

# 目 次

序

1

## 第 I 部 半導体物性

第 1 章 半導体内部の電子状態	7
1.1 はじめに	7
1.2 歴史的な経緯	8
1.3 水素原子模型の応用	9
1.3.1 水素原子の Bohr 模型	9
1.3.2 分子への応用：共有結合	16
1.3.3 量子数と Pauli の排他律	18
1.3.4 結晶固体における共有結合	19
1.4 波動・粒子の二重性	29
1.5 波動関数	31
1.5.1 確率と波動関数	31
1.6 電子の波動関数	31
1.6.1 1次元空間の自由電子	32
1.6.2 de Broglie の関係式	36
1.6.3 3次元系の自由電子*	37
1.6.4 擬似自由電子モデル	38
1.6.5 反射とトンネル	44
1.7 光の放射と吸収	46
1.8 結晶構造および結晶内の面と方向	52
1.9 まとめ	55
1.10 付録の参考文献リストについて	56
1.11 第 1 章の参考文献	56

1.12	復習のポイント	57
1.13	練習問題	57
<b>第2章</b>	<b>均一な半導体のキャリアとバンド構造</b>	<b>63</b>
2.1	はじめに	63
2.2	結晶内の電子に対する準古典力学	65
2.2.1	1次元結晶	65
2.2.2	3次元結晶*	71
2.3	伝導帯の構造	73
2.4	価電子帯の構造	74
2.5	真性半導体	76
2.6	外因性半導体(不純物半導体)	79
2.6.1	ドナー	80
2.6.2	アクセプター	84
2.7	正孔の概念	86
2.7.1	正孔の電荷	86
2.7.2	正孔の有効質量*	88
2.8	バンド内の電子の状態密度	90
2.8.1	状態密度と有効質量	91
2.9	Fermi-Dirac統計	93
2.9.1	バンド内の電子と正孔に対する Fermi-Dirac統計	94
2.10	電子と正孔のエネルギー分布	97
2.11	非縮退半導体におけるキャリア密度の温度依存性*	111
2.11.1	高温におけるキャリア密度*	112
2.11.2	低温におけるキャリア密度(キャリアの凍結)*	116
2.12	縮退半導体	117
2.12.1	不純物要因のバンドギャップ縮小	118
2.12.2	見かけのバンドギャップ縮小	121
2.12.3	縮退半導体のキャリア密度	123
2.13	まとめ	125
2.13.1	非縮退半導体	127
2.13.2	縮退半導体	128
2.14	付録の参考文献リストについて	129
2.15	第2章の参考文献	129
2.16	復習のポイント	130
2.17	練習問題	130
<b>第3章</b>	<b>均一な半導体におけるキャリアの挙動</b>	<b>139</b>
3.1	はじめに	139
3.2	ドリフト電流	139
3.3	キャリアの移動度	144

3.3.1	キャリアの散乱	149
3.3.2	移動度	151
3.3.3	不純物バンドの移動度	153
3.3.4	移動度の温度依存性	156
3.3.5	高電界の効果	157
3.4	拡散電流	159
3.5	キャリアの生成と再結合	164
3.5.1	バンド間のキャリア生成と再結合	165
3.5.2	2段階のキャリア生成と再結合	165
3.6	半導体における光学的な過程	167
3.6.1	光吸収*	167
3.6.2	光の放射*	172
3.7	連続の方程式	174
3.8	少数キャリアの寿命	177
3.8.1	上昇時間	180
3.8.2	下降時間	181
3.9	少数キャリアの拡散距離	184
3.10	擬Fermi単位	187
3.11	まとめ	190
3.12	付録の参考文献リストについて	192
3.13	第3章の参考文献	192
3.14	復習のポイント	193
3.15	練習問題	194
<b>第4章</b>	<b>不均一な半導体</b>	<b>199</b>
4.1	熱平衡状態におけるFermi単位	199
4.2	傾斜ドーピング	202
4.2.1	Einsteinの関係式	207
4.2.2	傾斜ベース・トランジスタの内蔵電界	207
4.3	不均一な組成*	213
4.4	組成勾配と傾斜ドーピングの組合せ*	217
4.5	まとめ	219
4.6	付録の参考文献リストについて	219
4.7	第4章の参考文献	219
4.8	復習のポイント	220
4.9	練習問題	220
<b>補遺1</b>	<b>電子と半導体の物理</b>	<b>225</b>
<b>補遺1A</b>	<b>量子力学入門</b>	<b>227</b>
51A.1	はじめに	227

S1A.2	波動関数	228
S1A.3	波動関数と確率	229
S1A.3.1	1次元ポテンシャル井戸の中の粒子*	230
S1A.4	Schrödinger方程式	232
S1A.5	Schrödinger方程式の電子への適用	234
S1A.6	量子力学に基づく考察	235
S1A.6.1	自由電子	236
S1A.6.2	擬似自由電子	237
S1A.6.3	ポテンシャル井戸	238
S1A.6.4	1次元の無限に深いポテンシャル井戸	240
S1A.6.5	有限のポテンシャル障壁における反射と透過	243
S1A.6.6	トンネル現象	246
S1A.6.7	有限の深さのポテンシャル井戸	256
S1A.6.8	水素原子	258
S1A.6.9	不確定性原理	259
S1A.7	まとめ	263
S1A.8	復習のポイント	264
S1A.9	練習問題	264
<b>補遺 1B：半導体物性に関する補足</b>		<b>269</b>
S1B.1	キャリア密度と移動度の測定	269
S1B.1.1	抵抗率の測定	270
S1B.1.2	Hall効果	271
S1B.2	束縛状態の電子に関する Fermi-Dirac統計	274
S1B.3	半導体におけるキャリアの凍結	278
S1B.4	フォノン	279
S1B.4.1	フォノンによるキャリア散乱*	285
S1B.4.2	間接的な電子の遷移	288
S1B.5	まとめ	289
S1B.6	付録の参考文献リストについて	290
S1B.7	補遺 1B の参考文献	290
S1B.8	復習のポイント	291
S1B.9	練習問題	291
<b>索引</b>		<b>293</b>