

目 次

1. 集積回路総論	(柳井 久義)	
1.1 集積化と集積回路	.....	1
1.2 集積回路の種類と構造の概要	.....	2
1.2.1 半導体集積回路	.....	3
1.2.2 薄膜および厚膜集積回路	.....	5
1.2.3 半導体集積回路と薄膜および厚膜集積回路	.....	6
1.3 集積回路発達の歴史的過程	.....	7
1.4 集積回路の特長と一般的問題	.....	11
1.4.1 信頼性	.....	12
1.4.2 経済性	.....	13
1.4.3 機能部品化と使いやすさ	.....	15
1.4.4 超小形・軽量化	.....	16
1.4.5 高周波・高速化に適した回路構成	.....	17
1.5 電子機器・系統と集積回路	.....	17

第 I 編 基礎と製造技術

2. 集積回路に必要な半導体物性	(有住 徹彌)	
2.1 半導体の結晶構造	.....	23
2.2 半導体のエネルギーバンド構造——ブロッホ近似	.....	26
2.3 実効質量	.....	29
2.4 半導体のバンド構造——回転対称性	.....	34
2.5 不純物半導体	.....	38
2.6 電子および正孔の平衡濃度	.....	40
2.7 電子および正孔の散乱	.....	43
2.8 輸送現象	.....	45
2.9 散乱の機構	.....	48

2.9.1	格子散乱	48
2.9.2	イオン化した不純物による散乱	50
2.10	注入と再結合	51
2.11	再結合中心	55
2.12	結晶の不完全性	58
2.12.1	点欠陥	59
2.12.2	転位	60
2.12.3	その他の不完全性	63
2.13	化学的欠陥	63
3.	pn 接合	(西沢潤一)
3.1	pn 接合でのエネルギーバンド構造と遷移領域容量(助川徳三)	67
3.1.1	pn 接合とエネルギーバンド構造	67
3.1.2	遷移領域容量 C と電圧 V_a との一般式	68
3.1.3	接合形状と容量の電圧依存性	69
3.1.4	エサキ接合	72
3.2	pn 接合を流れる電流(北村昌良)	74
3.2.1	pn 接合の直流特性	74
3.2.2	pn 接合のインピーダンス	76
3.2.3	pn 接合の過渡現象(とくに蓄積効果について)	77
3.2.4	トンネル電流	78
3.2.5	ショットキー効果	79
3.3	pn 接合の降伏電圧(木村親夫)	79
3.3.1	降伏機構	79
3.3.2	電子なだれ降伏	80
3.3.3	熱的降伏	85
3.3.4	表面降伏	85
3.4	トランジスタ(阿部惇)	87
3.4.1	pn 接合トランジスタ	87
3.4.2	接合形電界効果トランジスタ	95
	参考文献	98
4.	半導体表面と接触	(武石喜幸)
4.1	半導体表面	103
4.1.1	共有結合結晶表面の特徴	103
4.1.2	表面構造と反応	104
4.1.3	表面のエネルギーバンド構造論	105
4.1.4	清浄表面の表面準位, 表面電位	108
4.1.5	表面空間電荷層	109

