



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电子信息与电气学科规划教材·电子科学与技术专业

半导体物理学

(第7版)

刘恩科 朱秉升 罗晋生 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子信息与电气学科规划教材·电子科学与技术专业

半导体物理学

(第7版)

刘恩科 朱秉升 罗晋生 编著

责任编辑: 陈燕

电话: (010) 88254396; (010) 88258888

地址: 北京市朝外大街22号

邮编: 100020

网址: <http://www.cvip.com.cn>

电子邮箱: dbqq@phei.com.cn

发行部: 010-88254396

编辑部: 010-88254397

地址: 北京市朝外大街22号

邮编: 100020

责任编辑: 陈燕

地址: 北京市朝外大街22号

邮编: 100020

电话: 010-88254396

地址: 北京市朝外大街22号

邮编: 100020

电话: 010-88254396

地址: 北京市朝外大街22号

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书较全面地论述了半导体物理的基础知识。全书共 13 章,主要内容为:半导体的晶格结构和电子状态;杂质和缺陷能级;载流子的统计分布;载流子的散射及电导问题;非平衡载流子的产生、复合及其运动规律;pn 结;金属和半导体的接触;半导体表面及 MIS 结构;半导体异质结构;半导体的光、热、磁、压阻等物理现象和非晶态半导体。

本书可作为工科电子信息类微电子技术、半导体器件专业学生的教材,也可供从事相关专业的科技人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

半导体物理学/刘恩科等编著. —7 版. —北京:电子工业出版社,2008.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材·电子信息与电气学科规划教材·电子科学与技术专业
ISBN 978-7-121-06366-4

I. 半… II. 刘… III. 半导体物理学—高等学校—教材 IV. O47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 049100 号

责任编辑:陈晓莉 特约编辑:李双庆

印 刷:北京冶金大业印刷有限公司

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:28 字数:716.8 千字

版 次:2008 年 5 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:39.50 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

再版前言

本教材第一版于1979年12月由国防工业出版社出版。以后,被推荐列入原电子工业部教材办公室组织编导的1982—1985年、1986—1990年、1991—1995年年度的高等学校工科电子类专业教材编审出版规划,并由《电子材料与固体器件》教材编审委员会《半导体物理与器件》编审组负责编审、推荐出版。此后,再次被推荐为国家级重点教材,并列入电子工业部的1996—2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划,由微电子技术专业教学指导委员会负责编审、推荐出版。2006年纳入普通高等教育“十一五”国家级规划教材,修订出版。

按照各次教材规划的要求,本教材第二版于1984年5月由上海科学技术出版社出版,并于1987年12月获电子工业部1977—1985年年度工科电子类专业优秀教材特等奖,1988年1月获全国高等学校优秀教材奖。第三版于1989年5月由国防工业出版社出版,并于1992年1月获第二届机械电子工业部电子类专业优秀教材特等奖,1992年11月获第二届普通高等学校优秀教材全国特等奖。第四版于1994年4月由国防工业出版社出版,第五版于1998年10月由西安交通大学出版社出版。第六版于2003年8月由电子工业出版社出版。

本教材共13章,主要内容为:半导体的晶格结构和电子状态;杂质和缺陷能级;载流子的统计分布;载流子的散射及电导问题;非平衡载流子的产生、复合及其运动规律;pn结;金属和半导体的接触;半导体表面及MIS结构;半导体异质结构;半导体的光、热、磁、压阻等物理现象和非晶态半导体。各章末都附有习题和参考资料供教师、学生选用。

本教材由西安交通大学刘恩科担任主编。

本次修订由刘恩科,朱秉升,罗晋生进行。刘恩科负责第1.1~1.8、4、7、10.1~10.5、11、12章节及附录;朱秉升负责(刘恩科协助)第1.9、1.10、2、3、6、10.6、10.7章节;罗晋生负责第5、8、9、13章。主要做了以下一些工作:

(1)为了便于读者阅读其他有关科技书籍、文献资料,将波数矢量的大小定义为 $k = 2\pi/\lambda$,并将与之有关的所有公式做了相应的修改;

(2)电场强度改用 \mathcal{E} 表示,黑体 \mathcal{E} 表示矢量,非黑体 \mathcal{E} 表示标量,与之相应的公式均做了修改;

(3)常用的一些参数数据尽可能参阅近年来有关的文献资料并做了一定的更新,附录是按2004年美国出版由Madelung O.主编《Semiconductors: Data Book, 3rd edition》整理的;

