

Inhaltsverzeichnis

<u>1 Einführung und Überblick</u>	15
1.1 Funktion und Materialien der Halbleiterlumineszenzdioden ..	15
1.2 Entwicklungsgeschichte der Halbleiterlichtemitter	19
Literatur zu Kapitel 1	26
<u>2 Strahlende und nichtstrahlende Rekombination in Halbleitern</u> ...	30
2.1 Elektronische Übergänge und Bandstruktur bei Halbleitern ..	30
2.2 Strahlende Rekombination	34
2.2.1 Theorie der strahlenden Übergänge	34
2.2.2 Direkte Band-Band-Übergänge	44
2.2.3 Donator-Akzeptor-Übergänge	49
2.2.4 Donator-Valenzband- und Akzeptor-Leitungsband- Übergänge	54
2.2.5 Übergänge über Exzitonen	55
2.3 Nichtstrahlende Rekombination	68
2.3.1 Multiphononenprozesse	68
2.3.2 Phononenkaskadenprozesse	71
2.3.3 Auger-Prozesse	72
2.4 Zeitkonstanten der Rekombination	74
2.4.1 Strahlende Lebensdauer	74
2.4.2 Rekombination über eine Störstelle	75
2.4.3 Lebensdauer bei Auger-Prozessen	77
Literatur zu Kapitel 2	78
<u>3 Physik der Lumineszenzdioden</u>	81
3.1 Stromführungsmechanismen in Lumineszenzdioden	81
3.2 Der externe Quantenwirkungsgrad	85

3.2.1	Quantenwirkungsgrad der strahlenden Rekombination	86
3.2.2	Der Injektionswirkungsgrad und der innere Quanten- wirkungsgrad	92
3.2.3	Der optische Wirkungsgrad	94
	Literatur zu Kapitel 3	103
4	<u>Materialherstellung und -technologie</u>	105
4.1	Materialsynthese und Einkristallzucht	107
4.1.1	Syntheseverfahren	107
4.1.2	Das Schutzschmelzeverfahren zum Ziehen von GaP-Einkristallen	109
4.1.3	Verfahren, bei denen Synthese und Einkristallzucht in einem Arbeitsgang erfolgen	110
4.2	Epitaxieverfahren	112
4.2.1	Gasphasenepitaxie	112
4.2.2	Flüssigphasenepitaxie	117
4.2.3	Molekularstrahlepitaxie	123
4.2.4	Probleme der Heteroepitaxie	123
4.3	Herstellung von pn-Übergängen bei Lumineszenzdioden	127
	Literatur zu Kapitel 4	130
5	<u>Lumineszenzdioden</u>	132
5.1	Lumineszenzdioden für den sichtbaren Spektralbereich (LED)	132
5.1.1	Photometrische Größen	132
5.1.2	GaP- und Ga(As,P)-LED	134
5.1.3	Andere III-V-LED	141
5.1.4	Andere Materialien für LED	147
5.1.5	Vergleich der verschiedenen LED-Materialien	149
5.2	Lumineszenzdioden für den infraroten Spektralbereich (IRED)	151
5.2.1	GaAs- und (Ga,Al)As-IRED	151
5.2.2	IRED für längerwellige Emission	157
	Literatur zu Kapitel 5	159
6	<u>Halbleiterlaser</u>	162
6.1	Überblick	162

6.1.1	Phänomenologisches	163
6.1.2	Anregungsarten	167
6.1.3	Anwendungsaspekte	168
6.2	Physik des Halbleiterlasers	169
6.2.1	Bilanzgleichungen	169
6.2.2	Rekombinationsraten	172
6.2.3	Allgemeine thermodynamische Laserbedingung	174
6.2.4	Rekombination im Halbleiter	175
6.2.5	Anregungsträgerdichte	176
6.2.6	Verstärkung im angeregten Halbleiter	180
6.2.7	Quantitative Berechnungen der Laseremission	180
6.3	Die Laserdiode	184
6.3.1	Aufbau und Stromanregung	184
6.3.2	Der verlustbehaftete Halbleiterlaser	186
6.3.3	Schwellenstrom	188
6.4	Schwingungsmoden des Halbleiterlasers	190
6.4.1	Berechnung der Schwingungsmoden	192
6.4.2	Abstrahlung der Laserdiode	196
6.5	Dynamik der Laseremission (Einschwingen, Verstärkung und Modulation)	202
6.5.1	Bilanzgleichungen für die Laserdiode	202
6.5.2	Stationäre Lösungen der Bilanzgleichungen und Laserkenngrößen	204
6.5.3	Nichtlineare Verstärkung und Sättigung	207
6.5.4	Einschwingverhalten	209
6.5.5	Modulationsverhalten	213
6.5.6	Spektrale Modulation	215
6.5.7	Frequenzverhalten von Lumineszenzdiode	216
6.6	Spezielle Halbleiterdiodenlaser	218
6.6.1	Laserdioden mit Fabry-Perot-Struktur	219
6.6.2	Dioden zur Ausweitung des Wellenlängenbereiches	235
6.6.3	Diodenlaser mit verteilter Rückkoppelung (DFB, DBR)	241
6.7	Optisch oder mit Elektronenstrahl gepumpte Halbleiterlaser	247
6.8	Aufbau von Laserdioden	250

6.8.1 Erzeugen von Streifenlasern und Chipmontage	252
6.8.2 Wärmeabführung	255
Literatur zu Kapitel 6	259
<u>7 Anwendungen von Lumineszenz- und Laserdioden</u>	268
7.1 Anwendungen von LED	268
7.1.1 Anthropotechnische Eigenschaften der LED	268
7.1.2 LED-Indikatorlampen	273
7.1.3 LED-Displays	276
7.1.4 Ansteuerung von LED-Indikatorlampen und LED- Displays	281
7.2 Anwendungen von IRED und von Laserdioden	284
7.2.1 Lichtschranken	284
7.2.2 Lochkarten- und Lochstreifenleser	285
7.2.3 IR-Tonübertragung und IR-Fernsteuerung	285
7.2.4 Optokoppler	286
7.2.5 Lichtgezündete Thyristoren	288
7.2.6 Optische Speicher	288
7.2.7 Optische Datenübertragung	289
7.2.8 Umweltschutz	294
Literatur zu Kapitel 7	295
<u>8 Langzeitverhalten von Lumineszenz- und Laserdioden</u>	297
8.1 Alterung von Lumineszenzdioden bei niedriger Stromdichte	297
8.2 Alterung von Lumineszenzdioden bei hoher Stromdichte	300
8.3 Alterung von Laserdioden	302
Literatur zu Kapitel 8	307
<u>Sachverzeichnis</u>	309