

高等学校电子科学与技术专业教材

# 半导体物理学

(第6版)

刘恩科 朱秉升 罗晋生 等编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等学校电子科学与技术专业教材

# 半导体物理学

(第6版)

刘恩科 朱秉升 罗晋生 等编著

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;半导体的表面和界面——包括 pn 结、金属半导体接触、半导体表面及 MIS 结构、半导体异质结;半导体的光、热、磁、压阻等物理现象和非晶半导体。

本书可作为高等学校电子信息类微电子技术、及相关专业学生的教材,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,朱秉升,罗晋生编著. —北京:电子工业出版社,2003.8

高等学校电子科学与技术专业教材

ISBN 7-5053-8985-8

I.半... II.①刘...②朱...③罗... III.半导体物理学—高等学校—教材 IV.047

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 068176 号

责任编辑:陈晓莉 特约编辑:晓耕

印 刷:北京大中印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:29 字数:650 千字

版 次:2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:38.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。  
联系电话:(010)68279077

# 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》,并由微电子技术专业教学指导委员会负责编审、推荐出版。

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。

本教材共13章,其中主要内容为: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;半导体的表面和界面——包括pn结,金属与半导体接触,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半导体。各章末都附有习题和参考资料供教师、学生选用。

本次修订由朱秉升、罗晋生主持。为了适应半导体材料与微电子技术的发展特别是化合物半导体方面的进展,本次修订主要增加或深化了如下内容:宽禁带半导体材料; $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金的能带;半导体异质pn结的电流电压特性及注入特性;半导体异质结量子阱结构及其电子能态与特性;半导体应变异质结构。删除了原第12章中的12.8节。

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。

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、9.5节、9.6节;罗晋生编写第8、13章,第4章4.2节中的合金散射,第9章的9.2~9.4节;屠善洁编写第10章;亢润民编写第5、7章;附录由刘恩科、亢润民整理。

在各次修订时,主审、《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

2003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	9
1.2 半导体中的电子状态和能带	10
1.2.1 原子的能级和晶体的能带	10
1.2.2 半导体中电子的状态和能带	12
1.2.3 导体、半导体、绝缘体的能带	16
1.3 半导体中电子的运动——有效质量	18
1.3.1 半导体中 $E(k)$ 与 $k$ 的关系	18
1.3.2 半导体中电子的平均速度	19
1.3.3 半导体中电子的加速度	19
1.3.4 有效质量的意义	20
1.4 本征半导体的导电机构——空穴	21
1.5 回旋共振	23
1.5.1 $k$ 空间等能面	24
1.5.2 回旋共振	25
1.6 硅和锗的能带结构	27
1.6.1 硅和锗的导带结构	27
1.6.2 硅和锗的价带结构	30
1.7 III-V 族化合物半导体的能带结构	32
1.7.1 锑化铟的能带结构	33
1.7.2 砷化镓的能带结构 <sup>[7]</sup>	33
1.7.3 磷化镓和磷化铟的能带结构	34
1.7.4 混合晶体的能带结构	34
1.8 II-VI 族化合物半导体的能带结构	35
1.8.1 二元化合物的能带结构	35
1.8.2 混合晶体的能带结构	36
1.9 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金的能带	37

1.10 宽禁带半导体材料 .....	39
1.10.1 SiC 的晶格结构与能带 .....	40
1.10.2 GaN, AlN 的晶格结构与能带 .....	43
习题 .....	44
参考资料 .....	44
<b>第 2 章 半导体中杂质和缺陷能级</b> .....	<b>46</b>
2.1 硅、锗晶体中的杂质能级 .....	46
2.1.1 替位式杂质 间隙式杂质 .....	46
2.1.2 施主杂质、施主能级 .....	48
2.1.3 受主杂质、受主能级 .....	49
2.1.4 浅能级杂质电离能的简单计算 <sup>[2,3]</sup> .....	50
2.1.5 杂质的补偿作用 .....	51
2.1.6 深能级杂质 .....	52
2.2 III-V 族化合物中的杂质能级 .....	55
2.3 缺陷、位错能级 .....	59
2.3.1 点缺陷 .....	59
2.3.2 位错 .....	61
习题 .....	62
参考资料 .....	62
<b>第 3 章 半导体中载流子的统计分布</b> .....	<b>64</b>
3.1 状态密度 .....	64
3.1.1 $k$ 空间中量子态的分布 .....	65
3.1.2 状态密度 .....	65
3.2 费米能级和载流子的统计分布 .....	67
3.2.1 费米分布函数 .....	67
3.2.2 玻耳兹曼分布函数 .....	69
3.2.3 导带中的电子浓度和价带中的空穴浓度 .....	70
3.2.4 载流子浓度乘积 $n_0 p_0$ .....	73
3.3 本征半导体的载流子浓度 .....	74
3.4 杂质半导体的载流子浓度 .....	77
3.4.1 杂质能级上的电子和空穴 .....	77
3.4.2 n 型半导体的载流子浓度 .....	78
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 .....	95

