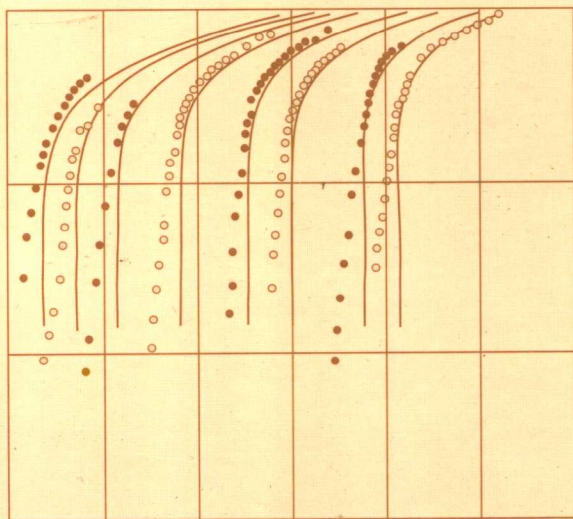


半导体科学与技术丛书

窄禁带半导体物理学

褚君浩 著



科学出版社

www.sciencep.com

半导体科学与技术丛书



华夏英才基金学术文库

窄禁带半导体物理学

褚君浩 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要讨论窄禁带半导体的基本物理性质,包括晶体生长,能带结构,光学性质,晶格振动,自由载流子的激发、运输和复合,杂质缺陷,表面界面,二维电子气,超晶格和量子阱,器件物理和应用等方面的基本物理现象、效应和规律以及近年来的主要研究进展。在窄禁带半导体物理研究过程中建立的新型实验方法及器件应用也在书中有所介绍。

本书可供从事红外物理与技术研究的科技人员参考,也可供从事固体物理、半导体物理研究和教学的教师以及相关专业的研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

窄禁带半导体物理学/褚君浩著. —北京:科学出版社, 2005
(半导体科学与技术丛书)
ISBN 7-03-014414-7

I. 窄… II. 褚… III. 半导体物理学 IV. O47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 099001 号

责任编辑: 鄢德平 姚庆爽/ 责任校对: 钟 洋 宋玲玲

责任印制: 钱玉芬/ 封面设计: 王 浩

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 4 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2005 年 4 月第一次印刷 印张: 59 3/4

印数: 1~2 000 字数: 1 144 000

定价: 120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《半导体科学与技术丛书》编委会

名誉顾问：黄 昆 王守武 汤定元 王守觉

顾 问：(按姓氏拼音排序)

陈良惠	陈星弼	雷啸霖	李志坚	梁骏吾
沈学础	王 圩	王启明	王阳元	王占国
吴德馨	郑厚植	郑有炘		

主 编：夏建白

副 主 编：陈弘达 褚君浩 罗 毅 张 兴

编 委：(按姓氏拼音排序)

陈弘毅	陈诺夫	陈治明	杜国同	方祖捷
封松林	黄庆安	黄永箴	江风益	李国华
李晋闽	李树深	刘忠立	鲁华祥	马骁宇
钱 鹤	任晓敏	邵志标	申德振	沈光地
石 寅	王国宏	王建农	吴晓光	杨 辉
杨富华	余金中	俞育德	曾一平	张 荣
张国义	赵元富	祝宁华		

执行编辑：田士勇

《半导体科学与技术丛书》出版说明

半导体科学与技术在 20 世纪科学技术的突破性发展中起着关键的作用,它带动了新材料、新器件、新技术和新的交叉学科的发展创新,并在许多技术领域引起了革命性变革和进步,从而产生了现代的计算机产业、通信产业和 IT 技术。而目前发展迅速的半导体微/纳电子器件、光电子器件和量子信息又将推动本世纪的技术发展和产业革命。半导体科学技术已成为与国家经济发展、社会进步以及国防安全密切相关的重要的科学技术。