(4)为便于理解GaN、AlN的能带,第1章增加了具有六方对称的纤锌矿结构的布里渊区;

(5)第2章增加了GaN、AlN、SiC中的杂质能级;

(6)第3章将载流子占据杂质能级的概率改用简并因子 g 表示的普遍公式;

(7)第4章简要地介绍了少数载流子迁移率的概念;

(8)第5章增加了硅的少数载流子寿命与扩散长度一节;

(9)第9章增加了GaN基半导体异质结构,介绍了极化效应及AlGaIn/GaN和InGaIn/

GaN 的异质结构及其特性;

(10)将原第9章中的半导体异质结在光电子器件中的应用一节移到第10章;

(11)由于罗晋生教授一丝不苟的作风,对第六版中不少错误进行了订正,期望经过这次修订尽可能将书中存在的错误降至最少。

使用本教材时,主要以前9章为主,第10章至第13章视各校情况选用。教学中第1章的1.1~1.4节视学生是否学习过固体物理学中的能带论酌情处理,pn结一章着重在物理过程的分析,辅以必要的数学推导,至于与生产实际联系密切的内容是属于晶体管原理课程所解决的问题。

《半导体物理学》作为电子科学与技术专业的骨干课程之一,理论性和系统性均较强。为了帮助学生掌握并深刻理解课程中涉及的概念、理论和方法,以及增强解决实际问题的能力,又为本课程配套编写了《半导体物理学学习辅导及习题详解》一书(电子工业出版社出版)。

本教材由刘恩科编写第1章的1.1~1.8节,第4、11、12章及第10章的室温激子部分;朱秉升编写第2、3、6章及第1章的1.9节和1.10节,第5章5.4节中的俄歇复合,以及第9章的9.1节、9.6节,第10章的10.7节;罗晋生编写第8、13章,第4章4.2节中的合金散射,第5章的5.9节,第9章的9.2~9.5节;屠善洁编写第10章的10.1~10.6节;亢润民编写第5章的5.1~5.8节和第7章;附录由刘恩科、亢润民整理。

在各次修订时,主审和《半导体物理与器件》教材编审组全体委员及微电子技术专业教学指导委员会全体委员,以及使用本教材的各院校教师,都为本书提出许多宝贵意见。本次修订,部分院校的讲课教师及电子工业出版社的陈晓莉编审提供了很宝贵的意见,在此表示诚挚的感谢!

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编者

2008年4月

于西安交通大学

目 录

主要参数符号表	1
第 1 章 半导体中的电子状态	6
1.1 半导体的晶格结构和结合性质	6
1.1.1 金刚石型结构和共价键	6
1.1.2 闪锌矿型结构和混合键	7
1.1.3 纤锌矿型结构	8
1.2 半导体中的电子状态和能带	9
1.2.1 原子的能级和晶体的能带	9
1.2.2 半导体中电子的状态和能带	11
1.2.3 导体、半导体、绝缘体的能带	15
1.3 半导体中电子的运动 有效质量	17
1.3.1 半导体中 $E(k)$ 与 k 的关系	17
1.3.2 半导体中电子的平均速度	18
1.3.3 半导体中电子的加速度	18
1.3.4 有效质量的意义	19
1.4 本征半导体的导电机构 空穴	20
1.5 回旋共振	22
1.5.1 k 空间等能面	22
1.5.2 回旋共振	24
1.6 硅和锗的能带结构	26
1.6.1 硅和锗的导带结构	26
1.6.2 硅和锗的价带结构	28
1.7 III-V 族化合物半导体的能带结构	30
1.7.1 锑化铟的能带结构	31
1.7.2 砷化镓的能带结构	31
1.7.3 磷化镓和磷化铟的能带结构	32
1.7.4 混合晶体的能带结构	32
1.8 II-VI 族化合物半导体的能带结构	33
1.8.1 二元化合物的能带结构	33
1.8.2 混合晶体的能带结构	34
1.9 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金的能带	35
1.10 宽禁带半导体材料	37
1.10.1 GaN, AlN 的晶格结构和能带	37
1.10.2 SiC 的晶格结构与能带	40