3.6.3 低温载流子冻析效应·····	96
3.6.4 禁带变窄效应·····	98
* 3.7 电子占据杂质能级的概率 ·····	100
3.7.1 求解统计分布函数 ·····	101
习题·····	103
参考资料·····	105
<b>第 4 章 半导体的导电性</b> ·····	107
4.1 载流子的漂移运动和迁移率 ·····	107
4.1.1 欧姆定律 ·····	107
4.1.2 漂移速度和迁移率 ·····	108
4.1.3 半导体的电导率和迁移率 ·····	109
4.2 载流子的散射 ·····	110
4.2.1 载流子散射的概念 ·····	110
4.2.2 半导体的主要散射机构 <sup>[1]</sup> ·····	111
4.3 迁移率与杂质浓度和温度的关系 ·····	118
4.3.1 平均自由时间和散射概率的关系 ·····	118
4.3.2 电导率、迁移率与平均自由时间的关系·····	119
4.3.3 迁移率与杂质和温度的关系 ·····	121
4.4 电阻率及其与杂质浓度和温度的关系 ·····	124
4.4.1 电阻率和杂质浓度的关系 ·····	125
4.4.2 电阻率随温度的变化 ·····	126
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 ·····	127
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 ·····	131
4.6 强电场下的效应、热载流子·····	133
4.6.1 欧姆定律的偏离 ·····	133
4.6.2 平均漂移速度与电场强度的关系 ·····	134
4.7 多能谷散射 耿氏效应 ·····	139
4.7.1 多能谷散射、体内负微分电导·····	139
4.7.2 高场畴区及耿氏振荡 ·····	141
习题·····	143
参考资料·····	144
<b>第 5 章 非平衡载流子</b> ·····	146
5.1 非平衡载流子的注入与复合 ·····	146



5.2	非平衡载流子的寿命 .....	148
5.3	准费米能级 .....	149
5.4	复合理论 .....	151
5.4.1	直接复合 .....	151
5.4.2	间接复合 .....	153
5.4.3	表面复合 .....	160
5.4.4	俄歇复合 .....	162
5.5	陷阱效应 .....	164
5.6	载流子的扩散运动 .....	167
5.7	载流子的漂移运动, 爱因斯坦关系式 .....	172
5.8	连续性方程式 .....	174
	习题 .....	180
	参考资料 .....	181
<b>第 6 章</b>	<b>pn 结 .....</b>	<b>182</b>
6.1	pn 结及其能带图 .....	182
6.1.1	pn 结的形成和杂质分布 <sup>[1~3]</sup> .....	182
6.1.2	空间电荷区 .....	183
6.1.3	pn 结能带图 .....	184
6.1.4	pn 结接触电势差 .....	186
6.1.5	结的载流子分布 .....	187
6.2	pn 结电流电压特性 .....	188
6.2.1	非平衡状态下的 pn 结 .....	188
6.2.2	理想 pn 结模型及其电流电压方程 <sup>[4]</sup> .....	191
6.2.3	影响 pn 结电流电压特性偏离理想方程的各种因素 <sup>[1,2,5]</sup> .....	195
6.3	pn 结电容 .....	200
6.3.1	pn 结电容的来源 .....	200
6.3.2	突变结的势垒电容 .....	202
6.3.3	线性缓变结的势垒电容 .....	207
6.3.4	扩散电容 .....	210
6.4	pn 结击穿 .....	211
6.4.1	雪崩击穿 .....	212
6.4.2	隧道击穿(齐纳击穿) <sup>[10]</sup> .....	212
6.4.3	热电击穿 .....	214
6.5	pn 结隧道效应 .....	215
	习题 .....	217
	参考资料 .....	218

