トランジスタ

目　次

第1章　半導体整流器からトランジスタの誕生まで

1.1　総　説……1
1.2　半導体の整流現象……3
1.3　金属整流器工業……6
1.4　金属整流器の構造と特性……8
1.4.1　亜酸化銅整流器……8
1.4.2　セレン整流器……9
1.5　金属整流器の整流理論……10
1.5.1　初期の理論……10
1.5.2　トンネル効果による説明の失敗……12
1.5.3　モットの整流理論……14
1.5.4　ショットキーの整流理論……16
1.5.5　障壁の高さの問題……17
1.5.6　その他の理論的研究……19
1.6　第2次大戦と結晶検波器の研究……20
1.7　結晶検波器の研究から出てきた矛盾……22
1.8　表面準位の仮説とトランジスタの誕生……26
1.9　点接触トランジスタ……29
1.10　接合トランジスタの登場……31
1.11　摘　要……33
1.12　問　題……34

第2章　トランジスタのはたらきの基礎

2.1　総　説……36
2.2　半導体というもの……37

2.2.1 抵抗率の温度依存性……38
2.2.2 整流作用……39
2.2.3 ホール効果……40
2.3 半導体の性質を考えるためのモデル……41
2.3.1 不純物の作用……41
2.3.2 p形半導体—正孔による電気伝導……44
2.3.3 真性半導体……47
2.3.4 エネルギーバンド構造のモデル……49
2.3.5 少数キャリア，多数キャリア，熱平衡……55
2.4 p-n接合とそのはたらき……57
2.4.1 p-n接合の種類……58
2.4.2 p-n接合の整流性……59
2.4.3 p-n接合の降伏現象……61
2.4.4 漏れ電流……62
2.4.5 p-n接合と光……63
2.5 注入と少数キャリアの振舞い……64
2.6 接合トランジスタのはたらき……67
2.6.1 エミッタからの注入……67
2.6.2 ベース領域内の輸送……68
2.6.3 接合トランジスタの電流増幅率 α……69
2.6.4 接合トランジスタの遮断周波数 $f_{\alpha c}$……70
2.7 点接触トランジスタの増幅機構……71
2.8 摘 要……73
2.9 問 題……73

第3章 トランジスタ技術

3.1 総 説……75
3.2 材料処理（抽出と還元）……77
3.2.1 酸化ゲルマニウムの抽出……77
3.2.2 酸化ゲルマニウムの還元……79

3.2.3　ゲルマニウムの純度……80
還元のとき流す水素ガスの純度—グラファイトまたは石英のボートの純度—GeO_2 粉末の取扱い
3.3　金属ゲルマニウムの精製……82
3.3.1　偏　析……82
3.3.2　ノーマルフリージング法……83
3.3.3　ゾーン精製法の原理……84
3.3.4　ゾーン精製の技術……86
装　置—ゾーンの移動—抵抗率分布—液相中の不純物の拡散—ゾーン精製の実際
3.4　単結晶の製作……90
3.4.1　チョクラルスキー法（引上法）……91
抵抗加熱—高周波加熱—温度の調節—引上げ速度—抵抗率分布—転位濃度—単結晶の電気的性質—結晶の良否の判定方法
3.4.2　ゾーンレベリング法……95
3.5　各種の処理……97
3.5.1　切　断……97
3.5.2　エッチング……100
3.5.3　水　洗……102
3.6　p－n接合を作る基本的な方法……102
3.6.1　合 金 法……103
3.6.2　引 上 法……107
ドーピング法—レート・グローン法
3.6.3　固体拡散法……110
3.7　組立てとシール……113
3.7.1　組 立 て……113
3.7.2　ハーメティック・シール……115
3.8　トランジスタ技術の特色……116
3.8.1　高純度の材料を扱うこと……116
3.8.2　各工程で要求される精度が高いこと……117

