

## Inhalt

<b>1 Der kristalline Zustand</b>	11
<b>1.1 Struktur idealer Kristalle</b>	12
Raumgitter	12
Kristallstrukturen	16
Millersche Indizes	18
Reziprokes Gitter	19
Erste Brillouin-Zone	21
<b>1.2 Kristalle als natürliche Beugungsgitter</b>	23
Lauesche Gleichungen	23
Braggsche Reflexionsbedingung	26
Strukturfaktor	28
Debye-Waller-Faktor	32
Beugung von Materiewellen	33
<b>1.3 Bindungsarten im Kristall</b>	34
Ionenbindung	35
Kovalente Bindung	41
Metallische Bindung	42
Van-der-Waals-Bindung	43
Bindung über Wasserstoffbrücken	43
<b>1.4 Fehlordnungen im Kristall</b>	44
Leerstellen und Zwischengitteratome	45
Fremdatome in Kristallen	52
Farbzentren	53
Versetzungen	54
Kleinwinkelkorngrenzen und Stapelfehler	60
<b>1.5 Experimentelle Methoden zur Untersuchung von Kristallstrukturen mit Hilfe von Röntgenstrahlen</b>	61
Laue-Verfahren	61
Drehkristallverfahren	62
Debye-Scherrer-Verfahren	63
<b>2 Dynamik des Kristallgitters</b>	64
<b>2.1 Gitterschwingungen</b>	65
Eigenschwingungen von Kristallgittern mit einatomiger Basis	65
Phononen	69
Eigenschwingungen von Kristallgittern mit zweiatomiger Basis	71
<b>2.2 Spezifische Wärme von Kristallen</b>	74
Zustandsdichte im Phononenspektrum	75
Debyesches Näherungsverfahren	76

## 6 Inhalt

2.3	Anharmonische Effekte . . . . .	80
	Thermische Ausdehnung . . . . .	81
	Wärmeleitung in Isolatoren . . . . .	83
2.4	Phononenspektroskopie . . . . .	85
	Unelastische Neutronenstreuung . . . . .	85
	Raman-Streuung . . . . .	88
	Aufgaben zu Kapitel 1 und 2 . . . . .	90
3	<b>Elektronen im Festkörper</b> . . . . .	91
3.1	Modell des freien Elektronengases . . . . .	92
	Spezifische Wärme von Metallen . . . . .	93
	Wärmeleitung in Metallen . . . . .	95
	Glühemission von Elektronen aus Metallen . . . . .	96
	Metallische Bindung . . . . .	99
3.2	Bändertheorie des Festkörpers . . . . .	100
	Bloch-Funktion . . . . .	101
	Näherung für quasigebundene Elektronen . . . . .	105
	Näherung für quasifreie Elektronen . . . . .	109
	Metalle, Halbmetalle, Isolatoren und Halbleiter . . . . .	113
	Fermi-Flächen von Metallen . . . . .	114
3.3	Kristallelektronen in äußeren Kraftfeldern . . . . .	118
	Effektive Masse eines Kristallelektrons . . . . .	120
	Bewegung eines Kristallelektrons in einem elektrischen Feld; Defektelelektronen . . . . .	121
	Bewegung eines Kristallelektrons in einem magnetischen Feld; Zyklotronfrequenz . . . . .	124
	Elektrische Leitfähigkeit von Metallen . . . . .	127
	Elektrische Leitung in gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldern; Hall-Effekt . . . . .	135
3.4	Halbleiter . . . . .	138
	Eigenleitung . . . . .	138
	Störstellenleitung . . . . .	141
	p-n-Übergang . . . . .	147
3.5	Experimentelle Methoden zur Bestimmung der charakteristischen Eigenschaften eines Halbleiters . . . . .	150
	Hall-Effekt bei Halbleitern . . . . .	151
	Zyklotron-Resonanz bei Halbleitern . . . . .	153
3.6	Quanten-Hall-Effekt . . . . .	157
	Aufgaben zu Kapitel 3 . . . . .	163
4	<b>Dielektrische Eigenschaften der Festkörper</b> . . . . .	164
4.1	Zusammenhang zwischen Dielektrizitätskonstante und Polarisierbarkeit . . . . .	164
	Lokales elektrisches Feld . . . . .	165
	Clausius-Mosottische Gleichung . . . . .	168