第 7 章 金属和半导体的接触	219
7.1 金属半导体接触及其能级图	219
7.1.1 金属和半导体的功函数	219
7.1.2 接触电势差	221
7.1.3 表面态对接触势垒的影响	223
7.2 金属半导体接触整流理论	225
7.2.1 扩散理论	226
7.2.2 热电子发射理论	229
7.2.3 镜像力和隧道效应的影响	231
7.2.4 肖特基势垒二极管	234
7.3 少数载流子的注入和欧姆接触	235
7.3.1 少数载流子的注入	235
7.3.2 欧姆接触	236
习题	238
参考资料	239
第 8 章 半导体表面与 MIS 结构	240
8.1 表面态	240
8.2 表面电场效应	243
8.2.1 空间电荷层及表面势	244
8.2.2 表面空间电荷层的电场、电势和电容	246
8.3 MIS 结构的电容 - 电压特性	254
8.3.1 理想 MIS 结构的电容 - 电压特性 <sup>[5,7]</sup>	254
8.3.2 金属与半导体功函数差对 MIS 结构 C-V 特性的影响 <sup>[5]</sup>	260
8.3.3 绝缘层中电荷对 MIS 结构 C-V 特性的影响 <sup>[7]</sup>	261
8.4 硅 - 二氧化硅系统的性质	262
8.4.1 二氧化硅中的可动离子 <sup>[8]</sup>	263
8.4.2 二氧化硅层中的固定表面电荷 <sup>[7]</sup>	265
8.4.3 在硅 - 二氧化硅界面处的快界面态 <sup>[5]</sup>	266
8.4.4 二氧化硅中的陷阱电荷 <sup>[7]</sup>	268
8.5 表面电导及迁移率	269
8.5.1 表面电导 <sup>[1]</sup>	269
8.5.2 表面载流子的有效迁移率	270
8.6 表面电场对 pn 结特性的影响	271
8.6.1 表面电场作用下 pn 结的能带图	271
8.6.2 表面电场作用下 pn 结的反向电流	274
8.6.3 表面电场对 pn 结击穿特性的影响	276

8.6.4 表面纯化 .....	277
习题 .....	278
参考资料 .....	278
<b>第 9 章 半导体异质结构</b> .....	<b>280</b>
9.1 半导体异质结及其能带图 .....	280
9.1.1 半导体异质结的能带图 .....	280
9.1.2 突变反型异质结的接触电势差及势垒区宽度 .....	286
9.1.3 突变反型异质结的势垒电容 <sup>[4~8]</sup> .....	290
9.1.4 突变同型异质结的若干公式 .....	291
9.2 半导体异质 pn 结的电流电压特性及注入特性 .....	292
9.2.1 突变异质 pn 结的电流 - 电压特性 <sup>[7,17]</sup> .....	292
9.2.2 异质 pn 结的注入特性 <sup>[17]</sup> .....	296
9.3 半导体异质结量子阱结构及其电子能态与特性 .....	298
9.3.1 半导体调制掺杂异质结构界面量子阱 .....	298
9.3.2 双异质结间的单量子阱结构 .....	302
9.3.3 双势垒单量子阱结构及共振隧穿效应 <sup>[25]</sup> .....	306
9.4 半导体应变异质结构 .....	307
9.4.1 应变异质结 .....	308
9.4.2 应变异质结构中应变层材料能带的人工改性 .....	309
9.5 半导体超晶格 .....	310
9.6 半导体异质结在光电子器件中的应用 .....	315
9.6.1 单异质结激光器 .....	315
9.6.2 双异质结激光器 .....	316
9.6.3 大光学腔激光器 .....	317
习题 .....	317
参考资料 .....	318
<b>第 10 章 半导体的光学性质和光电与发光现象</b> .....	<b>321</b>
10.1 半导体的光学常数 .....	321
10.1.1 折射率和吸收系数 .....	321
10.1.2 反射系数和透射系数 .....	324
10.2 半导体的光吸收 .....	325
10.2.1 本征吸收 .....	325
10.2.2 直接跃迁和间接跃迁 .....	326
10.2.3 其他吸收过程 .....	329
10.3 半导体的光电导 .....	333
10.3.1 附加电导率 .....	333