3.8.3 関連する分野が広いこと ……119
3.8.4 基礎的な学問と直結していること ……120
3.9 摘 要 ……121
3.10 問 題 ……122

第4章 トランジスタの進歩

4.1 総 説 ……123
4.2 高周波への進歩といろいろのトランジスタ ……126
4.2.1 高周波での動作を制約する素因……改良の方針 ……126
4.2.2 合金接合形の改良 ……129
4.2.3 成長形の改良および四極トランジスタ ……130
4.2.4 p-n-i-p形トランジスタ……132
4.2.5 ドリフト・トランジスタ ……134
4.2.6 不純物拡散形トランジスタ ……136
4.2.7 その他のいろいろな形のトランジスタ ……137
表面障壁トランジスター—メルト・クエンチ形トランジスター—拡散メルトバック法—成長拡散法—合金拡散法
4.2.8 スペイシスタ ……141
4.2.9 電場効果トランジスタ ……142
4.2.10 概 括 ……144
4.3 出力用としての進歩 ……146
4.3.1 出力用としての問題 ……146
4.3.2 電力を扱えること ……147
4.3.3 遮断周波数を下げないこと ……150
4.3.4 ひずみを生じないこと ……151
4.3.5 概 括 ……154
4.4 スイッチ用としての進歩 ……155
4.4.1 スイッチ動作の重要性 ……155
4.4.2 電子なだれトランジスタ ……156
4.4.3 p-n-p-nスイッチ……159

4.4.4　サイリスタその他 ……161
4.4.5　ダブル・ベース・ダイオード ……162
4.4.6　概　括 ……164
4.5　摘　要 ……164
4.6　問　題 ……165

第5章　シリコン材料の進歩

5.1　総　説 ……166
5.2　シリコン技術の進歩は，何故おくれたか ……167
5.3　シリコンかゲルマニウムか ……169
5.3.1　定数の比較 ……169
5.3.2　半導体装置としてのそれぞれの特徴 ……169
5.4　シリコン材料技術の現状 ……172
5.4.1　いろいろの困難 ……172
5.4.2　シリコンの化学的精製 ……173
シリコンの抽出精製—水素還元法—SiI_4 を精製する方法—その他の方法—ジーメンス法—概　括
5.4.3　シリコンの物理的精製 ……176
5.4.4　シリコンの単結晶 ……178
温度の調節—るつぼの問題—その他
5.5　シリコン・トランジスタ ……182
5.6　摘　要 ……183
5.7　問　題 ……184

第6章　日本におけるトランジスタ工業と研究

6.1　総　説 ……185
6.2　トランジスタ研究のはじまり ……186
6.3　トランジスタ工業のはじまり ……189
6.4　国産トランジスタの進歩 ……192
6.4.1　トランジスタの質 ……192

6.4.2 トランジスタの劣化 ……195
6.4.3 トランジスタの種類 ……197
6.5 トランジスタ工業と技術の問題 ……198
6.5.1 特許権の力は大きいということ ……198
6.5.2 大勢を動かすには研究者が本格的な活動をすべきであること ……199
6.5.3 ドイツのシリコン技術に学ぶ点があること ……200
6.5.4 工業は切り花の移植であってはならないこと ……200
6.5.5 多方面の分野の協力が不可欠であること ……201
6.5.6 日本の工業を電子技術の性格に合わせて行く必要があること ……201
6.5.7 売る競争ばかりでなく，基礎的な研究にも重点を置くべきこと ……202
6.6 摘 要 ……203
6.7 問 題 ……203

第7章 トランジスタに関する測定技術

7.1 材料の測定 ……204
7.1.1 伝導形の判定 ……204
整流方向による方法—熱起電力による方法
7.1.2 抵抗率の測定 ……205
原理的な方法—4探針法—抵抗率測定における注意
7.1.3 平均寿命の測定 ……209
ヘインズ・ショックレー法—拡散距離を測る方法—シリコンにおける測定—フィラメントの導電率変化による方法—その他の方法
7.1.4 エッチピット ……216
7.1.5 結晶軸 ……218
7.2 低周波パラメータの測定 ……219
7.2.1 直流特性 ……220
7.2.2 低周波小信号パラメータの測定 ……223
概 説—hパラメータの測定
7.3 高周波パラメータの測定 ……230
7.3.1 α遮断周波数 ……230