<b>4.2 Elektrische Polarisation und optische Eigenschaften von Isolatoren . . . . .</b>	<b>169</b>
Lorentzsches Oszillatormodell . . . . .	170
Eigenschwingungen von Ionenkristallen . . . . .	172
Optisches Verhalten von Ionenkristallen . . . . .	176
Polaritonen . . . . .	180
Orientierungspolarisation . . . . .	181
<b>4.3 Optische Eigenschaften von Metallen und Halbleitern . . . . .</b>	<b>184</b>
Plasmaschwingungen . . . . .	185
Interbandübergänge . . . . .	188
Exzitonen . . . . .	189
<b>4.4 Ferroelektrizität . . . . .</b>	<b>190</b>
Polarisationskatastrophe . . . . .	193
Antiferroelektrizität . . . . .	194
<b>4.5 Experimentelle Methoden zur Bestimmung der dielektrischen Funktion . . . . .</b>	<b>195</b>
Kramers-Kronig-Relationen . . . . .	195
Auswertung von optischen Reflexionsspektren . . . . .	197
Energieverlust schneller Elektronen in einem Festkörper . . . . .	198
Aufgaben zu Kapitel 4 . . . . .	200
<b>5 Magnetische Eigenschaften der Festkörper . . . . .</b>	<b>201</b>
<b>5.1 Para- und Diamagnetismus von Isolatoren . . . . .</b>	<b>202</b>
Langevinscher Para- und Diamagnetismus . . . . .	203
Salze der seltenen Erden und der Eisenreihe . . . . .	206
<b>5.2 Para- und Diamagnetismus von Metallen . . . . .</b>	<b>208</b>
<b>5.3 Ferromagnetismus . . . . .</b>	<b>211</b>
Molekularfeldnäherung . . . . .	214
Spinwellentheorie . . . . .	219
Domänenstruktur . . . . .	224
<b>5.4 Antiferromagnetismus . . . . .</b>	<b>228</b>
<b>5.5 Spingläser . . . . .</b>	<b>233</b>
Aufgaben zu Kapitel 5 . . . . .	238
<b>6 Supraleitung . . . . .</b>	<b>239</b>
<b>6.1 Grundzüge der mikroskopischen Theorie der Supraleitung . . . . .</b>	<b>241</b>
Effektive Elektron-Elektron-Wechselwirkung . . . . .	242
Cooper-Paare . . . . .	249
Grundzustand und angeregte Zustände eines Supraleiters bei $T = 0 \text{ K}$ . . . . .	252
Supraleitende Zustände für $T > 0 \text{ K}$ . . . . .	258
Isotopieeffekt . . . . .	261
Halbleitermodell des Supraleiters . . . . .	262
Giaever'sche Tunnelexperimente . . . . .	265
<b>6.2 Elektrodynamik des supraleitenden Zustands . . . . .</b>	<b>269</b>
Londonsche Gleichungen . . . . .	270
Dünne supraleitende Schicht im Magnetfeld . . . . .	274
Flußquantisierung . . . . .	275

## 8 Inhalt

6.3	Josephson-Effekte . . . . .	277
	Josephson-Gleichungen . . . . .	277
	Josephson-Kontakt im Magnetfeld . . . . .	280
	Josephson-Kontakt im Feld einer elektromagnetischen Mikrowellenstrahlung . . . . .	285
6.4	Thermodynamik des supraleitenden Zustands . . . . .	289
	Freie Enthalpie des supraleitenden Zustands . . . . .	290
	Entropie und spezifische Wärme . . . . .	293
6.5	Phänomenologische Theorie von Ginzburg und Landau . . . . .	295
	Ginzburg-Landau-Gleichungen . . . . .	295
	Phasengrenzenergie . . . . .	300
	Supraleiter erster Art . . . . .	304
	Supraleiter zweiter Art . . . . .	309
6.6	Hochtemperatur-Supraleiter . . . . .	317
	Aufgaben zu Kapitel 6 . . . . .	320
7	Legierungen . . . . .	322
7.1	Thermodynamik binärer Legierungen . . . . .	323
	Ideale Lösungen . . . . .	328
	Eutektische und peritektische Zustandsdiagramme . . . . .	330
	Intermetallische Verbindungen . . . . .	334
	Thermische Analyse . . . . .	338
	Überstrukturen . . . . .	339
7.2	Kinetik der Phasenreaktionen . . . . .	344
	Darken-Gleichungen . . . . .	346
	Erstarrungsvorgänge . . . . .	350
	Ausscheidungsvorgänge . . . . .	356
	Martensitische Umwandlungen . . . . .	357
7.3	Metastabile Legierungen . . . . .	361
	Struktur metallischer Gläser . . . . .	365
	Beugungsdiagramme amorpher Substanzen . . . . .	367
	Feinstrukturanalyse von Röntgenabsorptionskanten . . . . .	370
	Aufgaben zu Kapitel 7 . . . . .	372
<b>Anhang</b>		
A	Thermodynamische Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	373
B	Verteilungsfunktionen in der Boltzmann-, Bose- und Fermi-Statistik . . . . .	374
	Boltzmannsche Verteilungsfunktion . . . . .	378
	Bosesche Verteilungsfunktion . . . . .	378
	Fermische Verteilungsfunktion . . . . .	378
C	Periodensystem mit Daten über verschiedene atomare Eigenschaften und Festkörpereigenschaften der Elemente . . . . .	Faltblatt
<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .		
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .		