

Inhaltsverzeichnis

Kursiv gekennzeichnete Abschnitte können beim ersten Durcharbeiten überschlagen werden.

1 Grundlagen der Mikrophysik	1
1.1 Aussagen der Quantenmechanik	1
1.1.1 Photonen als Teilchen	2
1.1.2 Emission und Absorption von Licht.....	4
1.1.3 Elektronen als Wellen	5
1.1.4 Heisenbergsche Unschärferelation	6
1.1.5 Pauli-Prinzip	7
1.2 Das Bohrsche Atommodell	7
1.3 Freie Elektronen	11
1.3.1 Wie entstehen freie Elektronen?	11
1.3.2 Zur Energieeinheit Elektronenvolt	13
1.3.3 Zusammenhang Energie – Impuls/Wellenzahl.....	14
1.4 Aufbau der Atome und Periodensystem	15
1.5 Kristallstrukturen und Geometrie	18
1.5.1 Bravais-Gitter und Elementarzellen	18
1.5.2 Atomabstände und Packungsdichten.....	20
1.5.3 Kristallrichtungen und Millersche Indizes	21
1.5.4 Massen und Dichten von Halbleitersubstanzen.....	23
1.6 Chemische Bindung	25
1.6.1 Übersicht über die Bindungsarten	25
1.6.2 Verbreiterung der Energieniveaus zu Bändern	29
1.7 Halbleiter	31
1.7.1 Orientierung an der elektrischen Leitfähigkeit	31
1.7.2 Bindungen und Bänder in Halbleitern.....	32
1.7.3 Halbleitermaterialien.....	33
<i>1.8 Einige Ergänzungen</i>	<i>35</i>
Zusammenfassung zu Kapitel 1	37
Aufgaben zu Kapitel 1	39

2 Bänderstruktur und Ladungstransport	45
2.1 Bändermodell	46
2.1.1 Eigenschaften des Leitungs- und Valenzbandes	46
2.1.2 Erzeugung „freier“ Elektronen und Löcher	50
2.2 Trägerdichte im Leitungs- und Valenzband	52
2.2.1 Zustandsdichte der Elektronen und Löcher	52
2.2.2 Fermi-Verteilung	55
2.2.3 Teilchenkonzentration in den Bändern	57
2.2.4 Bestimmung der Fermi-Energie	62
2.3 Halbleiter mit Störstellen	63
2.3.1 Donatoren und Akzeptoren	63
2.3.2 Bindungsenergie von Ladungsträgern an Störstellen	64
2.3.3 Ladungsträgerkonzentration bei Anwesenheit von Störstellen	66
2.4 Die Bewegung von Ladungsträgern	72
2.4.1 Drift	72
2.4.2 Anwendung: Widerstandsthermometer	77
2.4.3 Hall-Effekt	79
2.4.4 Diffusion	82
2.4.5 Einstein-Beziehung	84
2.4.6 Generation und Rekombination	85
2.4.7 Kontinuitätsgleichungen	89
2.4.8 Halbleiter im stationären Nichtgleichgewicht	90
2.5 Temperaturabhängigkeit von Energielücke und effektiver Masse	92
2.6 Halbleiter bei hohen Ladungsträgerdichten	93
2.6.1 Trägerkonzentration im Leitungsband	93
2.6.2 Gapschrumpfung	96
2.7 Einige Ergänzungen	101
2.7.1 Bandstruktur von Halbleitern	101
2.7.2 Ein- und zweidimensionale Halbleiter	104
2.7.3 Der Teilchenzoo der Halbleiterphysik	105
Zusammenfassung zu Kapitel 2	106
Aufgaben zu Kapitel 2	110
 3 pn-Übergänge	 121
3.1 Modell einer Halbleiterdiode	121
3.2 pn-Übergang ohne äußere Spannung	123
3.2.1 Qualitative Betrachtungen	123
3.2.2 Berechnung des Potentialverlaufs	125
3.2.3 Breite der Sperrschicht	127
3.2.4 Diffusionsspannung	127
3.3 pn-Übergang mit äußerer Spannung	131
3.3.1 Modell	131
3.3.2 Breite der Sperrschicht	132
3.3.3 Berechnung der Ströme	133

3.3.4 Strom-Spannungs-Kennlinie	137
3.3.5 Lawinen- und Zener-Effekt	140
3.4 Kapazität eines pn-Übergangs	142
3.4.1 Sperrschichtkapazität	142
3.4.2 Diffusionskapazität	145
3.5 Differentieller Widerstand und Leitwert	146
3.6 Esaki- oder Tunneldiode	147
3.7 Einige Ergänzungen zu pn-Übergängen	149
Zusammenfassung zu Kapitel 3	150
Aufgaben zu Kapitel 3	152
4 Optoelektronische Bauelemente	161
4.1 Lumineszenz-Bauelemente	161
4.1.1 Lichtemission an pn-Übergängen	161
4.1.2 Lumineszenzmaterialien	162
4.1.3 Spektralabhängigkeit der Lumineszenz bei Band-Band-Übergängen	167
4.1.4 Aufbau und Technologie von Lumineszenzdiode	169
4.1.5 Entwicklungstendenzen bei Lumineszenzdiode	175
4.2 Einiges über Halbleiterlaser	176
4.2.1 Übersicht	176
4.2.2 Grundsätzliches zur Funktionsweise	177
4.2.3 Optischer Einschluss (Confinement)	178
4.2.4 Besetzungsinversion und Gewinn	180
4.2.5 Bilanzgleichungen für Elektronen und Photonen	182
4.3 Absorptions-Bauelemente	186
4.3.1 Physikalische Grundlagen der Absorption	186
4.3.2 Photoleiter	191
4.3.3 Photodioden und weitere Photodetektoren	192
4.3.4 Materialien für optische Empfänger	197
4.3.5 Entwicklungstendenzen bei Photodetektoren	199
4.4 Solarzellen – Photovoltaik	199
Zusammenfassung zu Kapitel 4	204
Aufgaben zu Kapitel 4	206
5 Bipolartransistoren und Thyristoren	211
5.1 Einfaches Transistormodell	211
5.2 Abschätzung der Verstärkungswirkung	215
5.2.1 Definition verschiedener Verstärkungsfaktoren	215
5.2.2 Diffusionsstrom in der Basis	217
5.2.3 Größenordnung der Stromverstärkung	220
5.3 Ebers-Moll-Gleichungen	222
5.3.1 Relativ einfache Herleitung	222
5.3.2 Zusammenfassung der Herleitung	226

