

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	12
1.3.1 Wie entstehen freie Elektronen?	12
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	22
1.5.4 Massen und Dichten von Halbleitersubstanzen	24
1.6 Chemische Bindung	26
1.6.1 Übersicht über die Bindungsarten	26
1.6.2 Verbreiterung der Energieniveaus zu Bändern	30
1.7 Halbleiter	32
1.7.1 Orientierung an der elektrischen Leitfähigkeit	32
1.7.2 Bindungen und Bänder in Halbleitern	33
1.7.3 Halbleitermaterialien	35
1.8 <i>Einige Ergänzungen</i>	36
Zusammenfassung zu Kapitel 1	38
Aufgaben zu Kapitel 1	41

2	Bänderstruktur und Ladungstransport	47
2.1	Bändermodell	48
2.1.1	Eigenschaften des Leitungs- und Valenzbandes	48
2.1.2	Erzeugung „freier“ Elektronen und Löcher	52
2.2	Trägerdichte im Leitungs- und Valenzband	54
2.2.1	Zustandsdichte der Elektronen und Löcher	54
2.2.2	Fermi-Verteilung	56
2.2.3	Teilchenkonzentration in den Bändern	59
2.2.4	Bestimmung der Fermi-Energie	63
2.3	Halbleiter mit Störstellen	64
2.3.1	Donatoren und Akzeptoren	64
2.3.2	Bindungsenergie von Ladungsträgern an Störstellen	65
2.3.3	Ladungsträgerkonzentration bei Anwesenheit von Störstellen	68
2.4	Die Bewegung von Ladungsträgern	73
2.4.1	Drift	74
2.4.2	Anwendung: Widerstandsthermometer	79
2.4.3	Hall-Effekt	80
2.4.4	Diffusion	84
2.4.5	Einstein-Beziehung	86
2.4.6	Generation und Rekombination	88
2.4.7	Kontinuitätsgleichungen	91
2.4.8	Halbleiter im stationären Nichtgleichgewicht	92
2.5	<i>Temperaturabhängigkeit von Bandgap und effektiver Masse</i>	<i>94</i>
2.6	<i>Halbleiter bei hohen Ladungsträgerdichten</i>	<i>95</i>
2.6.1	<i>Trägerkonzentration im Leitungsband</i>	<i>95</i>
2.6.2	<i>Gapschrumpfung</i>	<i>98</i>
2.7	<i>Einige Ergänzungen</i>	<i>102</i>
2.7.1	<i>Bandstruktur von Halbleitern</i>	<i>102</i>
2.7.2	<i>Ein- und zweidimensionale Halbleiter</i>	<i>106</i>
2.7.3	<i>Der Teilchenzoo der Halbleiterphysik</i>	<i>107</i>
	Zusammenfassung zu Kapitel 2	109
	Aufgaben zu Kapitel 2	112
3	pn-Übergänge	123
3.1	Modell einer Halbleiterdiode	123
3.2	pn-Übergang ohne äußere Spannung	125
3.2.1	Qualitative Betrachtungen	125
3.2.2	Berechnung des Potentialverlaufs	127
3.2.3	Breite der Sperrschicht	129
3.2.4	Diffusionsspannung	129
3.3	pn-Übergang mit äußerer Spannung	133
3.3.1	Modell	133
3.3.2	Breite der Sperrschicht	135
3.3.3	Berechnung der Ströme	135