新中国成立以后,在国际上对中国禁运封锁的条件下,我国的科技工作者在老一辈科学家的带领下,自力更生,艰苦奋斗,从无到有,在我国半导体的发展历史上取得了许多“第一个”的成果,为我国半导体科学技术事业的发展,为国防建设和国民经济的发展做出过有重要历史影响的贡献。目前,在改革开放的大好形势下,我国新一代的半导体科技工作者继承老一辈科学家的优良传统,正在为发展我国的半导体事业、加快提高我国科技自主创新能力、推动我们国家在微电子和光电子产业中自主知识产权的发展而顽强拼搏。出版这套《半导体科学与技术丛书》的目的是总结我们自己的工作成果,发展我国的半导体事业,使我国成为世界上半导体科学技术的强国。

出版《半导体科学与技术丛书》是想请从事探索性和应用性研究的半导体工作者总结和介绍国际和中国科学家在半导体前沿领域,包括半导体物理、材料、器件、电路等方面的进展和所开展的工作,总结自己的研究经验,吸引更多的年轻人投入和献身到半导体研究的事业中来,为他们提供一套有用的参考书或教材,使他们尽快地进入这一领域中进行创新性的学习和研究,为发展我国的半导体事业做出自己的贡献。

《半导体科学与技术丛书》将致力于反映半导体学科各个领域的基本内容和最新进展,力求覆盖较广阔的前沿领域,展望该专题的发展前景。丛书中的每一册将尽可能讲清一个专题,而不求面面俱到。在写作风格上,希望作者们能做到以大学高年级学生的水平为出发点,深入浅出,图文并茂,文献丰富,突出物理内容,避免冗长公式推导。我们欢迎广大从事半导体科学技术研究的工作者加入到丛书的编写中来。

愿这套丛书的出版既能为国内半导体领域的学者提供一个机会,将他们的累累硕果奉献给广大读者,又能对半导体科学和技术的教学和研究起到促进和推动作用。

夏建白

2005 年 3 月 16 日

序

20 世纪 50 年代出现一门半导体学科,从 IV 族元素半导体到 III-V 族二元化合物半导体都有不同程度的研究。其中禁带最窄的半导体是 InSb(室温下禁带宽度为 0.18eV)。由于红外探测技术的需要,1959 年出现了以 II-VI 族二元化合物 HgTe 和 CdTe 为基础的三元化合物 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$,可以得到禁带更窄的半导体。改变 x 之值,有可能解决几个重要红外波段探测器的需要。同时禁带的变窄,出现一些有趣的物理特性。因而立即引起广泛的研究兴趣。1967 年即出现有关这一材料的国际性的专业讨论会。1976 年首次出现“窄禁带半导体”的国际讨论会。自那以后有关“II-VI 族半导体”或“窄禁带半导体”的专业讨论会,有国际的,有大西洋公约组织的,有各个国家的,真是层出不穷。每次会议规模都相当大,从而形成一个半导体物理学的重要分支——窄禁带半导体。在这迅速发展过程中,出版过不少有关这一半导体的论文专集。但作为全面综述窄禁带半导体有关研究成果的《窄禁带半导体物理学》,据本人所知,这还是国际上的第一本专著。

本书的编著者褚君浩教授曾在 HgCdTe 半导体的研究发展过程中做出过多方面的贡献,被认为是《窄禁带半导体物理学》一书最合适的编著者。1999 年国际著名的《Landolt-Boerstein 科学与技术中的数据和函数》出新版本时,就邀请他撰写有关 HgCdTe 的章节。2000 年美国 Kluwer Academic/Plenum 出版社计划出版《微科学丛书》(MicroScience Series)时,主编之一 A. Sher(曾任美国 II-VI 族材料物理与化学讨论会的主席)推荐褚君浩教授撰写《窄禁带半导体物理学》一书,现在这本书就是它的中文版。

本人有幸首先对这本《窄禁带半导体物理学》从头至尾通读一遍,真是受益匪浅。这本书对窄禁带半导体,主要是 HgCdTe 的各个方面,从晶体学的基本性质和制备方法,各个物理现象的基本原理、测试方法,还有从早期到最近的研究成果以及器件的原理和制备技术等,都有系统的清晰的论述。因而这本书不仅是从事窄禁带半导体研究、教学和产业人员必备的参考书,对所有从事半导体研究、教学和产业人员,也是值得一读的参考书。