5.3.3 Allgemeine Form der Ebers-Moll-Gleichungen	228
5.3.4 Verschiedene Näherungen für die Ebers-Moll-Gleichungen.....	229
5.4 Herleitung der Ebers-Moll-Gleichungen	
aus den Diffusionsgleichungen	232
5.4.1 Ansätze für die Diffusionsströme	232
5.4.2 Lösungen der Diffusionsgleichungen	233
5.5 Kennlinienfelder	235
5.5.1 Kennlinienfelder in Basisschaltung	235
5.5.2 Kennlinienfelder in Emitterschaltung.....	237
5.5.3 Early-Effekt	241
5.6 Ergänzungen zu Bipolartransistoren. Tendenzen	242
5.7 Thyristoren und Triacs	242
5.7.1 Modell eines Thyristors. Thyristorkennlinie	242
5.7.2 Gleichungen für den Vorwärtsstrom.....	246
5.7.3 Triacs	248
Zusammenfassung zu Kapitel 5	249
Aufgaben zu Kapitel 5	250
 6 Metall-Halbleiter-Kontakte und Feldeffekt-Transistoren	257
6.1 Metall-Halbleiter-Kontakte	257
6.1.1 Schottky-Dioden	257
6.1.2 Ohmsche Kontakte.....	262
6.2 Einführung in Feldeffekttransistoren	263
6.2.1 Die verschiedenen Typen von Feldeffekttransistoren	263
6.2.2 Einfaches Modell	266
6.3 Detailliertere Beschreibung des MOSFET	270
6.3.1 Ladungszustände eines MOS-Kondensators	270
6.3.2 Quantitative Betrachtung der Inversionsbedingung	273
6.3.3 Ladungen, Kapazität und Sperrschichtbreite	
am MOS-Kondensator	275
6.3.4 Verfeinerte Herleitung der Kennliniengleichung.....	279
6.3.5 MOS-Kondensator mit Berücksichtigung	
der beweglichen Ladungsträger	283
6.4 MOSFETs in der digitalen Schaltungstechnik	287
6.4.1 Binäre Schaltungen	287
6.4.2 MOSFET als Inverter.....	288
6.4.3 MOSFET als Lastwiderstand.....	289
6.4.4 MOSFET als Logikgatter.....	290
6.4.5 CMOS-Inverter und CMOS-Logikgatter.....	291
6.4.6 Bipolartransistoren in integrierten Schaltungen	293
6.5 Speicherschaltkreise	294
6.5.1 RAM-Speicher	294
6.5.2 ROMs.....	294
6.5.3 EPROMs und EEPROMs	294

6.6	CCD-Bauelemente	296
6.7	Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren	297
6.8	Zur Zukunft der MOS-Technologie	299
	Zusammenfassung zu Kapitel 6	301
	Aufgaben zu Kapitel 6	303
7	Halbleitertechnologie	307
7.1	Vom Sand zum Chip: Fertigungsschritte im Überblick	307
7.2	Herstellung von Silizium-Einkristallen	308
7.2.1	Rohsilizium	308
7.2.2	Trichlorsilan und Polysilizium	308
7.2.3	Herstellung von Einkristallen	311
7.3	Herstellung von Einkristallen anderer Halbleiter	313
7.3.1	Germanium	313
7.3.2	Besonderheiten bei der Herstellung von Verbindungshalbleitern..	313
7.4	Herstellung und Bearbeitung der Halbleiterscheiben	314
7.4.1	Übersicht	314
7.4.2	Oxidation	317
7.4.3	Dotieren	319
7.4.4	Epitaxieverfahren	322
7.4.5	Metallisierung durch Aufdampfen und Sputtern	325
7.4.6	Ätzen	327
7.4.7	Reinigen	329
7.5	Lithographie	329
7.6	Reinraumtechnik	333
7.7	Ein Beispiel für die Technik integrierter Schaltungen	337
7.8	Tendenzen der Halbleitertechnologie	340
	Zusammenfassung zu Kapitel 7	342
	Aufgaben zu Kapitel 7	345
	Anhang: Daten- und Formelsammlung	349
	Literaturverzeichnis	373
	Verzeichnis der Internet-Dateien	377
	Verwendete Formelzeichen	383
	Index	391
	Personenindex	407