4.1.6	表面再結合速度	111
4.1.7	表面伝導度, 表面移動度, チャンネル	113
4.2	半導体と金属の界面	115
4.2.1	接触障壁と表面準位	115
4.2.2	界面のキャリア輸送論	118
4.2.3	製 作 法	121
4.2.4	ショットキーダイオードの諸特性	121
4.3	ヘテロ接合	122
4.4	シリコン酸化皮膜	124
4.4.1	SiO ₂ の重要性	124
4.4.2	SiO ₂ -Si 界面の諸性質	124
4.4.3	雑 音	130
4.5	MIS 構造	131
4.5.1	MIS 構造の基本理論	131
4.5.2	接触電位, 欠陥, 表面準位の影響	134
4.5.3	MIS 電界効果トランジスタ	135
4.6	オーム性接触	137
	参 考 文 献	139
5.	集積回路に必要な薄膜物性	
5.1	薄 膜 の 構 造	(上 田 隆 三) 145
5.1.1	薄膜の種類・製法・物性についての概説	145
5.1.2	蒸着薄膜の成長過程	147
5.1.3	薄膜中の格子欠陥	149
5.1.4	薄 膜 の 組 成	151
5.2	半 導 体 薄 膜	(伊 藤 糾 次) 153
5.2.1	半導体薄膜の特性	153
5.2.2	真空蒸着法による半導体薄膜のエピタキシー	159
5.3	金 属 薄 膜	(金 原 榮) 162
5.3.1	金属薄膜の電気伝導	162
5.3.2	付 着 力	167
5.3.3	内 部 応 力	168
5.3.4	薄 膜 熱 電 対	170
5.4	誘 電 体 薄 膜	(上 田 隆 三) 170
5.4.1	誘電体薄膜の特性	170
5.4.2	一般誘電体薄膜	171
5.4.3	強誘電体薄膜	175
5.5	磁 性 薄 膜	(山 中 幹 雄) 178

5.5.1 磁性薄膜の特性	178
5.5.2 垂直磁気異方性	181
参 考 文 献	182

6. 半導体集積回路の製造技術

6.1 集積回路技術の展望	(田淵 誠一).....187
6.1.1 半導体集積回路製造技術の特徴	187
6.1.2 結 晶 加 工	188
6.1.3 分離と相互接続	189
6.1.4 今後の問題	189
6.2 結晶加工の技術.....	(安福 真民).....190
6.2.1 表面処理	190
6.2.2 気相成長	192
6.2.3 不純物の拡散	213
6.2.4 フォトエッチング	244
6.3 組立の技術	(伊野 弘行).....272
6.3.1 概 論	272
6.3.2 ウエーハ試験	273
6.3.3 ウエーハの分割	274
6.3.4 チップの取り付け (ダイボンディング).....	275
6.3.5 結線法 (ワイヤボンディング).....	277
6.3.6 フェースボンディング	282
6.3.7 その他の取り付け法	286
6.3.8 種々の前処理	286
6.3.9 封入法	287
6.3.10 特性の安定化	292
6.3.11 電気的特性試験	293
6.3.12 将来の組立技術	293
6.4 酸化膜およびその他の表面不活性化	(岡部 太郎).....294
6.4.1 序 論	294
6.4.2 酸化膜の作成法とその性質	295
6.4.3 酸化膜の不安定性とその対策	298
6.4.4 窒化シリコン膜	304
6.5 集積回路マスクの製造技術	(松崎 弘行).....305
6.5.1 概 要	305
6.5.2 マスクの設計およびレイアウト	307
6.5.3 アートワーク	308
6.5.4 中間縮写	309
6.5.5 最終縮写	311
6.5.6 プロダクションマスクの製造	312

6.5.7 検 査	316
6.5.8 新しい技術	316
6.6 半導体集積回路パッケージの製造技術	(松崎 弘行).....316
6.6.1 半導体集積回路パッケージの構造	316
6.6.2 パッケージ製造の基礎技術	320
6.6.3 半導体集積回路パッケージの試験方法	331
6.7 製 造 工 程	(河村 豊作).....332
6.7.1 製造技術と方式の選択	332
6.7.2 製造工程の一例	333
6.7.3 製造工程の管理	343
参 考 文 献	346
7. 薄膜および厚膜集積回路の製造技術	
7.1 薄膜集積回路	(川村 昭二 1~7, 秋山 健二 8, 9).....353
7.1.1 工程のあらまし	353
7.1.2 透過マスクを用いる工程	354
7.1.3 フォトマスクによる工程	357
7.1.4 基板材料とその処理	361
7.1.5 パターン作成	366
7.1.6 真 空 蒸 着	368
7.1.7 トリミング	375
7.1.8 DC スパッタリング	380
7.1.9 RF スパッタリング	388
7.2 厚膜集積回路	(伊賀 和夫).....393
7.2.1 工程のあらまし	393
7.2.2 基 板 材 料	395
7.2.3 回路素子の構成法	397
7.2.4 ステンシルスクリーンの製造	405
7.3 端 子 接 続	(伊賀 和夫).....407
7.3.1 能動素子との接続と装置	408
7.3.2 個別部品との接続	412
7.3.3 取り出し端子接続	413
7.4 容器封入, 樹脂封入	(伊賀 和夫).....414
7.4.1 使用樹脂の必要条件	414
7.4.2 樹 脂 の 種 類	417
7.4.3 成形法とその装置	420
参 考 文 献	424