潘宁元

2004 年 12 月

前 言

窄禁带半导体是半导体学科的分支学科。窄禁带半导体物理一方面反映了半导体的普遍规律,另一方面“窄禁带”的特点又赋予它许多新的特征,从而进一步丰富半导体学科。同时窄禁带半导体的发展又与红外光电子科学技术及其应用的发展紧密相连。因此本书在学术上对于半导体物理的发展会有一定意义,而且在应用上对于红外高技术发展研究也有一些参考价值。

关于窄禁带半导体物理已经有若干著作。1977年英国科学家 D. R. Lovett 出版“Semimetals & Narrow-bandgap Semiconductors”(London); 1978年德国科学家 R. Dornhaus and G. Nimtz 发表了一篇长篇总结文章,1983年再版,题为“The Properties and Applications of the HgCdTe Alloy System, in Narrow Gap Semiconductors”(Springer Tracts in Modern Physics Vol. 98, p119)。这两本书较系统地讨论了窄禁带半导体的物理性质,至今仍然是重要的参考书。1980年美国“Semiconductors and Semimetals”(Vol. 18)集中发表了关于 HgCdTe 材料器件的评述性论文集,是 HgCdTe 研究的重要参考文献。1991年中国科学家汤定元发表“窄禁带半导体红外探测器”(王守武主编,半导体器件研究与进展,北京:科学出版社,1~107),系统阐述了 HgCdTe 红外探测器的基本理论。1994年英国汇编出版一书,名为“Properties of Narrow Gap Cadmium-based Compounds”,其中有 关于 HgCdTe 窄禁带半导体有关物理和化学性质的多篇文章,本书提供了丰富的 Cd 基半导体材料性质的数据及有关资料。

本书以半导体物理研究为线条,阐述窄禁带半导体的一般科学规律,并结合国际国内在该领域的主要研究结果,包括作者在内的我国科学家的研究成果。同时注重建立基本规律与科学前沿探索的桥梁,尽可能介绍窄禁带半导体物理学的基本理论和研究方法,以及该领域学科前沿和材料器件相关的科学问题。希望本书能够对于国内相关科技工作者包括研究生、大学生在半导体物理和光电子研究领域的学习、研究和技术发展工作中起到一定参考作用。

本书得到汤定元先生的鼓励和指导,汤先生审阅了本书并提出宝贵意见。吕翔、邵军、黄志明、桂永胜等博士参加了部分章节的编写,常勇、李标、张新昌、王善力、蔡毅、刘坤和俞振中等许多博士和研究人员给予了帮助,吕翔承担了全部稿件的计算机编辑。本书的研究工作得到国家自然科学基金委、国家科技部、中国科学院和上海市科委等多方面的支持;本书的出版得

到华夏英才基金的资助；并得到汤定元院士和薛永琪院士的推荐。作者在此表示衷心的感谢。

褚君浩

中国科学院上海技术物理研究所

红外物理国家重点实验室

2004 年 4 月 18 日于上海

目 录

序

前言

第 1 章 概述	1
1.1 窄禁带半导体	1
1.2 现代红外光电子物理	6
1.2.1 红外材料平台	6
1.2.2 红外物理规律	7
1.2.3 红外功能器件	8
1.2.4 红外技术应用	9
参考文献	10
第 2 章 晶体	12
2.1 晶体生长的基本理论	12
2.1.1 引言	12
2.1.2 晶体生长热力学问题	15
2.1.3 晶体生长动力学问题	18
2.1.4 相图在晶体生长中的应用	21
2.1.5 分凝系数	29
2.1.6 凝固过程	33
2.2 体材料生长的主要方法	38
2.2.1 提拉法	38
2.2.2 布里奇曼方法	44
2.2.3 半熔法和 Te 溶剂法	49
2.2.4 固态再结晶方法	52
2.3 液相外延薄膜的生长	54
2.3.1 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 液相外延生长条件	55
2.3.2 液相外延的生长程序	60
2.3.3 不同方式液相外延的比较	67
2.3.4 影响 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 液相外延层质量的几个因素	69
2.4 分子束外延薄膜生长	71
2.4.1 分子束外延生长过程	71

