

Kenneth A. Jones

Optoelektronik

Lehrbuch



Weinheim · New York · Basel · Cambridge

Inhalt

1	Ausbreitung ebener Wellen	1
1.1	Einführung	1
1.2	Elektromagnetische Fundamentalgleichungen	2
1.3	Ebene Wellen	5
1.3.1	Ohne Verluste	5
1.3.2	Der Pointingsche Vektor	8
1.3.3	Polarisation und Magnetisierung	12
1.3.4	Mit Verlusten	16
1.4	Die Ausbreitung von Licht im unbegrenzten Medium	23
1.4.1	Randbedingungen an einer ebenen Oberfläche	23
1.4.2	Verlustlose Reflexion an einer einzelnen Grenzschicht	24
1.4.3	Verlustbehaftete Reflexion an einer einzelnen Grenzfläche	31
1.5	Spiegel und Linsen	34
1.5.1	Spiegel	34
1.5.2	Linsen	40
2	Lichtwellenleiter	61
2.1	Einleitung	61
2.2	Ebenes Dielektrikum	63
2.2.1	Vollständige innere Reflexion	63
2.2.2	Transversalmodi	68
2.3	Wellenlängendispersion	73
2.3.1	Physikalische Beschreibung	73
2.3.2	Suszeptibilität eines atomischen Gases	75
2.3.3	Wellenlängendispersion	78
2.4	Lichtwellenleiter	81
2.4.1	Stufenfasern	81

2.4.2	Gradientenfasern	84
2.4.3	Lichteinspeisung	87
2.5	Verluste	91
2.5.1	Streuung und Absorption	91
2.5.2	Mechanische Effekte	94
2.6	Auswahl der Faser	98
2.7	Herstellung und Verbindung	99
2.7.1	Herstellung	99
2.7.2	Verbindung	102
3	Lichtspektren von Atomen, Molekülen und Festkörpern	115
3.1	Einführung	115
3.2	Das Wasserstoffatom	116
3.2.1	Das Bohrsche Wasserstoffmodell	116
3.2.2	Eine vollständigere Beschreibung des Wasserstoffatoms	120
3.2.3	Lichtemission eines Wasserstoffatoms	123
3.3	Das Periodensystem der Elemente	128
3.4	Angeregte Atomzustände	133
3.4.1	Einwertige Atome	133
3.4.2	Atome mit zwei Valenzelektronen	138
3.4.3	Edelgasatome	140
3.5	Moleküle	142
3.5.1	Atomorbitale	142
3.5.2	Linearkombinationen von Atomorbitalen	147
3.6	Bändermodell von Festkörpern	150
3.6.1	Reine Materialien	150
3.6.2	Dotierte Halbleiter und Nichtleiter	153
3.7	Schwingungs- und Rotationszustände	157
3.7.1	Schwingungszustände	157
3.7.2	Rotationszustände	163
3.7.3	Mehrfache Übergänge	164
3.8	Bandbreite der Emissionsspitzen	166

4	Empfänger	177
4.1	Einführung	177
4.2	Photovervielfacher	178
4.3	Elektrische Leitfähigkeit	181
4.3.1	Allgemeine Leitfähigkeit	181
4.3.2	Leitung in Metallen	186
4.3.3	Der Leitvorgang in Halbleitern	188
4.3.4	Leitung in Photozellen	195
4.4	Generation, Rekombination und Absorption	196
4.4.1	Fermi-Energie von Fremdhaleitern	196
4.4.2	Generation-Rekombination	199
4.4.3	Diffusionslänge, Diffusionskoeffizient und Abfallzeit	208
4.4.4	Absorption	214
4.5	Arbeitsweise eines Photoempfängers	217
4.6	Gleichrichterioden	221
4.6.1	Der <i>pn</i> -Übergang	221
4.6.2	Dioden	224
4.7	Photodioden	228
4.7.1	<i>pn</i> -Photodioden	228
4.7.2	<i>pin</i> -Photodioden	239
4.7.3	Avalanche-Photodioden (APD)	243
4.8	Kennlinien realer Dioden	247
5	Weitere Empfänger; Rauschen	267
5.1	Einführung	267
5.2	Photonenempfänger	269
5.2.1	Photozellen	269
5.2.2	Schottky-Dioden	273
5.2.3	Phototransistoren	278
5.3	Photothermische Empfänger	284
5.3.1	Thermistoren	284
5.3.2	Bolometer	286

