目　次

1　序　説　*1*

2　半導体の基礎物性とヘテロ接合　*3*

2.1　半導体の基礎物性 …… 3

2.1.1　エネルギー帯 …… 3

2.1.2　エネルギー帯と電気伝導 …… 5

2.1.3　不純物ドーピングと電気伝導 …… 7

2.1.4　エネルギー・波数図 …… 10

2.1.5　キャリア移動度 …… 14

2.2　III-V族化合物半導体 …… 15

2.2.1　特　徴 …… 15

2.2.2　高電界下での電子速度 …… 19

2.2.3　非定常状態での電子の振る舞い …… 20

2.3　III-V族混晶半導体 …… 21

2.3.1　混晶半導体の一般的性質 …… 21

2.3.2　各種混晶半導体 …… 27

2.4　II-VI族化合物半導体 …… 32

2.4.1　バンドギャップ,格子定数 …… 32

2.4.2　結晶構造 …… 32

2.4.3　p,n制御 …… 34

2.4.4　各種II-VI族化合物半導体の性質 …… 37

2.5　ヘテロ接合 …… 41

2.5.1　ヘテロ接合のエネルギー準位図 …… 41

2.5.2　ヘテロ接合の電流-電圧特性 …… 44

2.5.3　少数キャリア閉じ込め効果 …… 47

2.5.4 ヘテロ接合のバンド不連続 …… 51
参考文献 56

3 半導体超格子の分類と電子状態 59
3.1 半導体超格子の分類 …… 59
3.2 半導体超格子の電子状態 …… 63
3.2.1 周期による分類 …… 63
3.2.2 ポテンシャル障壁とトンネル効果 …… 65
3.2.3 量子井戸内の電子状態 …… 67
3.2.4 超格子とミニバンドの形成 …… 73
3.2.5 単原子層超格子 …… 77
3.2.6 任意ポテンシャル障壁における透過係数の解析 …… 78
参考文献 80

4 薄膜積層技術 81
4.1 分子線エピタキシ法 …… 81
4.1.1 原 理 …… 81
4.1.2 成長メカニズム …… 84
4.1.3 なぜMBE法か …… 85
4.1.4 不純物ドーピング …… 86
4.1.5 原子層エピタキシ法 …… 89
4.1.6 MEE法 …… 91
4.2 気相エピタキシャル成長法 …… 93
4.2.1 気相成長法の分類 …… 93
4.2.2 MOCVD法 …… 95
4.2.3 クロライド法 …… 99
4.2.4 原子層エピタキシ法 …… 100
4.3 MOMBE法 …… 102
4.3.1 MBE法とMOCVD法の比較 …… 102
4.3.2 MOMBE法 …… 104
4.4 光CVD法 …… 108
4.4.1 光CVD法の分類 …… 108
4.4.2 光CVD法の特徴 …… 109
4.4.3 光CVD法の具体例 …… 110
4.5 プラズマCVD法 …… 112
参考文献 115

5 半導体超格子の観察と構造評価 *118*

5.1 光学的手法による観察 …… 118
5.2 電子線を用いる手法 …… 119
5.2.1 電子線と物質の相互作用 …… 119
5.2.2 電子線回折 …… 119
5.2.3 電子顕微鏡 …… 124
5.3 X線による評価 …… 125
5.4 後方散乱法 …… 127
5.5 組成分析 …… 128
参考文献 129

6 GaAlAs/GaAs 超格子の基礎的性質 *130*

6.1 光学的特性 …… 130
6.1.1 吸収係数 …… 131
6.1.2 フォトルミネッセンスの基礎特性 …… 132
6.2 電気的特性 …… 135
6.2.1 シュブニコフ・ドハース効果 …… 135
6.2.2 変調ドープ構造と移動度 …… 137
6.2.3 超ドープ構造 …… 139
6.3 フォトルミネッセンスによる界面評価 …… 141
6.3.1 界面遷移層の評価 …… 141
6.3.2 界面凹凸の評価 …… 142
6.3.3 成長の中断による平滑化と PL 特性 …… 146
6.3.4 PL 測定によるストレスの評価 …… 149
6.4 超格子の無秩序化 …… 149
参考文献 151

7 各種超格子の基礎的性質 *153*

7.1 ひずみ超格子 …… 153
7.2 InAs/GaSb 系超格子(タイプ III 超格子) …… 158
7.3 nipi 超格子 …… 159
7.4 II-VI 族化合物半導体ひずみ超格子 …… 161
7.5 アモルファス系超格子 …… 163
参考文献 166

8 デバイスへの応用 *169*

8.1 超高速電子デバイス …… 169
8.2 変調ドープトランジスタ …… 170
8.3 δドープトランジスタ …… 174
8.4 ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT) …… 175
8.5 ホットエレクトロントランジスタ …… 180
8.6 共鳴トンネルデバイス …… 182
8.6.1 共鳴トンネル効果 …… 182
8.6.2 共鳴トンネルトランジスタ …… 184
8.7 半導体レーザ …… 187
8.8 アバランシェフォトダイオード …… 193
参考文献 197

9 半導体超格子の将来展望 *199*

9.1 超格子系の特質 …… 200
9.2 材料面での展開 …… 202
9.3 周期性の制御 …… 203
9.4 次元の拡大 …… 204
9.5 ヘテロ界面の制御 …… 207
9.6 新機能性の探索 …… 208
参考文献 210

索 引 *211*