2.4.2	反射式高能电子衍射原位检测技术(RHEED)	75
2.4.3	生长温度的监控	77
2.4.4	组分控制	82
2.5	晶体完整性	86
2.5.1	X 射线双晶衍射	86
2.5.2	形貌相	94
2.5.3	$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 外延薄膜中的沉淀相	96
2.5.4	Hg 空位	100
	参考文献	103
第 3 章	能带结构	108
3.1	能带结构的简要描述	108
3.1.1	能带理论的基本方法	108
3.1.2	窄禁带半导体的能带结构的简要描述	110
3.2	$k \cdot p$ 表象和本征方程	116
3.2.1	$k \cdot p$ 表象	116
3.2.2	本征方程	118
3.2.3	选择定则	122
3.3	能带结构计算	130
3.3.1	$k_0 = 0$ 的解	130
3.3.2	$k \cdot p$ 一级微扰	131
3.3.3	$k \cdot p$ 一级微扰和 $(\nabla U \times P) \cdot \sigma$ 一级微扰	132
3.3.4	$\Phi_{i\alpha}$ 、 $\Phi_{i\beta}$ 之间的二级微扰	136
3.3.5	H_{kso} (k 线性项) 的贡献	138
3.4	能带参数	141
3.4.1	禁带宽度	141
3.4.2	导带电子有效质量	155
3.4.3	动量矩阵元 P 和重空穴有效质量 m_{bh}	160
	参考文献	162
第 4 章	光学性质	165
4.1	光学常数和介电函数	165
4.1.1	一般概念	165
4.1.2	Kramerg-Kronig 关系和光学常数	167
4.1.3	折射系数的色散	170
4.1.4	电场和磁场对光学常数的影响	174
4.2	带间光跃迁的理论和实验	178

4.2.1 直接带间光跃迁的理论	178
4.2.2 带间光跃迁的实验研究	185
4.2.3 带间的间接跃迁	192
4.3 本征吸收光谱的表达式	195
4.3.1 吸收边的规律	195
4.3.2 本征吸收带的解析表达式	199
4.3.3 本征吸收系数的其他表达式	204
4.4 光学常数的直接测量	211
4.4.1 引言	211
4.4.2 椭圆偏振光谱方法基本原理	213
4.4.3 实际工作模式	217
4.4.4 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光学常数的红外椭圆偏振光谱研究	220
4.4.5 实时检测碲镉汞的组分	223
4.5 自由载流子的光学效应	229
4.5.1 Burstein-Moss 效应	230
4.5.2 自由载流子吸收的一般理论	239
4.5.3 碲镉汞外延薄膜的自由载流子吸收	243
4.5.4 自由载流子的磁光效应	253
4.6 材料的光学表征	260
4.6.1 用红外光吸收法测定 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 组分	261
4.6.2 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 组分 x 的横向均匀性	265
4.6.3 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 外延薄膜的纵向组分分布	268
4.6.4 利用红外透射光谱确定 MBE 的 HgCdTe/CdTe/GaAs 多层结构的参数	273
参考文献	278
第 5 章 输运性质	283
5.1 载流子浓度和费米能级	283
5.1.1 载流子统计规律	283
5.1.2 本征载流子浓度 n_i	285
5.1.3 补偿半导体中的载流子浓度和费米能级	295
5.2 电导率和迁移率	304
5.2.1 玻尔兹曼方程和电导率	304
5.2.2 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的电子迁移率的实验结果	308
5.2.3 $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的电子迁移率的表达式	313
5.2.4 $p\text{-HgCdTe}$ 空穴迁移率的表达式	316
5.3 磁场下的输运现象	317

5.3.1	电导率张量	317
5.3.2	霍尔效应	321
5.3.3	磁阻效应	325
5.3.4	磁输运测试方法和系统	329
5.4	多种载流子体系的迁移率谱	331
5.4.1	多种载流子体系的电导率张量	331
5.4.2	多种载流子拟合方法	333
5.4.3	迁移率谱分析方法	337
5.4.4	定量迁移率谱分析	340
5.5	量子效应	349
5.5.1	磁阻振荡	349
5.5.2	n-InSb 的纵向磁阻振荡	355
5.5.3	n-Hg _{1-x} Cd _x Te 的磁阻振荡	361
5.6	热电子效应	366
5.6.1	热电子	366
5.6.2	HgCdTe 的热电子效应	368
附录	迁移率谱的求解	375
	参考文献	377
第 6 章	晶格振动	380
6.1	声子谱	380
6.1.1	一维原子链的声子谱	380
6.1.2	声子谱的实验测量	383
6.1.3	声子谱的理论计算	386
6.2	晶格反射光谱	397
6.2.1	晶格振动的双模行为	397
6.2.2	晶格振动的多振子模型	400
6.2.3	等离子振荡量子-LO 声子耦合效应	405
6.2.4	HgCdTe 远红外光学常数	410
6.3	晶格吸收光谱	412
6.3.1	晶格吸收谱	412
6.3.2	双声子吸收	415
6.3.3	Hg _{1-x} Cd _x Te 混晶的低频吸收带	419
6.3.4	声子谱的特征估计	422
6.4	声子 Raman 散射	424
6.4.1	电极化率	424

