

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Vorwort	XI
Zum Inhalt des Buches	XIV
Formelzeichen und Symbole	XVIII
Umrechnungsfaktoren und Konstanten	XXI
Wichtige Beziehungen	XXII
1 Grundlagen der Halbleiterphysik	1
1.1 Theorie des Bändermodells	1
1.2 Dotierte Halbleiter	6
1.3 Gleichungen für den Halbleiter im Gleichgewichtszustand	8
1.3.1 Fermi-Verteilungsfunktion	8
1.3.2 Ladungsträgerkonzentration im Gleichgewichtszustand	11
1.3.3 Das Dichteprodukt im Gleichgewichtszustand	13
1.3.4 Elektronenenergie, Spannung und elektrische Feldstärke	16
1.4 Ladungsträgertransport	18
1.4.1 Driftgeschwindigkeit	18
1.4.2 Driftstrom	20
1.4.3 Diffusionsstrom	23
1.4.4 Kontinuitätsgleichung	25
1.5 Störungen des thermodynamischen Gleichgewichts	26
1.6 Übungen	35
1.7 Literatur	38
2 Metallurgischer pn-Übergang	39
2.1 Inhomogener n-Typ-Halbleiter	39
2.2 Der pn-Übergang im Gleichgewichtszustand	42
2.3 Der pn-Übergang bei Anlegen einer Spannung	44
2.3.1 Das Dichteprodukt bei Abweichungen vom Gleichgewichtszustand	46
2.3.2 Stromspannungsbeziehung	48
2.3.3 Abweichungen von der Stromspannungsbeziehung	51
2.3.4 Spannungsbezugspunkt	53

2.4	Kapazitätsverhalten des pn-Übergangs	54
2.4.1	Sperrschichtkapazität	55
2.4.2	Diffusionskapazität	60
2.5	Schaltverhalten des pn-Übergangs	64
2.6	Durchbruchverhalten	66
2.7	Modellierung des pn-Übergangs	70
2.7.1	Diodenmodell für CAD-Anwendungen	70
2.7.2	Diodenmodell für überschlägige statische Berechnungen	73
2.7.3	Diodenmodell für überschlägige Kleinsignalberechnungen	75
2.8	Übungen	76
2.9	Literatur	78
3	Bipolarer Transistor	79
3.1	Herstellung einer Bipolarschaltung	79
3.2	Wirkungsweise des bipolaren Transistors	89
3.2.1	Stromspannungsbeziehung	91
3.2.2	Transistor im inversen Betrieb	98
3.2.3	Spannungssättigung	100
3.2.4	Temperaturverhalten	102
3.2.5	Durchbruchverhalten	104
3.3	Effekte zweiter Ordnung	107
3.3.1	Abhängigkeit der Stromverstärkung vom Kollektorstrom	107
3.3.2	Basisweitenmodulation	111
3.3.3	Emitterrandverdrängung	118
3.4	Abweichende Transistorstrukturen	121
3.5	Modellierung des bipolaren Transistors	124
3.5.1	Transistormodell für CAD-Anwendungen	124
3.5.2	Transistormodell für überschlägige statische Berechnungen	130
3.5.3	Transistormodell für überschlägige Kleinsignalberechnungen	131
3.5.4	Bestimmung der Transitzeit	134
3.6	Übungen	139
3.7	Literatur	143
4	Feldeffekttransistor	145
4.1	Herstellung einer CMOS-Schaltung	145
4.2	MOS-Struktur	152
4.2.1	Charakteristik der MOS-Struktur	152
4.2.2	Kapazitätsverhalten der MOS-Struktur	156
4.2.3	Flachbandspannung	158
4.3	Gleichungen der MOS-Struktur	161
4.3.1	Ladungen in der MOS-Struktur	161
4.3.2	Oberflächenspannung bei starker Inversion	165
4.3.3	Einsatzspannung und Substratsteuereffekt	167

4.4	Wirkungsweise des MOS-Transistors	171
4.4.1	Transistorgleichungen bei starker Inversion	172
4.4.2	Genauere Transistorgleichungen bei starker Inversion	179
4.4.3	Transistorgleichungen bei schwacher Inversion	181
4.4.4	Temperaturverhalten des MOS-Transistors	183
4.5	Effekte zweiter Ordnung	186
4.5.1	Beweglichkeitsdegradation	186
4.5.2	Kanallängenmodulation	188
4.5.3	Kurzkanaleffekte	190
4.5.4	Heiße Ladungsträger	195
4.5.5	Gateinduzierter Drainleckstrom	196
4.5.6	Durchbruchverhalten des MOS-Transistors	198
4.5.7	Latch-Up Effekt	199
4.6	MOS-Transistoren mit hoher Spannungsfestigkeit	202
4.7	Modellierung des MOS-Transistors	211
4.7.1	CAD-Anwendungen	211
4.7.2	Überschlägige statische und transiente Berechnungen	219
4.7.3	Überschlägige Kleinsignalberechnungen	222
4.8	Übungen	225
4.9	Anhang A: Schwache Inversion	231
4.10	Literatur	236
5	Grundlagen digitaler CMOS-Schaltungen	239
5.1	Geometrische Entwurfsunterlagen	239
5.2	Elektrische Entwurfsregeln	246
5.3	MOS-Inverter	252
5.3.1	Verarmungsinverter	253
5.3.2	Anreicherungsinverter	256
5.3.3	P-Last-Inverter	258
5.3.4	Komplementärinverter	260
5.3.5	Serien- und Parallelschaltung von Transistoren	267
5.4	Schaltverhalten der MOS-Inverter	268
5.5	Treiberschaltungen	278
5.5.1	Super-Treiber	278
5.5.2	Bootstrap-Treiber	281
5.6	Eingangs- / Ausgangsschaltungen	283
5.6.1	Eingangsschaltungen	284
5.6.2	Ausgangstreiber	287
5.6.3	Hochgeschwindigkeits-Schnittstelle	293
5.6.4	ESD-Schutz	309
5.7	Übungen	313
5.8	Literatur	316

