

Harald Ibach Hans Lüth

Festkörperphysik

Einführung in die Grundlagen

Siebte Auflage
mit 277 Abbildungen, 18 Tafeln und 104 Übungen

^r ^
4y Springer

Inhaltsverzeichnis

1. Die chemische Bindung in Festkörpern	1
1.1 Das Periodensystem	1
1.2 Kovalente Bindung	4
1.3 Die Ionenbindung	9
1.4 Metallische Bindung	13
1.5 Die Wasserstoffbrückenbindung	14
1.6 Die Van der Waals-Bindung	15
Übungen	17
2. Die Struktur von Festkörpern	21
2.1 Translationsgitter	22
2.2 Punktsymmetrien	25
2.3 Die 32 Kristallklassen (Punktgruppen)	27
2.4 Die Bedeutung der Symmetrie	28
2.5 Einfache Kristallstrukturen	31
2.6 Phasendiagramme von Legierungen	36
2.7 Defekte in Festkörpern	46
Übungen	49
3. Die Beugung an periodischen Strukturen	51
3.1 Die allgemeine Beugungstheorie	51
3.2 Periodische Strukturen und reziprokes Gitter	57
3.3 Die Streubedingung bei periodischen Strukturen	58
3.4 Die Braggsche Deutung der Beugungsbedingung	60
3.5 Die Brillouinschen Zonen	63
3.6 Der Strukturfaktor	64
3.7 Methoden der Strukturanalyse	67
Übungen	70
Tafel I: Beugungsexperimente mit verschiedenen Teilchen	72
Tafel II: Röntgeninterferometer und Röntgentopographie	77
4. Dynamik von Atomen in Kristallen	81
4.1 Das Potential	82
4.2 Die Bewegungsgleichungen	83
4.3 Die lineare zweiatomige Kette	85
4.4 Streuung an zeitlich veränderlichen Strukturen - Phononenspektroskopie	89
4.5 Elastisches Verhalten von Kristallen	92
Übungen	103
Tafel III: Raman-Spektroskopie	105

5.	Thermische Eigenschaften.	111
5.1	Die Zustandsdichte.	112
5.2	Thermische Energie eines harmonischen Oszillators . . .	115
5.3	Spezifische Wärme.	116
5.4	Anharmonische Effekte.	119
5.5	Thermische Ausdehnung.	120
5.6	Wärmeleitung durch Phononen.	123
	Übungen.	129
	Tafel IV: Experimente bei tiefen Temperaturen.	130
6.	„Freie“ Elektronen im Festkörper.	135
6.1	Das freie Elektronengas im Potentialkasten.	136
6.2	Das Fermi-Gas bei $T=0$ K.	140
6.3	Fermi-Statistik.	142
6.4	Spezifische Wärme der Metallelektronen.	145
6.5	Elektrostatische Abschirmung in einem Fermi-Gas - Mott-Übergang	149
6.6	Glühemission aus Metallen.	152
	Übungen.	156
7.	Elektronische Bänder in Festkörpern.	159
7.1	Allgemeine Symmetrieeigenschaften.	160
7.2	Näherung des quasifreien Elektrons.	163
7.3	Näherung vom „stark gebundenen“ Elektron her. . . .	168
7.4	Beispiele von Bandstrukturen.	173
7.5	Zustandsdichten.	177
7.6	Zustandsdichte nichtkristalliner Festkörper.	179
	Übungen.	183
	Tafel V: Photoemissionsspektroskopie.	185
8.	Magnetismus.	189
8.1	Dia- und Paramagnetismus.	190
8.2	Austauschwechselwirkung	195
8.3	Austauschwechselwirkung zwischen freien Elektronen .	198
8.4	Das Bandmodell für den Ferromagnetismus.	200
8.5	Das Temperaturverhalten eines Ferromagneten im Bandmodell.	204
8.6	Ferromagnetische Kopplung bei lokalisierten Elektronen	208
8.7	Antiferromagnetismus.	210
8.8	Spinwellen.	214
8.9	Kristallanisotropie.	218
	Übungen.	225
	Tafel VI: Magnetostatische Spinwellen.	226
	Tafel VII: Magnetismus in Schichtsystemen und GMR-Effekt	230
9.	Bewegung von Ladungsträgern und Transportphänomene.	235
9.1	Bewegung von Ladungsträgern in Bändern - die effektive Masse.	235