5.4	Kennwerte und Rauschen	288
5.4.1	Kennwerte	288
5.4.2	Thermisches Rauschen	290
5.4.3	Weitere wichtige Rauschquellen in Empfängern	293
6	Leuchtdioden	303
6.1	Einführung	303
6.2	Die Arbeitsweise von Leuchtdioden	305
6.2.1	Optische Übergänge	305
6.2.2	Kennlinien für Strom, Spannung und Leistung	313
6.3	Spezielle Leuchtdioden	320
6.3.1	Binäre homogene Sperrschichten	320
6.3.2	Homogene Sperrschichten aus drei oder vier Komponenten	322
6.3.3	Heterogene Sperrschichten	329
6.4	Kennlinien des emittierten Lichts	330
6.4.1	Winkelverteilung	330
6.4.2	Position der Spitzen und Bandbreite	331
6.5	Auswirkungen der Frequenz	334
6.5.1	Digitale Signale	334
6.5.2	Analoge Signale	336
6.5.3	Abfallzeit	339
7	Laserdioden	349
7.1	Einführung	349
7.2	Lasergrundlagen	352
7.2.1	Stimulierte Emission	352
7.2.2	Optische Verstärkung	355
7.2.3	Eigenschaften des emittierten Lichts	359
7.3	Laser mit homogener Sperrschicht	363
7.3.1	Anforderungen an Material und Arbeitsweise	363
7.3.2	Ausgangsleistung	365
7.3.3	Herstellung und Arbeitsweise von Lasern	366
7.4	Laser mit heterogener Sperrschicht	370

7.4.1	Heterogene Halbleitersperrschichten	370
7.4.2	Arbeitsweise dieser Bauteile	378
7.5	Einspeisung in die Glasfaser und Modulation	383
7.6	Vergleich zwischen Laser- und Leuchtdiode	384
8	Optische Hohlräume	391
8.1	Einführung	391
8.2	Elektronenresonanz	393
8.2.1	Lösung im Gleichgewichtszustand	393
8.2.2	Transiente Lösung	397
8.2.3	Betrachtungen zur Energie	399
8.3	Optische Resonanz	402
8.3.1	Energie und Verluste in einem optischen Hohlraum	402
8.3.2	Longitudinal-Modi	406
8.4	Fabry-Perot-Hohlraum	408
8.4.1	Eigenreflexionsgrad und Übertragungsverhältnis	408
8.4.2	Optischer Spektralanalysator	413
8.5	Fabry-Perot-Laser	416
9	Grundlagen der Lasertechnik	421
9.1	Einführung	421
9.2	Die Strahlung Schwarzer Körper	422
9.3	Systeme mit zwei Niveaus	425
9.3.1	Einstein-Koeffizienten	425
9.3.2	Lichtverstärkung	427
9.4	Laser mit drei Niveaus	427
9.4.1	Transparenzpunkt	427
9.4.2	Sättigungsverstärkung	430
9.4.3	Innere Leistung	432
9.4.4	Optimale Anpassung	432
9.5	Laser mit vier Niveaus	434
9.6	Schwingungsfrequenzen	438

9.7	Wirkungsgrad	440
9.8	Festkörper- und Flüssigkeitslaser	442
9.8.1	Rubinlaser	442
9.8.2	Weitere Festkörper- und Flüssigkeitslaser	446
9.9	Gaslaser	453
9.9.1	Helium-Neon-Laser	453
9.9.2	CO ₂ -Laser	457
10	Neue Entwicklungen	465
10.1	Einführung	465
10.2	Monomodenzlaser und Einfrequenzlaser	466
10.2.1	Monomodenzlaser	467
10.2.2	Einfrequenzlaser	472
10.3	Quantenwall-Laser	483
10.4	Integrierte Optoelektronik	489
10.5	Optische Bistabilität	499
Anhang A		
	Periodische Linsen-Wellenleitung	507
Anhang B		
	Moden in einer Wellenleitung	513
Anhang C		
	Herleitung der Elektronen- und Löcherkonzentration	521
Anhang D		
	Liste der verwendeten Symbole	525
	Literatur	531
	Register	535