第II編 特性と設計

8.	集積回路設計の概念	
8.1	集積回路の選択	(茂木 充) 429
8.1.1	集積回路の現状	429
8.1.2	集積回路選択上の問題点	431
8.2	ブレッドボード設計	(土屋 鍊平) 432
8.2.1	ブレッドボード素子	432
8.2.2	単位回路のシミュレーション	433
8.2.3	サブシステムのシミュレーション	433
8.3	素子分離	(坪内 夏朗) 434
8.3.1	半導体集積回路の分離	435
8.3.2	混成集積回路の分離	442
8.4	帰還理論	(吉富 正夫) 445
8.4.1	ことばの説明	445
8.4.2	帰還の形式	445
8.4.3	負帰還の効果	446
8.4.4	正帰還(発振回路)	448
8.5	計算機を利用した設計	(壺井 芳昭) 450
8.5.1	計算機の導入	450
8.5.2	回路解析	451
8.5.3	パターンレイアウトおよびマスク設計	453
8.6	最悪条件および統計的設計法	(壺井 芳昭) 454
8.6.1	最悪条件(worst-case)	454
8.6.2	統計的設計法	457
8.7	コスト計算	(山本 隆一) 459
8.7.1	集積回路を使用する装置との関係	459
8.7.2	製造原価	463
8.7.3	開発費	466
	参考文献	467
9.	半導体部品の設計	(柴田 昭太郎)
9.1	ダイオード	469
9.1.1	構造	469
9.1.2	特性	470
9.2	トランジスタ	473
9.2.1	構造	473

9.2.2 特 性	475
9.3 電界効果トランジスタ	484
9.3.1 構 造	484
9.3.2 特 性	486
9.4 抵 抗	492
9.4.1 拡散抵抗の構造	492
9.4.2 特 性	494
9.5 静電容量 (コンデンサ)	496
9.5.1 拡散接合容量	497
9.5.2 SiO ₂ コンデンサ (MOS キャパシタ)	498
9.6 そ の 他	499
9.6.1 能動デバイス	499
9.6.2 受動素子 (インダクタンス)	502
参 考 文 献	503
10. 半導体集積回路の構造設計	(柴田 昭太郎)
10.1 素子分離方式	505
10.1.1 pn 接合分離	505
10.1.2 絶縁物分離	510
10.1.3 空間分離	513
10.2 マスタスライス方式	514
10.3 大規模集積回路 (LSI)	518
10.3.1 ま え が き	518
10.3.2 LSI の諸問題	520
10.3.3 LSI の代表的方式	529
10.4 熱 的 考 察	536
10.4.1 内部熱輸送	537
10.4.2 特性変動への熱的考察	539
10.5 レ イ ア ウ ト	543
10.5.1 寄生効果	543
10.5.2 熱 的 条 件	547
10.5.3 ベレット寸法とピン接続	548
参 考 文 献	550
11. 薄膜部品と集積回路	(武藤 時雄)
11.1 薄膜を利用した集積回路の概念	551
11.1.1 設 計 の 手 順	552
11.1.2 相 互 接 続	552
11.1.3 寄生効果の除去	555