6	Schaltnetze und Schaltwerke	319
6.1	Statische Schaltnetze	319
6.1.1	Statische Gatterschaltungen	319
6.1.2	Layout statischer Gatterschaltungen	322
6.1.3	Transfer-Gatterschaltungen	325
6.2	Getaktete Schaltnetze	328
6.2.1	Getaktete Gatterschaltungen (C ² MOS)	328
6.2.2	Dominoschaltungen	331
6.2.3	Modifizierte Dominoschaltung (NORA-Domino)	333
6.2.4	Differenziell kaskadierte Schaltung (DCVS)	334
6.2.5	Schaltverhalten von Gattern	336
6.3	Gatterschaltungen für hohe Taktraten	338
6.4	Logische Felder	345
6.4.1	Dekoder	345
6.4.2	Komplementärdekoder	346
6.4.3	Programmierbare Logikanordnung (PLA)	350
6.5	Schaltwerke	353
6.5.1	Flip-Flops	353
6.5.2	Zwei-Takt-Register	361
6.5.3	Ein-Takt-Register	364
6.5.4	Takterzeugung	367
6.6	Übungen	370
6.7	Literatur	372
7	MOS-Speicher	375
7.1	Nur-Lese-Speicher (ROM)	376
7.2	Elektrisch programmierbare und optisch löschbare Speicher	378
7.2.1	EPROM Speicherarchitektur	380
7.2.2	Stromspannungswandler	382
7.3	Elektrisch unprogrammierbare Speicher	384
7.3.1	Elektrisch unprogrammierbare Speicherzellen	384
7.3.2	Flash-Speicher-Architekturen	391
7.3.3	NROM	397
7.3.4	Chip-interne Spannungserzeugung	402
7.4	Statische Speicher	406
7.4.1	Statische Speicherzellen	406
7.4.2	SRAM Speicherarchitektur	410
7.4.3	Address Transition Detection (ATD)	411
7.5	Dynamische Halbleiterspeicher	413
7.5.1	Ein-Transistor-Speicherzellen	414
7.5.2	DRAM-Speicher-Grundsaltungen	419
7.5.3	DRAM Speicherarchitektur	425
7.5.4	Alpha-Strahlempfindlichkeit	429
7.6	Übungen	431

7.7	Literatur	436
8	Grundlagen analoger CMOS-Schaltungen	439
8.1	Stromspiegelschaltungen	440
8.1.1	Verbesserte Stromsenken	443
8.2	Source-Folger	446
8.3	Einfache Verstärkerstufen	449
8.3.1	Miller-Effekt	453
8.3.2	Differenzielle Eingangsstufe mit symmetrischem Ausgang	456
8.3.3	Differenzielle Eingangsstufe mit unsymmetrischem Ausgang	460
8.4	Übungen	467
8.5	Anhang B: Übertragungsfunktion	469
8.6	Weiterführende Literatur	476
9	CMOS-Verstärkerschaltungen	477
9.1	Miller-Verstärker	477
9.2	Gefalteter Kaskode-Verstärker	488
9.3	Gefalteter Kaskode-Verstärker mit AB-Ausgangsstufe	491
9.4	Übungen	496
9.5	Literatur	497
10	BICMOS-Schaltungen	499
10.1	Stromschaltungstechniken	500
10.1.1	CML-Schaltungen	500
10.1.2	ECL-Schaltungen	507
10.2	BICMOS-Treiber und -Gatter	510
10.3	Bandabstand-Spannungsquellen	516
10.4	Analoge Anwendungen	526
10.4.1	Offset-Verhalten von Bipolar- und MOS-Transistor	527
10.4.2	Kleinsignalverhalten von Bipolar- und MOS-Transistor	528
10.5	BCD-Technik	536
10.5.1	Schaltverhalten des DMOS-Transistors	541
10.5.2	Stromquellen	543
10.5.3	DMOS-Treiber	544
10.5.4	Schutzschaltungen	547
10.6	Übungen	553
10.7	Literatur	555
11	Sachregister	557