

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Optische Phänomene	1
1.2	Optische Koeffizienten	3
1.3	Komplexer Brechungsindex und Permittivität	7
1.4	Optische Materialien	11
1.4.1	Kristalline Isolatoren und Halbleiter	11
1.4.2	Gläser	15
1.4.3	Metalle	16
1.4.4	Molekulare Materialien	17
1.4.5	Dotierte Gläser und Isolatoren	19
1.5	Charakteristika der Optik von Festkörpern	21
1.5.1	Kristallsymmetrie	22
1.5.2	Elektronische Bänder	24
1.5.3	Vibronische Bänder	25
1.5.4	Die Zustandsdichte	26
1.5.5	Delokalisierte Zustände und kollektive Anregungen	26
1.6	Mikroskopische Modelle	27
	Zusammenfassung	29
	Weiterführende Literatur	30
	Aufgaben	31
2	Klassische Propagation	37
2.1	Propagation von Licht in optisch dichten Medien	37
2.1.1	Atomare Oszillatoren	38
2.1.2	Molekül- und Gitterschwingungen	41
2.1.3	Oszillationen freier Elektronen	42
2.2	Das Modell des oszillierenden Dipols	43
2.2.1	Der Lorentz-Oszillator	43
2.2.2	Multiple Resonanzen	49
2.2.3	Vergleich mit experimentellen Daten	52
2.2.4	Lokalfeldkorrekturen	55
2.3	Die Kramers-Kronig-Relationen	56

2.4	Dispersion	58
2.5	Optische Anisotropie	61
2.5.1	Natürliche Anisotropie: Doppelbrechung	61
2.5.2	Induzierte optische Anisotropie	67
2.6	Optische Chiralität	69
	Zusammenfassung	71
	Weiterführende Literatur	72
	Aufgaben	73
3	Interbandabsorption	81
3.1	Interbandübergänge	81
3.2	Die Übergangsrate für die direkte Absorption	84
3.3	Bandkantenabsorption in Halbleitern mit direkter Bandlücke	88
3.3.1	Die Atomphysik von Interbandübergängen	88
3.3.2	Die Bandstruktur von III-V-Halbleitern mit direkter Bandlücke	90
3.3.3	Die gemeinsame Zustandsdichte	92
3.3.4	Die Frequenzabhängigkeit der Bandkantenabsorption	93
3.3.5	Der Franz-Keldysh-Effekt	95
3.3.6	Bandkantenabsorption im Magnetfeld	96
3.3.7	Spininjektion	98
3.4	Bandkantenabsorption in Halbleitern mit indirekter Bandlücke	101
3.5	Interbandabsorption über der Bandkante	105
3.6	Messung von Absorptionsspektren	108
3.7	Halbleiterphotodetektoren	111
3.7.1	Photodioden	111
3.7.2	Photoleiter	114
3.7.3	Photovoltaische Bauelemente	115
	Zusammenfassung	116
	Weiterführende Literatur	118
	Aufgaben	118
4	Exzitonen	123
4.1	Das Konzept der Exzitonen	123
4.2	Freie Exzitonen	125
4.2.1	Bindungsenergie und Radius	125
4.2.2	Exzitonsche Absorption	127
4.2.3	Experimentelle Daten für freie Elektronen in GaAs	129

4.3	Freie Exzitonen in externen Feldern	131
4.3.1	Elektrische Felder	132
4.3.2	Magnetische Felder	133
4.4	Freie Exzitonen bei hohen Dichten	134
4.5	Frenkel-Exzitonen	138
4.5.1	Edelgaskristalle	138
4.5.2	Alkalihalogenide	139
4.5.3	Molekulare Kristalle	140
	Zusammenfassung	141
	Weiterführende Literatur	142
	Aufgaben	142
5	Lumineszenz	147
5.1	Lichtemission in Festkörpern	147
5.2	Interbandlumineszenz	150
5.2.1	Materialien mit direkter Bandlücke	151
5.2.2	Materialien mit indirekter Bandlücke	152
5.3	Photolumineszenz	154
5.3.1	Anregung und Relaxation	154
5.3.2	Kleine Ladungsträgerdichten	156
5.3.3	Entartung	158
5.3.4	Optische Ausrichtung	160
5.3.5	Photolumineszenz-Spektroskopie	162
5.4	Elektrolumineszenz	163
5.4.1	Allgemeine Prinzipien	163
5.4.2	Leuchtdioden	167
5.4.3	Diodenlaser	168
5.4.4	Kathodolumineszenz	173
	Zusammenfassung	176
	Weiterführende Literatur	177
	Aufgaben	178
6	Quantenbeschränkung	183
6.1	Quantenbeschränkte Strukturen	183
6.2	Wachstum und Struktur von Quantentöpfen	187
6.3	Elektronische Niveaus	189
6.3.1	Separation der Variablen	189
6.3.2	Unendliche Potentialtöpfe	190
6.3.3	Endliche Potentialtöpfe	192