11.1.4	熱 対 策	556
11.1.5	その他の注意事項	559
11.2	薄膜部品の具体例	560
11.2.1	薄膜コンデンサ	560
11.2.2	薄 膜 抵 抗	563
11.2.3	薄膜インダクタ	568
11.2.4	薄膜能動素子	568
11.2.5	厚膜回路素子	569
	参 考 文 献	570
12.	薄膜および混成集積回路の構造設計 (岡本英一, 松永毅)	
12.1	基 本 設 計 (青木香, 松永毅)	571
12.1.1	素子の選択	571
12.1.2	基板の選択	575
12.1.3	機能単位を選択	577
12.1.4	接続と外装の選択	577
12.2	パターンレイアウト法 (青木香, 松永毅)	579
12.2.1	一 般 回 路	579
12.2.2	電 力 回 路	583
12.2.3	高周波回路	586
12.3	具体的な構造設計 (青木香, 松永毅)	590
12.3.1	具 体 例	590
12.3.2	半導体集積回路との結合	597
	参 考 文 献	600
13.	デジタル集積回路の特性と設計	
13.1	概 論 (黒沢敏夫)	603
13.2	論理機能の概説 (清水京造)	604
13.2.1	は し が き	604
13.2.2	基本論理回路	604
13.2.3	ブール代数とその応用	608
13.2.4	NOR および NAND 回路の応用	610
13.3	デジタル集積回路の一般的特性 (清水京造)	613
13.3.1	は し が き	613
13.3.2	一般的な特性	613
13.4	各種回路形式 (遠藤征士1~5, 堺満雄6)	621
13.4.1	RTL 回路	622
13.4.2	DTL 回路	627
13.4.3	TTL 回路	632

13.4.4	CML 回路	640
13.4.5	CTL 回路	645
13.4.6	MOS 集積回路	648
13.5	各種回路	656
13.5.1	ゲート回路	(遠藤 征士) 656
13.5.2	フリップ・フロップ回路	(遠藤 征士) 657
13.5.3	メモリ	(木村 弘道) 662
13.5.4	MOS 集積回路	(堺 満雄) 669
	参考文献	679

14. アナログ集積回路の特性と設計

14.1	概 論	(佐々木 元) 681
14.1.1	アナログ回路の特質	681
14.1.2	アナログ集積回路の設計方針	681
14.1.3	今後の開発の動向	683
14.2	基本回路の設計法	(中澤 修治) 684
14.2.1	序 論	684
14.2.2	バイアス回路	685
14.2.3	定電流回路	687
14.2.4	レベルシフト回路	688
14.2.5	差動増幅回路	690
14.2.6	そ の 他	694
14.3	アナログ回路の実例と特性	(青山 宏) 695
14.3.1	は し が き	695
14.3.2	音声増幅回路	695
14.3.3	映像増幅回路	697
14.3.4	IF・RF 増幅回路	700
14.3.5	演算増幅回路	702
14.3.6	比較回路	710
14.3.7	センス増幅回路	711
14.3.8	電源制御回路	714
14.3.9	その他の回路	715
14.4	マイクロ波集積化回路	(佐々木 元) 717
14.4.1	一般的動向	717
14.4.2	マイクロ波トランジスタ増幅器	718
14.4.3	その他のマイクロ波回路	720
	参考文献	722

15. 集積回路の測定法

(川口 清一, 佐方 利道)

15.1	デジタル回路の測定	727
------	-----------	-----

15.1.1	直 流 特 性	727
15.1.2	パルス特性	728
15.2	リニア回路の測定	732
15.2.1	直 流 特 性	732
15.2.2	交 流 特 性	734
15.2.3	パルス特性	741