习题	43
参考资料	43
第2章 半导体中杂质和缺陷能级	45
2.1 硅、锗晶体中的杂质能级	45
2.1.1 替位式杂质 间隙式杂质	45
2.1.2 施主杂质、施主能级	46
2.1.3 受主杂质、受主能级	48
2.1.4 浅能级杂质电离能的简单计算	49
2.1.5 杂质的补偿作用	50
2.1.6 深能级杂质	51
2.2 III-V族化合物中的杂质能级	54
2.3 氮化镓、氮化铝、碳化硅中的杂质能级	59
2.4 缺陷、位错能级	61
2.4.1 点缺陷	61
2.4.2 位错	62
习题	64
参考资料	64
第3章 半导体中载流子的统计分布	66
3.1 状态密度	66
3.1.1 k 空间中量子态的分布	67
3.1.2 状态密度	67
3.2 费米能级和载流子的统计分布	69
3.2.1 费米分布函数	69
3.2.2 玻耳兹曼分布函数	71
3.2.3 导带中的电子浓度和价带中的空穴浓度	72
3.2.4 载流子浓度乘积 $n_0 p_0$	75
3.3 本征半导体的载流子浓度	75
3.4 杂质半导体的载流子浓度	78
3.4.1 杂质能级上的电子和空穴	78
3.4.2 n型半导体的载流子浓度	79
3.5 一般情况下的载流子统计分布	88
3.6 简并半导体	93
3.6.1 简并半导体的载流子浓度	93
3.6.2 简并化条件	94
3.6.3 低温载流子冻析效应	96
3.6.4 禁带变窄效应	97
* 3.7 电子占据杂质能级的概率	99
3.7.1 电子占据杂质能级概率的讨论	99
3.7.2 求解统计分布函数	101

习题	102
参考资料	104
第 4 章 半导体的导电性	106
4.1 载流子的漂移运动和迁移率	106
4.1.1 欧姆定律	106
4.1.2 漂移速度和迁移率	107
4.1.3 半导体的电导率和迁移率	108
4.2 载流子的散射	109
4.2.1 载流子散射的概念	109
4.2.2 半导体的主要散射机构	110
4.3 迁移率与杂质浓度和温度的关系	116
4.3.1 平均自由时间和散射概率的关系	116
4.3.2 电导率、迁移率与平均自由时间的关系	117
4.3.3 迁移率与杂质和温度的关系	119
4.4 电阻率及其与杂质浓度和温度的关系	123
4.4.1 电阻率和杂质浓度的关系	123
4.4.2 电阻率随温度的变化	125
4.5 玻耳兹曼方程、电导率的统计理论	126
4.5.1 玻耳兹曼方程	126
4.5.2 弛豫时间近似	128
4.5.3 弱电场近似下玻耳兹曼方程的解	129
4.5.4 球形等能面半导体的电导率	130
4.6 强电场下的效应、热载流子	131
4.6.1 欧姆定律的偏离	131
4.6.2 平均漂移速度与电场强度的关系	133
4.7 多能谷散射、耿氏效应	137
4.7.1 多能谷散射、体内负微分电导	137
4.7.2 高场畴区及耿氏振荡	139
习题	141
参考资料	143
第 5 章 非平衡载流子	145
5.1 非平衡载流子的注入与复合	145
5.2 非平衡载流子的寿命	147
5.3 准费米能级	148
5.4 复合理论	149
5.4.1 直接复合	150
5.4.2 间接复合	152
5.4.3 表面复合	158
5.4.4 俄歇复合	159

5.5	陷阱效应	162
5.6	载流子的扩散运动	164
5.7	载流子的漂移扩散,爱因斯坦关系式	169
5.8	连续性方程式	171
5.9	硅的少数载流子寿命与扩散长度	176
	习题	178
	参考资料	179
第6章	pn结	181
6.1	pn结及其能带图	181
6.1.1	pn结的形成和杂质分布	181
6.1.2	空间电荷区	183
6.1.3	pn结能带图	183
6.1.4	pn结接触电势差	185
6.1.5	pn结的载流子分布	185
6.2	pn结电流电压特性	187
6.2.1	非平衡状态下的pn结	187
6.2.2	理想pn结模型及其电流电压方程	190
6.2.3	影响pn结电流电压特性偏离理想方程的各种因素	193
6.3	pn结电容	198
6.3.1	pn结电容的来源	198
6.3.2	突变结的势垒电容	199
6.3.3	线性缓变结的势垒电容	204
6.3.4	扩散电容	207
6.4	pn结击穿	208
6.4.1	雪崩击穿	208
6.4.2	隧道击穿(齐纳击穿)	209
6.4.3	热电击穿	211
6.5	pn结隧道效应	211
	习题	213
	参考资料	214
第7章	金属和半导体的接触	216
7.1	金属半导体接触及其能级图	216
7.1.1	金属和半导体的功函数	216
7.1.2	接触电势差	217
7.1.3	表面态对接触势垒的影响	219
7.2	金属半导体接触整流理论	221
7.2.1	扩散理论	222
7.2.2	热电子发射理论	225
7.2.3	镜像力和隧道效应的影响	227