10.3.2	定态光电导及其弛豫过程	334
10.3.3	光电导灵敏度及光电导增益	337
10.3.4	复合和陷阱效应对光电导的影响	338
10.3.5	本征光电导的光谱分布	339
10.3.6	杂质光电导	340
10.4	半导体的光生伏特效应	341
10.4.1	pn 结的光生伏特效应	341
10.4.2	光电池的电流电压特性	341
10.5	半导体发光	343
10.5.1	辐射跃迁	343
10.5.2	发光效率	346
10.5.3	电致发光激发机构	347
10.6	半导体激光	349
10.6.1	自发辐射和受激辐射	349
10.6.2	分布反转	350
10.6.3	pn 结激光器原理	351
10.6.4	激光材料	354
	习题	355
	参考资料	356
<b>第 11 章</b>	<b>半导体的热电性质</b>	<b>358</b>
11.1	热电效应的一般描述	358
11.1.1	塞贝克效应	358
11.1.2	珀耳帖效应	359
11.1.3	汤姆逊效应	359
11.1.4	塞贝克系数、珀耳帖系数和汤姆逊系数间的关系	360
11.2	半导体的温差电动势率	361
11.2.1	一种载流子的绝对温差电动势率	362
11.2.2	两种载流子的绝对温差电动势率	364
11.2.3	两种材料的温差电动势率	366
11.3	半导体的珀耳帖效应	367
11.4	半导体的汤姆逊效应	368
11.5	半导体的热导率	369
11.5.1	载流子对热导率的贡献	370
11.5.2	声子对热导率的贡献 <sup>[12]</sup>	372
11.6	半导体热电效应的应用	373
	习题	374

参考资料	374
<b>第 12 章 半导体磁和压阻效应</b>	<b>375</b>
12.1 霍耳效应	375
12.1.1 一种载流子的霍耳效应	375
12.1.2 载流子在电磁场中的运动	377
12.1.3 两种载流子的霍耳效应	380
12.1.4 霍耳效应的应用	382
12.2 磁阻效应	383
12.2.1 物理磁阻效应	384
12.2.2 几何磁阻效应	386
12.2.3 磁阻效应的应用 <sup>[8,9]</sup>	387
12.3 磁光效应	388
12.3.1 朗道(Landau)能级 <sup>[11]</sup>	388
12.3.2 带间磁光吸收	390
12.4 量子化霍耳效应	391
12.5 热磁效应	394
12.5.1 爱廷豪森效应	394
12.5.2 能斯脱效应	395
12.5.3 里纪-勒杜克效应	395
12.6 光磁电效应	396
12.6.1 光扩散电势差	396
12.6.2 光磁电效应 <sup>[15]</sup>	397
12.7 压阻效应	399
12.7.1 压阻系数	401
12.7.2 液体静压强作用下的效应	402
12.7.3 单轴拉伸或压缩下的效应	405
12.7.4 压阻效应的应用	406
习题	408
参考资料	409
<b>第 13 章 非晶态半导体</b>	<b>411</b>
13.1 非晶态半导体的结构	411
13.2 非晶态半导体中的电子态	414
13.2.1 无序体系中电子态的定域化	414
13.2.2 迁移率边	416
13.2.3 非晶半导体的能带模型	417
13.2.4 非晶态半导体的化学键结构	417

13.3 非晶态半导体中的缺陷、隙态与掺杂效应 .....	419
13.3.1 四面体结构非晶态半导体中的缺陷和隙态 .....	420
13.3.2 硫系非晶态半导体的缺陷与缺陷定域态 .....	422
13.3.3 IV族元素非晶半导体的掺杂效应 .....	425
13.4 非晶态半导体中的电学性质 .....	426
13.4.1 非晶态半导体的导电机理 .....	426
13.4.2 非晶态半导体的漂移迁移率 .....	430
13.4.3 非晶态半导体的弥散输运过程 .....	432
13.5 非晶态半导体中的光学性质 .....	433
13.5.1 非晶态半导体的光吸收 .....	433
13.5.2 非晶态半导体的光电导 .....	436
13.6 a-Si:H 的 pn 结与金 - 半接触特性 .....	438
参考资料 .....	439
附录 A 常用物理常数和能量表达变换表 .....	441
附录 B 半导体材料物理性质表 .....	442
参考资料 .....	449