第 III 編 応 用

16. 集積回路の信頼度

16.1	信 頼 性 概 説	(塩 見 弘)	745
16.1.1	信 頼 性 の 尺 度		745
16.1.2	集積回路信頼性の特徴		747
16.1.3	信 頼 性 試 験 の 基 礎		748
16.1.4	抜 き 取 り 方 式		751
16.2	故 障 要 因	(浜 田 成 高)	755
16.2.1	半 導 体 集 積 回 路 の 故 障 要 因		755
16.2.2	薄 膜 お よ び 混 成 集 積 回 路 の 故 障 要 因		759
16.3	信 頼 性 試 験	(浜 田 成 高)	763
16.3.1	通 常 動 作 寿 命 試 験		763
16.3.2	加 速 寿 命 試 験		764
16.3.3	環 境 試 験		766
16.4	品 質 保 証 法	(塩 見 弘)	767
16.4.1	保 証 計 画 と 管 理		767
16.4.2	集 積 回 路 デ ー タ の 収 集 と 活 用		770
16.5	信 頼 性 デ ー タ	(塩 見 弘, 浜 田 成 高)	772
	参 考 文 献		775

17. 集積回路の規格、試験法

17.1	規 格, 試 験 法 に 関 す る 用 語 と 定 義	(傳 田 精 一)	779
17.1.1	概 説		779
17.1.2	デ ィ ジ タ ル 集 積 回 路 に 関 す る 用 語 ・ 定 義		780
17.1.3	ア ナ ログ 集 積 回 路 に 関 す る 用 語 ・ 定 義		783
17.2	規 格	(林 豊)	783
17.2.1	集 積 回 路 の 規 格 と そ の 考 え 方		783
17.2.2	デ ィ ジ タ ル 集 積 回 路 の 規 格		786
17.2.3	ア ナ ログ 集 積 回 路 の 規 格		789
17.3	試 験 法	(川 城 三 治)	790

17.3.1	デジタル集積回路の電気的特性の試験法	790
17.3.2	アナログ集積回路の電気的特性の試験法	794
17.3.3	集積回路自動試験装置による試験	802
17.4	パッケージ外形寸法	(鳴神 長昭) 808
17.4.1	集積回路パッケージの発達と将来	808
17.4.2	基本パッケージ外形の形状分類	810
17.4.3	パッケージ本体の外形寸法	810
17.4.4	パッケージ端子位置寸法	811
17.4.5	実例およびその他	811
18.	集積回路の実装	(高原 靖)
18.1	部品搭載法	(小林 実) 813
18.1.1	接続工法	813
18.1.2	限界高	818
18.1.3	自動搭載法	819
18.1.4	ポッティング材料	820
18.2	プリント板の基材	(小柳 進一) 821
18.2.1	銅張り積層板	821
18.2.2	スルーホールおよび多層プリント板	824
18.2.3	プリント板の信頼性	825
18.3	プリント板構成法	(片岡 啓介) 827
18.3.1	電気的特性	827
18.3.2	プリント板上集積回路配置法ならびにパターン形成法	832
18.4	コネクタ	(谷井 琢也) 834
18.4.1	接点	834
18.4.2	ばね	835
18.4.3	モールド部	836
18.4.4	構造	836
18.4.5	信頼性	837
18.4.6	バックボードを使用するコネクタの必要条件	839
18.5	布線法	(徳永 迪夫) 839
18.5.1	布線材と接続工法	839
18.5.2	給電線	842
18.5.3	バックボード	844
18.5.4	布線の電気的特性	845
18.5.5	雑音対策	847
18.6	熱放散法	(小木曾 健) 849
18.6.1	自然空冷	850
18.6.2	強制空冷	850