7.2.4 肖特基势垒二极管	230
7.3 少数载流子的注入和欧姆接触	230
7.3.1 少数载流子的注入	230
7.3.2 欧姆接触	232
习题	233
参考资料	234
第 8 章 半导体表面与 MIS 结构	235
8.1 表面态	235
8.2 表面电场效应	238
8.2.1 空间电荷层及表面势	239
8.2.2 表面空间电荷层的电场、电势和电容	240
8.3 MIS 结构的 $C-V$ 特性	248
8.3.1 理想 MIS 结构的 $C-V$ 特性	249
8.3.2 金属与半导体功函数差对 MIS 结构 $C-V$ 特性的影响	253
8.3.3 绝缘层中电荷对 MIS 结构 $C-V$ 特性的影响	254
8.4 硅-二氧化硅系统的性质	256
8.4.1 二氧化硅中的可动离子	257
8.4.2 二氧化硅层中的固定表面电荷	258
8.4.3 在硅-二氧化硅界面处的快界面态	259
8.4.4 二氧化硅中的陷阱电荷	261
8.5 表面电导及迁移率	262
8.5.1 表面电导	262
8.5.2 表面载流子的有效迁移率	263
8.6 表面电场对 pn 结特性的影响	264
8.6.1 表面电场作用下 pn 结的能带图	264
8.6.2 表面电场作用下 pn 结的反向电流	267
8.6.3 表面电场对 pn 结击穿特性的影响	269
8.6.4 表面钝化	270
习题	270
参考资料	271
第 9 章 半导体异质结构	272
9.1 半导体异质结及其能带图	272
9.1.1 半导体异质结的能带图	272
9.1.2 突变反型异质结的接触电势差及势垒区宽度	278
9.1.3 突变反型异质结的势垒电容	281
9.1.4 突变同型异质结的若干公式	282
9.2 半导体异质 pn 结的电流电压特性及注入特性	283
9.2.1 突变异质 pn 结的电流-电压特性	283
9.2.2 异质 pn 结的注入特性	287

9.3 半导体异质结量子阱结构及其电子能态与特性	289
9.3.1 半导体调制掺杂异质结构界面量子阱	289
9.3.2 双异质结间的单量子阱结构	292
9.3.3 双势垒单量子阱结构及共振隧穿效应	296
9.4 半导体应变异质结构	297
9.4.1 应变异质结	297
9.4.2 应变异质结构中应变层材料能带的改性	298
9.5 GaN 基半导体异质结构	300
9.5.1 GaN, AlGa _N 和 InGa _N 的极化效应	300
9.5.2 Al _x Ga _{1-x} N/GaN 异质结构中二维电子气的形成	301
9.5.3 In _x Ga _{1-x} N/GaN 异质结构	304
9.6 半导体超晶格	305
习题	309
参考资料	310
第 10 章 半导体的光学性质和光电与发光现象	313
10.1 半导体的光学常数	313
10.1.1 折射率和吸收系数	313
10.1.2 反射系数和透射系数	316
10.2 半导体的光吸收	317
10.2.1 本征吸收	317
10.2.2 直接跃迁和间接跃迁	318
10.2.3 其他吸收过程	321
10.3 半导体的光电导	324
10.3.1 附加电导率	324
10.3.2 定态光电导及其弛豫过程	325
10.3.3 光电导灵敏度及光电导增益	328
10.3.4 复合和陷阱效应对光电导的影响	328
10.3.5 本征光电导的光谱分布	330
10.3.6 杂质光电导	331
10.4 半导体的光生伏特效应	331
10.4.1 pn 结的光生伏特效应	332
10.4.2 光电池的电流电压特性	332
10.5 半导体发光	334
10.5.1 辐射跃迁	334
10.5.2 发光效率	337
10.5.3 电致发光激发机构	338
10.6 半导体激光	339
10.6.1 自发辐射和受激辐射	339
10.6.2 分布反转	340