6.4	Absorption im Quantentopf und Exzitonen	197
6.4.1	Auswahlregeln	197
6.4.2	Zweidimensionale Absorption	200
6.4.3	Experimentelle Daten	203
6.4.4	Exzitonen in Quantentöpfen	204
6.4.5	Spininjektion in Quantentöpfen	205
6.5	Der quantenbeschränkte Stark-Effekt	207
6.6	Optische Emission	212
6.7	Intersubbandübergänge	214
6.8	Quantenpunkte	215
6.8.1	Quantenpunkte als künstliche Atome	216
6.8.2	Kolloidale Quantenpunkte	219
6.8.3	Selbstorganisierte Epitaxie von Quantenpunkten	221
	Zusammenfassung	224
	Weiterführende Literatur	226
	Aufgaben	227
7	Freie Elektronen	235
7.1	Plasmareflexion	235
7.2	Leitung durch freie Ladungsträger	238
7.3	Metalle	241
7.3.1	Das Drude-Modell	241
7.3.2	Interbandübergänge in Metallen	245
7.4	Dotierte Halbleiter	248
7.4.1	Reflexion und Absorption durch freie Ladungsträger	249
7.4.2	Absorption durch Fremtteilchen	253
7.5	Plasmonen	256
7.5.1	Volumenplasmonen	256
7.5.2	Oberflächenplasmonen	261
7.6	Negative Brechung	267
	Zusammenfassung	270
	Weiterführende Literatur	271
	Aufgaben	272
8	Molekulare Materialien	277
8.1	Einführung: Organische Materialien	277
8.2	Optische Spektren von Molekülen	280
8.2.1	Elektronische Zustände und Übergänge	280
8.2.2	Vibronische Kopplung	282

8.2.3	Molekulare Konfigurationsdiagramme	284
8.2.4	Das Franck-Condon-Prinzip	286
8.2.5	Experimentelle Spektren	290
8.3	Konjugierte Moleküle	293
8.3.1	Kleine konjugierte Moleküle	293
8.3.2	Konjugierte Polymere	296
8.4	Organische Optoelektronik	299
8.5	Kohlenstoffnanostrukturen	303
8.5.1	Einführung	303
8.5.2	Graphen	304
8.5.3	Kohlenstoffnanoröhren	306
8.5.4	Fullerene	312
	Zusammenfassung	314
	Weiterführende Literatur	316
	Aufgaben	316
9	Lumineszenzzentren	321
9.1	Vibronische Absorption und Emission	321
9.2	Farbzentren	325
9.2.1	F-Zentren in Alkalihalogeniden	325
9.2.2	NV-Zentren in Diamant	328
9.3	Paramagnetische Beimengungen in ionischen Kristallen	331
9.3.1	Kristallfeldeffekt und vibronische Kopplung	331
9.3.2	Ionen der Seltenerdmetalle	333
9.3.3	Ionen der Übergangsmetalle	336
9.4	Festkörperlaser und optische Verstärker	338
9.5	Leuchtstoffe	342
	Zusammenfassung	344
	Weiterführende Literatur	345
	Aufgaben	346
10	Phononen	351
10.1	Infrarotaktive Phononen	351
10.2	Infrarotreflexion und -absorption in polaren Festkörpern	353
10.2.1	Das klassische Oszillatormodell	354
10.2.2	Die Lyddane-Sachs-Teller-Beziehung	357
10.2.3	Reststrahlen	358
10.2.4	Gitterabsorption	360

10.3	Polaritonen	363
10.4	Polaronen	364
10.5	Inelastische Lichtstreuung	368
10.5.1	Allgemeine Prinzipien	369
10.5.2	Raman-Streuung	370
10.5.3	Brillouin-Streuung	372
10.6	Phononlebensdauer	374
	Zusammenfassung	375
	Weiterführende Literatur	376
	Aufgaben	377
11	Nichtlineare Optik	381
11.1	Der nichtlineare Suszeptibilitätstensor	381
11.2	Zum physikalischen Ursprung optischer Nichtlinearitäten	385
11.2.1	Nichtresonante Nichtlinearitäten	385
11.2.2	Resonante Nichtlinearitäten	390
11.3	Nichtlinearitäten zweiter Ordnung	393
11.3.1	Nichtlineare Frequenzmischung	393
11.3.2	Einfluss der Kristallsymmetrie	396
11.3.3	Phasen-Matching	398
11.3.4	Elektrooptik	401
11.4	Nichtlineare Effekte dritter Ordnung	407
11.4.1	Überblick über Phänomene dritter Ordnung	407
11.4.2	Frequenzverdreifachung	408
11.4.3	Optischer Kerr-Effekt und nichtlinearer Brechungsindex	408
11.4.4	Stimulierte Raman-Streuung	412
11.4.5	Isotrope nichtlineare Medien dritter Ordnung	412
11.4.6	Nichtlineare Propagation in optischen Fasern und Solitonen	414
11.4.7	Resonante Nichtlinearitäten in Halbleitern	416
	Zusammenfassung	419
	Weiterführende Literatur	420
	Aufgaben	420
A	Elektromagnetismus in Dielektrika	425
A.1	Elektromagnetische Felder und Maxwell-Gleichungen	425
A.2	Elektromagnetische Wellen	429
	Weiterführende Literatur	436

B	Quantentheorie der Strahlungsübergänge	437
B.1	Einstein-Koeffizienten	437
B.2	Quantenübergangsraten	441
B.3	Auswahlregeln.....	446
	Weiterführende Literatur	448
C	Der Drehimpuls in der Atomphysik	449
C.1	Der Drehimpuls in der Quantenmechanik	449
C.2	Notation für atomare Drehimpulszustände	450
C.3	Aufspaltung in Unterniveaus.....	452
	Weiterführende Literatur	453
D	Bändertheorie	455
D.1	Metalle, Halbleiter und Isolatoren.....	455
D.2	Modell quasifreier Elektronen	457
D.3	Bandstruktur: Beispiel.....	461
	Weiterführende Literatur	464
E	Halbleiter-p-i-n-Dioden	465
	Weiterführende Literatur	467
	Lösungen zu den Aufgaben	469
	Literaturverzeichnis	489
	Liste der verwendeten Symbole	505
	Index	509