6.4.2	散射截面	430
6.4.3	选择定则的应用	438
6.4.4	HgCdTe 的 Raman 散射	447
	参考文献	453
第 7 章	杂质缺陷	456
7.1	杂质缺陷的导电性和电离能	456
7.1.1	缺陷	456
7.1.2	杂质缺陷的化学分析和导电性	460
7.1.3	掺杂行为	465
7.1.4	杂质能级的理论估算方法	471
7.1.5	杂质缺陷的实验测量方法	481
7.2	浅杂质	492
7.2.1	引言	492
7.2.2	浅施主杂质	495
7.2.3	浅受主杂质缺陷	499
7.3	深能级	507
7.3.1	HgCdTe 的深能级瞬态谱	507
7.3.2	HgCdTe 的深能级导纳谱	516
7.4	共振缺陷态	521
7.4.1	共振缺陷态的电容谱测量方法	522
7.4.2	理论模型	525
7.4.3	阳离子替位杂质引起的共振态	527
7.5	杂质缺陷的光致发光谱	529
7.5.1	引言	529
7.5.2	光致发光的物理基础	530
7.5.3	Sb 掺杂 HgCdTe 的红外光致发光	542
7.5.4	As 掺杂 HgCdTe 薄膜的红外光致发光	546
7.5.5	Fe 杂质在 HgCdTe 中的行为	551
	参考文献	557
第 8 章	复合	562
8.1	复合机制和寿命	562
8.1.1	复合机制	562
8.1.2	连续性方程和寿命	564
8.1.3	碲镉汞中复合机制和寿命的简要描述	566
8.2	俄歇复合	572

8.2.1	俄歇复合过程的类型	572
8.2.2	俄歇寿命	572
8.3	Shockley-Read 复合	581
8.3.1	单能级复合中心	581
8.3.2	复杂情况下寿命的分析	585
8.4	辐射复合	589
8.4.1	半导体中的辐射复合过程	589
8.4.2	辐射复合的寿命	590
8.4.3	p 型 HgCdTe 材料的辐射复合	593
8.5	少数载流子寿命的测量	596
8.5.1	光调制红外吸收方法	596
8.5.2	微波反射法研究半导体少子寿命	605
8.5.3	扫描光致发光在寿命均匀性测量中的应用	607
8.5.4	HgCdTe 少数载流子寿命的实验研究	612
8.6	表面复合	618
8.6.1	表面复合效应	618
8.6.2	表面复合速度	623
8.6.3	表面固定电荷对 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导探测器性能的影响	625
	参考文献	630
第 9 章	表面二维电子气	632
9.1	MIS 结构	632
9.1.1	MIS 的经典理论	632
9.1.2	量子效应	638
9.2	子能带结构的理论模型	639
9.2.1	引言	639
9.2.2	自洽计算理论模型	642
9.3	子能带结构的实验研究	649
9.3.1	子能带结构的量子电容谱模型	649
9.3.2	非量子限情况下的量子电容谱	657
9.3.3	HgCdTe 表面二维电子气的实验研究	660
9.3.4	InSb 表面二维电子气的实验研究	666
9.4	色散关系和朗道能级	671
9.4.1	色散关系和朗道能级	671
9.4.2	子能带电子的波函数混合和有效 g^* 因子	677
9.5	表面积累层	682

9.5.1	$n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 表面积累层的理论模型	683
9.5.2	$n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 表面积累层的理论计算结果	685
9.5.3	$n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 表面积累层的实验结果	687
9.5.4	SdH 测量结果	689
9.6	表面界面	695
9.6.1	表面对 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导器件性能的影响	695
9.6.2	表面对 HgCdTe 光导器件的磁阻特性的影响	701
9.6.3	表面对 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 磁阻振荡的影响	706
9.6.4	表面对 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导器件的电阻率-温度关系的影响	708
	参考文献	710
第 10 章	超晶格和量子阱	713
10.1	半导体低维系统	713
10.1.1	能带的色散关系	713
10.1.2	态密度函数	718
10.1.3	光学跃迁与选择定则	720
10.2	低维结构的能带理论	723
10.2.1	体材料能带结构的回顾	723
10.2.2	异质结包络函数理论	727
10.2.3	HgTe 量子阱的特殊性质	734
10.3	低维结构的输运特性	736
10.3.1	二维电子气系统	736
10.3.2	Drude 模型	738
10.3.3	垂直磁场下的 Landau 能级	740
10.3.4	Landau 能级展宽	742
10.3.5	2DEG 的 Shubnikov-de Hass 振荡	743
10.3.6	量子霍尔效应	745
10.4	$\text{HgTe}/\text{HgCdTe}$ 超晶格量子阱的实验结果	750
10.4.1	$\text{HgTe}/\text{HgCdTe}$ 超晶格量子阱的光跃迁	750
10.4.2	典型的 SdH 振荡和整数量子霍尔效应	755
10.4.3	n 型 HgTe 量子阱中的 Rashba 自旋轨道耦合作用	758
	参考文献	766
第 11 章	器件物理	770
11.1	HgCdTe 光电导探测器	770
11.1.1	引言	770
11.1.2	光电导器件工作原理简介	771

11.1.3	器件性能参数	775
11.1.4	噪声	779
11.1.5	漂移和扩散对光导器件的影响	785
11.2	光伏型红外探测器	791
11.2.1	光伏器件简介	791
11.2.2	p-n 结光电二极管的电流-电压特性	794
11.2.3	p-n 结中的光电流	807
11.2.4	光伏型红外探测器的噪声机制	811
11.2.5	响应率、噪声等效功率和探测率	815
11.3	金属-绝缘体-半导体红外探测器	819
11.3.1	MIS 红外探测器工作原理	819
11.3.2	MIS 器件中的暗电流	825
11.4	低维系统红外探测器	831
11.4.1	引言	831
11.4.2	量子阱红外探测器的基本原理	833
11.4.3	束缚态-连续态跃迁型量子阱红外探测器	838
11.4.4	微带超晶格量子阱红外探测器	845
11.4.5	多波长量子阱红外探测器	848
11.4.6	量子点红外探测器	850
11.5	低维系统红外激光器	857
11.5.1	引言	857
11.5.2	子带间级联激光器的基本原理	859
11.5.3	子带间级联激光器的基本结构	863
11.5.4	含铋半导体中红外激光器	874
11.5.5	带间级联激光器	877
11.5.6	量子级联激光器的应用	883
11.6	单光子红外探测器	884
11.6.1	引言	884
11.6.2	APD 基本原理	886
11.6.3	APD 基本结构	891
11.6.4	单光子雪崩二极管基本工作原理	895
11.6.5	单光子红外探测器实例	901
	参考文献	907
附录 A	不同组分的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的物理量关系表	913
A1	禁带宽度 E_g (单位: eV)	913

A2	禁带宽度对应波长 λ_{E_g} (单位: μm)	918
A3	光电导响应的峰值波长 λ_{peak} 和截止波长 λ_{co} (单位: μm), 样品厚度 $d = 10\mu\text{m}$	922
A4	本征载流子浓度 n_i (单位: cm^{-3})	927
A5	导带底电子有效质量 m_0^*/m_0	930
附录 B	简要公式	933
B1	$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的禁带宽度	933
B2	$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导器件峰值波长 λ_{peak}	933
B3	$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导器件截止波长 λ_{co}	933
B4	$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 本征载流子浓度	933
B5	$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 电子迁移率	934
B6	$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 介电常数	934
B7	$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 吸收系数	934
B8	$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 导带底电子有效质量	934