10.6.3	pn 结激光器原理	341
10.6.4	激光材料	344
10.7	半导体异质结在光电子器件中的应用	345
10.7.1	单异质结激光器	345
10.7.2	双异质结激光器	345
10.7.3	大光学腔激光器	346
	习题	347
	参考资料	348
第 11 章	半导体的热电性质	350
11.1	热电效应的一般描述	350
11.1.1	塞贝克效应	350
11.1.2	珀耳帖效应	351
11.1.3	汤姆逊效应	351
11.1.4	塞贝克系数、珀耳帖系数和汤姆逊系数间的关系	352
11.2	半导体的温差电动势率	353
11.2.1	一种载流子的绝对温差电动势率	353
11.2.2	两种载流子的绝对温差电动势率	356
11.2.3	两种材料的温差电动势率	357
11.3	半导体的珀耳帖效应	358
11.4	半导体的汤姆逊效应	360
11.5	半导体的热导率	360
11.5.1	载流子对热导率的贡献	361
11.5.2	声子对热导率的贡献	363
11.6	半导体热电效应的应用	364
	习题	365
	参考资料	365
第 12 章	半导体磁和压阻效应	366
12.1	霍耳效应	366
12.1.1	一种载流子的霍耳效应	366
12.1.2	载流子在电磁场中的运动	368
12.1.3	两种载流子的霍耳效应	371
12.1.4	霍耳效应的应用	372
12.2	磁阻效应	374
12.2.1	物理磁阻效应	374
12.2.2	几何磁阻效应	376
12.2.3	磁阻效应的应用	377
12.3	磁光效应	378
12.3.1	朗道(Landau)能级	378
12.3.2	带间磁光吸收	380

12.4	量子化霍尔效应	381
12.5	热磁效应	383
12.5.1	爱廷豪森效应	383
12.5.2	能斯特效应	384
12.5.3	里纪-勒杜克效应	385
12.6	光磁电效应	385
12.6.1	光扩散电势差	385
12.6.2	光磁电效应	387
12.7	压阻效应	389
12.7.1	压阻系数	390
12.7.2	液体静压强作用下的效应	391
12.7.3	单轴拉伸或压缩下的效应	393
12.7.4	压阻效应的应用	395
	习题	397
	参考资料	398
第13章	非晶态半导体	399
13.1	非晶态半导体的结构	399
13.2	非晶态半导体中的电子态	402
13.2.1	无序体系中电子态的定域化	402
13.2.2	迁移率边	404
13.2.3	非晶态半导体的能带模型	404
13.2.4	非晶态半导体的化学键结构	405
13.3	非晶态半导体中的缺陷、隙态与掺杂效应	407
13.3.1	四面体结构非晶态半导体中的缺陷和隙态	407
13.3.2	硫系非晶态半导体的缺陷与缺陷定域态	409
13.3.3	IV族元素非晶态半导体的掺杂效应	412
13.4	非晶态半导体中的电学性质	413
13.4.1	非晶态半导体的导电机理	413
13.4.2	非晶态半导体的漂移迁移率	417
13.4.3	非晶态半导体的弥散输运过程	418
13.5	非晶态半导体中的光学性质	420
13.5.1	非晶态半导体的光吸收	420
13.5.2	非晶态半导体的光电导	422
13.6	a-Si:H的pn结与金属-半导体接触特性	424
	参考资料	425
附录A	常用物理常数和能量表达变换表	427
附录B	半导体材料物理性质表	428
	参考资料	434