# 主要参数符号表

$A$	pn 结面积	$E_F$	费米能级
$A^*$	有效里查逊常数	$E_{Fn}$	电子准费米能级
$A_{MJ}$	冶金结面积	$E_{Fp}$	空穴准费米能级
$a$	(1)晶格常数 (2)加速度	$E_g$	禁带宽度
$B$	磁感应强度	$E_i$	(1)本征费米能级 (2)禁带中部位置
$b$	(1)宽度 (2)电子与空穴迁移率之比	$E_{SA}$	受主界面态
$C$	微分电容	$E_{SD}$	施主界面态
$C_D$	扩散电容	$E_t$	复合中心能级
$C_{FB}$	表面平带电容	$E_v$	(1)价带顶能量 (2)非晶半导体价带顶迁移率边
$C_0$	氧化层电容	$E_0$	真空电子静止能量
$C_s$	表面微分电容	$E_{op}$	光学能隙
$C_T$	势垒电容	$E$	电场强度
$c$	(1)弹性模量 (2)真空中光速	$E_y$	霍耳电场强度
$c_l$	纵向弹性模量	$\epsilon_c$	(1)临界电场强度 (2)导带形变势常数
$c_t$	横向弹性模量	$\epsilon_v$	价带形变势常数
$D$	(1)电位移 (2)双极扩散系数	$F$	(1)自由能 (2)力
$D_n$	电子扩散系数	$f$	力
$D_o$	杂质在 $\text{SiO}_2$ 中扩散系数	$f(E)$	费米分布函数
$D_p$	空穴扩散系数	$f_B(E)$	玻耳兹曼分布函数
$d$	厚度	$f_0(E)$	平衡态分布函数
$E$	电子能量	$f_{SA}$	受主界面态分布函数
$E_A$	受主能级	$f_{SD}$	施主界面态分布函数
$E_a$	$\text{SiO}_2$ 中扩散杂质激活能	$G$	(1)载流子净产生率 (2)光电导增益因子 (3)应变计灵敏度
$E_c$	(1)导带底能量 (2)非晶半导体导带底迁移率		
$E_D$	施主能级		

$G_{\text{FJ}}$	场感应结耗尽层单位体积载流子产生率	$J_{\text{SD}}$	扩散理论饱和电流密度
$G_{\text{MJ}}$	冶金结耗尽层单位体积载流子产生率	$J_{\text{ST}}$	热电子发射理论饱和电流密度
$G_{\text{S}}$	氧化层与硅界面完全耗尽时单位面积载流子产生率	$J_{\text{t}}$	阈值电流密度
$g$	(1)激光增益系数 (2)基态简并度	$j$	能流密度
$g(E)$	状态密度	$k$	波矢量
$g_{\text{c}}(E)$	导带底附近状态密度	$k$	消光系数
$g_{\text{t}}$	阈值增益	$k_0$	玻耳兹曼常数
$g_{\text{v}}(E)$	价带顶附近状态密度	$L$	样品线度
$H$	磁场强度	$L_{\text{D}}$	德拜长度
$h$	普朗克常数	$L_{\text{n}}$	电子扩散长度
$\hbar$	$h/2\pi$	$L_{\text{p}}$	空穴扩散长度
$I$	(1)电流 (2)发光强度	$L_{\text{p}}( \mathbf{E} )$	空穴牵引长度
$I_{\text{F}}$	正向电流	$l$	(1)长度 (2)平均自由程
$I_{\text{G}}$	势垒区产生电流	$l_{\text{n}}$	电子平均自由程
$I_{\text{rF}}$	场感应结耗尽区产生电流	$l_{\text{o}}$	光学声子平均自由程
$I_{\text{rM}}$	冶金结耗尽区产生电流	$m_0$	电子惯性质量
$I_{\text{L}}$	光生电流	$m_{\text{c}}$	电导有效质量
$I_{\text{p}}$	峰值电流	$m_{\text{dn}}$	电子态密度有效质量
$I_{\text{r}}$	正向复合电流	$m_{\text{dp}}$	空穴态密度有效质量
$I_{\text{s}}$	反向饱和电流	$m_{\text{i}}$	纵向有效质量
$I_{\text{sc}}$	短路电流	$m_{\text{n}}^*$	电子有效质量
$I_{\text{v}}$	谷值电流	$m_{\text{p}}^*$	空穴有效质量
$J$	电流密度	$(m_{\text{p}})_{\text{h}}$	重空穴有效质量
$J_{\text{F}}$	正向电流密度	$(m_{\text{p}})_{\text{l}}$	轻空穴有效质量
$J_{\text{FD}}$	正向扩散电流密度	$m_{\text{t}}$	横向有效质量
$J_{\text{G}}$	势垒区产生电流密度	$N$	(1)原胞数 (2)复数折射率
$J_{\text{n}}$	电子电流密度	$N_{\text{A}}$	受主浓度
$J_{\text{p}}$	空穴电流密度	$N_{\text{C}}$	导带有效状态密度
$J_{\text{RD}}$	反向扩散电流密度	$N_{\text{D}}$	施主浓度
$J_{\text{r}}$	势垒区复合电流密度	$N_{\text{fc}}$	单位面积固定电荷数
$J_{\text{s}}$	反向饱和电流密度	$N_{\text{I}}$	亲价对浓度
		$N_{\text{i}}$	电离杂质浓度