概　説—f_α 直読を可能とした方法—ブリッジ法
7.3.2　ベース拡がり抵抗 ……237
7.3.3　コレクタ容量 ……239
7.4　その他の測定 ……239
7.4.1　雑音指数 ……239
正弦波校正による方法—雑音二極管による方法
7.4.2　接合温度，熱抵抗 ……243
7.4.3　信頼度に関する測定 ……244
容器不良に対する試験法—温度に対する信頼度の試験法
7.4.4　フォトトランジスタの測定 ……245
7.5　摘　要 ……246
7.6　問　題 ……247

第8章　トランジスタの特性

8.1　静特性 ……248
8.1.1　概　説 ……248
8.1.2　出力特性 ……248
8.1.3　入力特性 ……250
8.1.4　異なる接地方式における静特性の関係 ……251
8.2　等価回路 ……251
8.2.1　概　説 ……251
8.2.2　静特性から小信号パラメータへ ……252
8.2.3　種々のパラメータによる等価回路 ……254
z および y パラメータによる等価回路への変換—T形等価回路—概括
8.2.4　理想トランジスタのパラメータ ……257
8.2.5　実際のトランジスタの等価回路 ……261
8.3　パラメータの周波数特性 ……264
8.4　パラメータのバイアス依存性 ……266
8.5　パラメータの温度依存性 ……269
8.6　雑音特性 ……270

8.7 摘 要 ……271
8.8 問 題 ……272

第9章 トランジスタ回路

9.1 総 説 ……273
9.2 トランジスタの等価回路 ……273
9.2.1 形式的な等価回路 ……273
9.2.2 内部構造と関連させた等価回路 ……274
9.3 直流バイアスの与え方 ……275
9.3.1 バイアス回路の構成 ……275
9.3.2 バイアス回路と安定度 ……276
9.3.3 非直線素子による補償 ……277
9.4 トランジスタ低周波増幅器 ……278
9.4.1 接地方式 ……278
9.4.2 動作点の決定 ……280
9.4.3 段間結合 ……280
変成器結合—抵抗容量結合
9.4.4 出力段増幅器 ……283
動作点—振幅ひずみ
9.5 トランジスタ直流増幅器 ……284
9.5.1 零点変動 ……284
補償回路の使用—チョッパの使用
9.5.2 p-n-pおよびn-p-nトランジスタの組合わせ ……286
9.6 トランジスタ高周波増幅器 ……286
9.6.1 高周波増幅の問題点 ……286
9.6.2 電力利得 ……287
9.6.3 負荷および結合回路 ……287
L 並列-*C* 並列方式—*L* 並列-*C* 直列方式
9.6.4 内部帰還と中和法 ……290
9.7 トランジスタ映像増幅器 ……291

9.7.1　映像増幅器における問題点 ……291
9.7.2　低域補償 ……292
9.7.3　高域補償 ……293
9.8　トランジスタ発振器 ……294
9.8.1　発振器の種類 ……294
9.8.2　*LC*同調発振器 ……295
コルピッツ発振器—ハートレイ発振器—ベース同調・エミッタ同調発振器
9.8.3　*CR*発振器 ……296
移相形発振器—同調形発振器
9.8.4　水晶発振器 ……298
9.9　トランジスタ変調器，周波数変換器および復調器 ……298
9.9.1　非線形素子としてのトランジスタ ……298
9.9.2　振幅変調器 ……298
9.9.3　周波数変換器 ……299
9.9.4　振幅変調波復調器 ……299
9.9.5　そ の 他 ……300
9.10　トランジスタを用いたパルス回路 ……300
9.10.1　開閉素子としてのトランジスタ ……300
9.10.2　マルチバイブレータ ……301
9.10.3　ゲート回路 ……302
9.10.4　そ の 他 ……302
9.11　トランジスタのその他の応用 ……303
9.12　摘　　要 ……304
9.13　問　　題 ……305
索　　引 ……307