3.3.4	Strom-Spannungs-Kennlinie	139
3.3.5	Lawinen- und Zener-Effekt	143
3.4	Kapazität eines pn-Übergangs	145
3.4.1	Sperrschichtkapazität	145
3.4.2	Diffusionskapazität	147
3.5	Differentieller Widerstand und Leitwert	149
3.6	Esaki- oder Tunnelodiode	150
3.7	Einige Ergänzungen zu pn-Übergängen	152
	Zusammenfassung zu Kapitel 3	153
	Aufgaben zu Kapitel 3	155
4	Optoelektronische Bauelemente	165
4.1	Lumineszenz-Bauelemente	165
4.1.1	Lichtemission an pn-Übergängen	165
4.1.2	Lumineszenzmaterialien	166
4.1.3	Spektralabhängigkeit der Lumineszenz bei Band-Band-Übergängen	171
4.1.4	Aufbau und Technologie von Lumineszenzdiode	173
4.2	Einiges über Halbleiterlaser	179
4.2.1	Übersicht	179
4.2.2	Grundsätzliches zur Funktionsweise	179
4.2.3	Optischer Einschluss (Confinement)	180
4.2.4	Besetzungsinversion und Gewinn	182
4.2.5	Bilanzgleichungen für Elektronen und Photonen	184
4.3	Absorptions-Bauelemente	188
4.3.1	Physikalische Grundlagen der Absorption	188
4.3.2	Photoleiter	193
4.3.3	Photodioden und weitere Photodetektoren	195
4.3.4	Materialien für optische Empfänger	199
4.4	Solarzellen – Photovoltaik	202
4.5	Tendenzen der Optoelektronik	204
4.5.1	Lichtemittierende Bauelemente	204
4.5.2	Photodetektoren	206
4.5.3	Photovoltaik	207
	Zusammenfassung zu Kapitel 4	208
	Aufgaben zu Kapitel 4	210
5	Bipolartransistoren	215
5.1	Einfaches Transistormodell	215
5.2	Abschätzung der Verstärkungswirkung	219
5.2.1	Definition verschiedener Verstärkungsfaktoren	219
5.2.2	Diffusionsstrom in der Basis	221
5.2.3	Größenordnung der Stromverstärkung	224

5.3 Ebers-Moll-Gleichungen	227
5.3.1 Relativ einfache Herleitung	227
5.3.2 Zusammenfassung der Herleitung.....	231
5.3.3 Allgemeine Form der Ebers-Moll-Gleichungen.....	232
5.3.4 Verschiedene Näherungen für die Ebers-Moll-Gleichungen	234
5.4 Herleitung der Ebers-Moll-Gleichungen aus den Diffusionsgleichungen ..	237
5.4.1 Ansätze für die Diffusionsströme	237
5.4.2 Lösungen der Diffusionsgleichungen	238
5.5 Kennlinienfelder	241
5.5.1 Kennlinienfelder in Basisschaltung	241
5.5.2 Kennlinienfelder in Emitterschaltung.....	243
5.5.3 Early-Effekt.....	246
5.6 Ergänzungen zu Bipolartransistoren. Tendenzen	246
Zusammenfassung zu Kapitel 5	247
Aufgaben zu Kapitel 5	248

6 Metall-Halbleiter-Kontakte und Feldeffekt-Transistoren 255

6.1 Metall-Halbleiter-Kontakte	255
6.1.1 Schottky-Dioden	255
6.1.2 Ohmsche Kontakte	261
6.2 Einführung in Feldeffekttransistoren	261
6.2.1 Die verschiedenen Typen von Feldeffekttransistoren	261
6.2.2 Einfaches Modell.....	264
6.3 Detailliertere Beschreibung des MOSFET	269
6.3.1 Ladungszustände eines MOS-Kondensators	269
6.3.2 Quantitative Betrachtung der Inversionsbedingung	271
6.3.3 Ladungen, Kapazität und Sperrschichtbreite am MOS-Kondensator	273
6.3.4 Verfeinerte Herleitung der Kennliniengleichung	278
6.3.5 <i>MOS-Kondensator mit Berücksichtigung der beweglichen Ladungsträger</i>	282
6.4 MOSFETs in der digitalen Schaltungstechnik	286
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	292
6.5 Speicherschaltkreise	293
6.5.1 RAM-Speicher	293
6.5.2 ROMs	294
6.5.3 EPROMs und EEPROMs	294

6.6 CCD-Bauelemente	295
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	310
7.3 Herstellung von Einkristallen anderer Halbleiter	312
7.3.1 Germanium	312
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	318
7.4.3 Dotieren	319
7.4.4 Epitaxieverfahren.....	323
7.4.5 Metallisierung durch Aufdampfen und Sputtern	326
7.4.6 Ätzen.....	328
7.4.7 Reinigen.....	330
7.5 Lithographie	331
7.6 Reinraumtechnik	334
7.7 Ein Beispiel für die Technik integrierter Schaltungen	339
7.8 Tendenzen der Halbleitertechnologie	342
Zusammenfassung zu Kapitel 7	344
Aufgaben zu Kapitel 7	347
Literaturverzeichnis	351
Verzeichnis der Internet-Dateien	355
Verwendete Formelzeichen	361
Tabellenverzeichnis	369
Index.....	371
Personenindex	387