$N_L$	发光中心浓度	$p$	(1)空穴浓度
$N_{Na}$	单位面积钠离子数		(2)动量
$N_S$	(1)单位面积界面态数	$p_0$	平衡空穴浓度
	(2)两种材料交界处键密度	$\Delta p$	非平衡空穴浓度
$\Delta N_S$	两种材料交界处悬挂键密度	$p_A$	中性受主浓度
$N_{SS}$	单位能量间隔界面态数	$p_{\bar{A}}$	电离受主浓度
$N_{st}$	单位表面积复合中心数	$p_{n0}$	n型平衡空穴浓度
$N_t$	复合中心浓度	$p_p$	p型空穴浓度
$N_V$	变价对浓度	$p_{p0}$	p型平衡空穴浓度
$N_v$	价带有效状态密度	$p_l$	$E_F$ 和 $E_t$ 重合时价带平衡空穴浓度
$n$	(1)电子浓度	$Q$	(1)光生载流子产生率
	(2)折射率		(2)吸收热量
$n_0$	平衡电子浓度		(3)电荷面密度
$\Delta n$	非平衡电子浓度	$Q_B$	强反型时电离受主负电荷面密度
$n_D$	中性施主浓度	$Q_{fc}$	固定电荷面密度
$n_D^+$	电离施主浓度	$Q_M$	表面金属栅电荷面密度
$n_i$	本征载流子浓度	$Q_n$	反型层中电子积累的电荷面密度
$n_{n0}$	n型平衡电子浓度	$Q_{Na}$	单位面积钠离子电荷
$n_p$	p型电子浓度	$Q_S$	表面电荷面密度
$n_{p0}$	p型平衡电子浓度	$q$	(1)电子电荷
$\bar{n}_q$	平均声子数		(2)格波波矢
$n_s$	表面载流子浓度	$qV_D$	势垒高度
$n_t$	复合中心能级上电子浓度	$q\phi_0$	距价带顶表面能级,电子填至 $q\phi_0$ 表面呈电中性
$n_{t,0}$	$n_t$ 的平衡值	$q\phi_{ns}$	金属与n型半导体接触时金属势垒高度
$n_l$	$E_F$ 与 $E_i$ 重合时导带平衡电子浓度		
$P$	(1)散射概率	$q\phi_{ps}$	金属与p型半导体接触时金属势垒高度
	(2)隧道概率	$R$	(1)电阻
	(3)爱廷豪森系数		(2)反射系数
$P_a$	吸收声子散射概率		(3)复合率
$P_e$	发射声子散射概率	$R_{Hl}$	霍尔系数
$P_i$	电离杂质散射概率	$R_{H0}$	弱场霍尔系数
$P_o$	光学波散射概率	$R_{+ \rightarrow -}$	非平衡转移率
$P_S$	晶格散射概率	$R_{- \rightarrow +}$	