元和极化子

10.1 电子气体的电介函数	315
10.1.1 等离子体光学	316
10.1.2 电磁波的色散关系	318
10.1.3 等离子体中的横光学模	319
10.1.4 纵等离子体振荡	321
10.2 等离子激元	322
10.3 静电屏蔽	325
10.3.1 莫特金属-绝缘体转变	329
10.3.2 金属中的屏蔽和声子	331
10.4 极化激元和 LST 关系	332
10.5 电子-电子相互作用: 费密液体	341
10.6 电子-声子相互作用: 极化子	345
10.7 线型金属的派尔斯失稳性	348
小结	351
习题	351
参考文献	355

第十一章 光学过程和激子

11.1 光学反射比	357
11.1.1 克喇末-克朗尼格关系	358

11.1.2 带间电子跃迁	365
11.2 激子	367
11.2.1 夫伦克耳激子	370
11.2.2 弱束缚激子	376
11.2.3 激子凝聚为电子-空穴液滴	377
11.3 晶体中的喇曼效应	379
11.3.1 用X射线得出的电子谱	383
11.4 快速粒子在固体中的能量损失	384
小结	387
习题	388
参考文献	391

第十二章 超 导 电 性

12.1 实验概述	394
12.1.1 超导电性的出现	395
12.1.2 磁场引致超导电性的破坏	397
12.1.3 迈斯纳效应	398
12.1.4 热容	402
12.1.5 能隙	402
12.1.6 微波性质和红外性质	406
12.1.7 同位素效应	406
12.2 理论概述	407
12.2.1 超导转变热力学	408
12.2.2 伦敦方程	411
12.2.3 相干长度	414
12.2.4 超导电性的BCS理论	416
12.2.5 超导环内的磁通量子化	419
12.2.6 持续电流的存在时间	422
12.2.7 第II类超导体	423

12.2.8 单粒子隧道贯穿现象	428
12.2.9 约瑟夫森超导体隧道贯穿现象	430
小结	435
习题	436
参考文献	439

第十三章 电介质与铁电体

13.1 宏观电场	443
13.1.1 退极化场 E_1	445
13.2 原子位置上的局部电场	447
13.2.1 洛伦兹场 E_2	450
13.2.2 空腔内诸偶极子的场 E_3	450
13.3 电介常数与电极化率	451
13.3.1 电子极化率	453
13.4 铁电晶体	455
13.4.1 铁电晶体的分类	457
13.5 极化强度突变	461
13.5.1 相变的朗道理论	463
13.5.2 二级相变	464
13.5.3 一级相变	465
13.6 软光学声子	467
13.6.1 反铁电性	469
13.6.2 铁电畴	470
13.6.3 压电性	472
13.6.4 铁弹性	473
小结	474
习题	475
参考文献	478