参 考 文 献	853
19. 電子計算機への応用	
19.1 論理回路のあらまし	(渡辺 定久).....855
19.1.1 論理回路の機能	855
19.1.2 論理回路の使い方, 論理設計	858
19.2 演算制御装置における集積回路	(渡辺 定久).....864
19.2.1 集積回路の種類	864
19.2.2 集積回路による演算制御装置の構成	869
19.2.3 大規模集積回路	870
19.3 記憶回路における集積回路	(石井 治).....871
19.3.1 概 説	871
19.3.2 スクラッチ・パッド記憶回路	873
19.3.3 特殊機能の記憶回路 (associative memory など)	875
19.3.4 固定記憶回路	877
19.4 記憶周辺回路における集積回路	(石井 治).....878
19.4.1 概 説	878
19.4.2 アドレス選択および語駆動回路	879
19.4.3 デジタルセンス回路	881
19.4.4 記憶制御回路, その他	884
19.5 アナログ計算機における集積回路	(黒川 一夫).....884
19.5.1 演算増幅器	884
19.5.2 線形演算器	887
19.5.3 加算係数器	889
19.5.4 加算積分器	891
19.5.5 非線形演算器	894
19.5.6 演算増幅器の応用回路	899
参 考 文 献	903
20. 通信機器への応用	
20.1 電子交換機への応用	(川 又 晃).....905
20.1.1 電子交換機の構成とその特長	905
20.1.2 電子交換機と電子交換機用電子回路の特質	906
20.1.3 電子交換機用論理回路の必要信頼度	907
20.1.4 電子交換機用周辺回路の集積化	910
20.1.5 集積化電子交換機用回路の例	912
20.2 伝送機器への応用	(二宮 康明).....914
20.2.1 有線伝送機器	914
20.2.2 無線通信機器	923

参 考 文 献	935
21. 一般工業機器への応用	
21.1 計測制御機器の基本回路	(白鳥 英一).....937
21.1.1 概 説.....	937
21.1.2 デジタル回路.....	938
21.1.3 アナログ回路.....	942
21.2 数値制御における集積回路	(清水 寛亮).....945
21.2.1 数値制御装置の構成.....	945
21.2.2 数値制御に使われる集積回路.....	947
21.2.3 集積回路を使った数値制御装置.....	948
21.3 プロセス制御における集積回路	950
21.3.1 プロセスの計算機制御の構成機器とプロセス入出力装置.....	(白鳥 英一).....950
21.3.2 A/D, D/A 変換器, その他	(白鳥 英一).....953
21.3.3 集積回路を使ったプロセス制御機器の実例	(多田 修).....957
21.4 計測器における集積回路	(多田 修).....960
21.4.1 計測器の集積回路化.....	960
21.4.2 集積回路の計測器に対する影響.....	961
21.4.3 集積回路を使った計測器.....	962
21.5 そ の 他	964
21.5.1 宇宙機器	(多田 修).....964
21.5.2 医用機器	(白鳥 英一).....965
21.5.3 分析機器への応用	(小林 一雄).....966
21.5.4 テレコン・テレメータ	(白鳥 英一).....967
21.5.5 航海, 航空(航法関係)	(白鳥 英一).....970
参 考 文 献	972
22. 民生機器への応用	
22.1 はじめに	(菅田 栄治).....973
22.2 民生用音響機器	(藤野 英一).....973
22.2.1 一般的問題.....	973
22.2.2 ラジオ受信機.....	974
22.2.3 ステレオ装置.....	978
22.2.4 テープレコーダ.....	979
22.2.5 電子楽器.....	982
22.2.6 今後の動向.....	984
22.3 テレビへの応用	(林田 敏明).....984
22.3.1 テレビ受像機.....	984

22.3.2	テレビ受像機の機能	985
22.3.3	テレビ受像機における部品の機能	986
22.3.4	白黒テレビ受像機	987
22.3.5	カラーテレビ受像機	990
22.3.6	そ の 他	990
22.4	個人通信への応用 (小林 信三)	993
22.4.1	はじめに	993
22.4.2	個人通信機の概要	994
22.4.3	個人通信機用アナログ集積回路	995
22.4.4	あ と が き	997
22.5	電子式卓上計算機への応用 (佐々木 正)	997
22.5.1	概 説	997
22.5.2	電子式卓上計算機の実際	998
22.5.3	集積回路化電子式卓上計算機的设计および製作の諸注意	1002
22.5.4	将来の展望	1003
22.6	自動車への応用 (岡本 春樹)	1003
22.6.1	はじめに	1003
22.6.2	各種の応用例	1005
	参 考 文 献	1008
	付 録	1009
	索 引	1017
	資 料 編	巻 末