9.2	Ströme in Bändern und Defektelektronen	239
9.3	Streuung von Elektronen in Bändern	241
9.4	Boltzmann-Gleichung und Relaxationszeit	245
9.5	Die elektrische Leitfähigkeit von Metallen	250
9.6	Thermoelektrische Effekte	256
9.7	Das Wiedemann-Franz-Gesetz	260
9.8	Elektrische Leitfähigkeit durch lokalisierte Elektronen	261
9.9	Quantentransport in Nanostrukturen	264
	Übungen	280
	Tafel VIII: Quantenoszillationen und die Topologie von Fermi-Flächen	282
10.	Supraleitung	287
10.1	Einige Grundphänomene der Supraleitung	287
10.2	Phänomenologische Beschreibung durch London-Gleichungen	292
10.3	Instabilität des „Fermi-Sees“ und Cooper-Paare	295
10.4	Der BCS-Grundzustand	300
10.5	Das Anregungsspektrum des Supraleiters	309
10.6	Konsequenzen der BCS-Theorie und Vergleich mit experimentellen Befunden	314
10.7	Suprastrom und kritischer Strom	318
10.8	Kohärenz des BCS-Grundzustandes und Meissner-Ochsenfeld-Effekt	322
10.9	Quantisierung des magnetischen Flusses	327
10.10	Supraleiter 2. Art	331
10.11	Neuartige „Hochtemperatur“-Supraleiter	338
	Übungen	347
	Tafel IX: Einelektronen-Tunneln an Supraleitern	349
	Tafel X: Cooper-Paar-Tunneln - Josephson-Effekte	356
11.	Dielektrische Eigenschaften der Materie	361
11.1	Die dielektrische Funktion	361
11.2	Absorption elektromagnetischer Strahlung	364
11.3	Die dielektrische Funktion für harmonische Oszillatoren	367
11.4	Longitudinale und transversale Eigenschwingungen	370
11.5	Oberflächenwellen eines Dielektrikums	372
11.6	Das Reflexionsvermögen des dielektrischen Halbraums	374
11.7	Das lokale Feld	375
11.8	Polarisationskatastrophe und Ferroelektrika	378
11.9	Das freie Elektronengas	379
11.10	Interband-Übergänge	382
11.11	Exzitonen	389
11.12	Dielektrische Energieverluste von Elektronen	390
	Übungen	394
	Tafel XI: Spektroskopie mit Photonen und Elektronen	397
	Tafel XII: Infrarot-Spektroskopie	399
	Tafel XIII: Die Methode der frustrierten Totalreflexion	401

12. Halbleiter	403
12.1 Daten einiger wichtiger Halbleiter.	404
12.2 Ladungsträgerdichte im intrinsischen Halbleiter.	408
12.3 Dotierung von Halbleitern.	412
12.4 Ladungsträgerdichte in dotierten Halbleitern.	416
12.5 Leitfähigkeit von Halbleitern.	421
12.6 Der p-n-Übergang und der Metall/Halbleiter-Schottky-Kontakt.	427
12.7 Halbleiterheterostrukturen und Übergitter.	443
12.8 Wichtige Halbleiterbauelemente.	456
Übungen	471
Tafel XIV: Hall-Effekt.	473
Tafel XV: Zyklotron-Resonanz bei Halbleitern.	475
Tafel XVI: Shubnikov-de Haas-Oszillationen und Quanten-Hall-Effekt	477
Tafel XVII: Halbleiterepitaxie.	483
Tafel XVIII: Präparation von Nanostrukturen.	488
Literaturverzeichnis	493
Sachverzeichnis	505
Periodensystem der Elemente (Vordere Einbandrückseite)	
Konstanten und Äquivalentwerte (Hintere Einbandrückseite)	