主要参数符号表

A	pn 结面积	E_{FP}	空穴准费米能级
A^*	有效里查逊常数	E_{g}	禁带宽度
A_{MJ}	冶金结面积	E_{i}	(1)本征费米能级 (2)禁带中部位置
a	(1)晶格常数 (2)加速度	E_{SA}	受主界面态
B	磁感应强度	E_{SD}	施主界面态
b	(1)宽度 (2)电子与空穴迁移率之比	E_{t}	复合中心能级
C	微分电容	E_{v}	(1)价带顶能量 (2)非晶半导体价带顶迁移率边
C_{D}	扩散电容	E_0	真空电子静止能量
C_{FB}	表面平带电容	E_{op}	光学能隙
C_{o}	氧化层电容	\mathcal{E}	电场强度
C_{s}	表面微分电容	\mathcal{E}_{v}	霍耳电场强度
C_{T}	势垒电容	\mathcal{E}_{c}	(1)临界电场强度 (2)导带形变势常数
c	(1)弹性模量 (2)真空中光速	\mathcal{E}_{v}	价带形变势常数
c_{l}	纵向弹性模量	F	(1)自由能 (2)力
c_{t}	横向弹性模量	f	力
D	(1)电位移 (2)双极扩散系数	$f(E)$	费米分布函数
D_{n}	电子扩散系数	$f_{\text{B}}(E)$	玻耳兹曼分布函数
D_{o}	杂质在 SiO_2 中扩散系数	$f_0(E)$	平衡态分布函数
D_{p}	空穴扩散系数	f_{SA}	受主界面态分布函数
d	厚度	f_{SD}	施主界面态分布函数
E	电子能量	G	(1)载流子净产生率 (2)光电导增益因子 (3)应变计灵敏度
E_{A}	受主能级	G_{FJ}	场感应结耗尽层单位体积载流子产生率
E_{a}	SiO_2 中扩散杂质激活能	G_{MJ}	冶金结耗尽层单位体积载流子产生率
E_{c}	(1)导带底能量 (2)非晶半导体导带底迁移率边	G_{S}	氧化层与硅界面完全耗尽时单位面积载流子产生率
E_{D}	施主能级	g	(1)激光增益系数
E_{F}	费米能级		
E_{Fn}	电子准费米能级		

	(2)基态简并度	L_D	德拜长度
$g(E)$	状态密度	L_n	电子扩散长度
$g_c(E)$	导带底附近状态密度	L_p	空穴扩散长度
g_t	阈值增益	$L_p(\mathcal{E})$	空穴牵引长度
$g_v(E)$	价带顶附近状态密度	l	(1)长度
H	磁场强度		(2)平均自由程
h	普朗克常数	l_n	电子平均自由程
\hbar	$h/2\pi$	l_o	光学声子平均自由程
I	(1)电流	m_0	电子惯性质量
	(2)发光强度	m_c	电导有效质量
I_F	正向电流	m_{dn}	电子态密度有效质量
I_G	势垒区产生电流	m_{dp}	空穴态密度有效质量
I_{gF}	场感应结耗尽区产生电流	m_l	纵向有效质量
I_{gM}	冶金结耗尽区产生电流	m_n^*	电子有效质量
I_L	光生电流	m_p^*	空穴有效质量
I_p	峰值电流	$(m_p)_h$	重空穴有效质量
I_r	正向复合电流	$(m_p)_l$	轻空穴有效质量
I_s	反向饱和电流	m_t	横向有效质量
I_{sc}	短路电流	N	(1)原胞数
I_v	谷值电流		(2)复数折射率
J	电流密度	N_A	受主浓度
J_F	正向电流密度	N_c	导带有效状态密度
J_{FD}	正向扩散电流密度	N_D	施主浓度
J_G	势垒区产生电流密度	N_{fc}	单位面积固定电荷数
J_n	电子电流密度	N_I	亲价对浓度
J_p	空穴电流密度	N_i	电离杂质浓度
J_{RD}	反向扩散电流密度	N_L	发光中心浓度
J_r	势垒区复合电流密度	N_{Na}	单位面积钠离子数
J_s	反向饱和电流密度	N_S	(1)单位面积界面态数
J_{sD}	扩散理论饱和电流密度		(2)两种材料交界处键密度
J_{sT}	热电子发射理论饱和电流密度	ΔN_S	两种材料交界处悬挂键密度
J_t	阈值电流密度	N_{SS}	单位能量间隔界面态数
j	能流密度	N_{st}	单位表面积复合中心数
k	波矢量	N_t	复合中心浓度
k	消光系数	N_V	变价对浓度
k_0	玻耳兹曼常数	N_v	价带有效状态密度
L	样品线度		

n	(1)电子浓度 (2)折射率	Q_B	强反型时电离受主负电荷面密度
n_0	平衡电子浓度	Q_{fc}	固定电荷面密度
Δn	非平衡电子浓度	Q_M	表面金属栅电荷面密度
n_D	中性施主浓度	Q_n	反型层中电子积累的电荷面密度
n_D^+	电离施主浓度	Q_{Na}	单位面积钠离子电荷
n_i	本征载流子浓度	Q_S	表面电荷面密度
$n_{n?0}$	n型平衡电子浓度	q	格波波矢
n_p	p型电子浓度	q	电子电荷
$n_{p?0}$	p型平衡电子浓度	qV_D	势垒高度
\bar{n}_q	平均声子数	$q\phi_0$	距价带顶表面能级,电子填至 $q\phi_0$ 表面呈电中性
n_s	表面载流子浓度	$q\phi_{ns}$	金属与n型半导体接触时金属势垒高度
n_t	复合中心能级上电子浓度	$q\phi_{ps}$	金属与p型半导体接触时金属势垒高度
$n_{t?0}$	n_t 的平衡值	R	(1)电阻
n_1	E_F 与 E_i 重合时导带平衡电子浓度		(2)反射系数
P	(1)散射概率 (2)隧道概率 (3)爱廷豪森系数		(3)复合率
P_a	吸收声子散射概率	R_H	霍尔系数
P_e	发射声子散射概率	R_{H0}	弱场霍尔系数
P_i	电离杂质散射概率	r	(1)复合概率
P_o	光学波散射概率		(2)俘获系数
P_S	晶格散射概率	r_n	电子俘获系数
p	(1)空穴浓度 (2)动量	r_p	空穴俘获系数
p_0	平衡空穴浓度	S	里纪-勒杜克系数
Δp	非平衡空穴浓度	S_n	电子扩散流密度
p_A	中性受主浓度	S_p	空穴扩散流密度
p_A^+	电离受主浓度	s	(1)截面积
$p_{n?0}$	n型平衡空穴浓度		(2)表面复合速度
p_p	p型空穴浓度	S_-	电子激发概率
$p_{p?0}$	p型平衡空穴浓度	S_+	空穴激发概率
p_1	E_F 和 E_t 重合时价带平衡空穴浓度	T	(1)透射概率
Q	(1)光生载流子产生率 (2)吸收热量 (3)电荷面密度		(2)应力
			(3)温度
		T_e	热电子温度
		t	时间
		U	非平衡载流子复合率
		U_d	直接净复合率

U_s	表面复合率 u_{eff}		(3)弥散系数 a_j
V	(1)电压 (2)电势 (3)体积	a_n a_p β	n型材料塞贝克系数 p型材料塞贝克系数 (1)压缩系数 (2)量子产额
V_B	$(E_i - E_F)/q$		(1)少子注入比 (2)泊松比 (3) $\tau \sim E^\gamma$
V_{BR}	pn结击穿电压	γ	
$V_{(\text{BR})\text{FJ}}$	场感应结击穿电压		
$V_{(\text{BR})\text{MJ}}$	冶金结击穿电压		
V_D	pn结接触电势差(内建电势差)	δ (或 E_n)	$E_c - E_F$ 或 $E_F - E_v$
V_F	正向偏压	ϵ	介电常数
V_{FB}	平带电压	ϵ_a	吸收一个声子的能量
V_G	MOS栅压	ϵ_e	发射一个声子的能量
V_H	霍耳电压	ϵ_r	相对介电常数
V_J	势垒区压降	ϵ_{ro}	氧化层相对介电常数
V_m	金属表面处电势	ϵ_{rs}	半导体相对介电常数
V_{ms}	金属-半导体接触电势差	ϵ_0	真空介电常数
V_p	扩散区压降	η	(1)能斯脱系数 (2)效率
V_s	表面势	Θ	塞贝克电动势
V_T	开启电压	θ	霍耳角
V_W	热击穿电压	κ	热导率
\bar{v}_d	平均漂移速度	λ	(1)波长 (2)弹性系数
v_T	热运动速度		
W	功函数	μ	(1)迁移率 (2)化学势 (3)磁导率
W_m	金属功函数		
W_s	半导体功函数		
X_C	临界势垒宽度	μ_0	(1)弱场迁移率 (2)真空磁导率
X_D	pn结耗尽层宽度		
x_d	表面耗尽层宽度	μ_H	霍耳迁移率
x_{dm}	表面耗尽层宽度极大值	μ_n	电子迁移率
x_j	pn结结深	μ_{ns}	表面电子迁移率
Y	杨氏模量	μ_p	空穴迁移率
\bar{Z}	平均配位数	μ_{ps}	表面空穴迁移率
Z_C	临界配位数	μ_r	相对磁导率
a	(1)吸收系数 (2)衰减系数	ν Ξ	频率 形变势