

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	XI
1 Vorbemerkungen	1
2 Bindung im Festkörper	5
2.1 Bindungstypen	6
2.1.1 Bindungsenergie	8
2.1.2 Abstoßung	9
2.2 Van-der-Waals-Bindung	10
2.2.1 Van-der-Waals-Kräfte	10
2.2.2 Lennard-Jones-Potential	11
2.2.3 Bindungsenergie von Edelgaskristallen	12
2.3 Ionenbindung	14
2.3.1 Abschätzung und Messung der Bindungsenergie	14
2.3.2 Bindungsenergie von Ionenkristallen	16
2.4 Kovalente Bindung	18
2.5 Metallische Bindung	25
2.6 Wasserstoffbrückenbindung	29
2.7 Aufgaben	30
3 Struktur der Festkörper	33
3.1 Herstellung von Kristallen und amorphen Festkörpern	34
3.1.1 Einkristallherstellung	34
3.1.2 Legierungen	36
3.1.3 Glasherstellung	43
3.2 Ordnung und Unordnung	45
3.3 Struktur der Kristalle	48
3.3.1 Translationsgitter und Kristallsysteme	48
3.3.2 Cluster und Quasikristalle	54
3.3.3 Notation und Einfluss der Basis	58
3.3.4 Einfache Kristallgitter	61
3.3.5 Wigner-Seitz-Zelle	66
3.3.6 Festkörperoberflächen	67

3.4	Struktur amorpher Festkörper	69
3.4.1	Paarverteilungsfunktion	70
3.5	Aufgaben	73
4	Strukturbestimmung	77
4.1	Allgemeine Bemerkungen zur Strukturbestimmung	78
4.2	Elementare Streutheorie	81
4.2.1	Streuamplitude	81
4.3	Fourier-Entwicklung von Punktgittern	83
4.3.1	Reziprokes Gitter	84
4.3.2	Brillouin-Zone	86
4.3.3	Millersche Indizes	89
4.4	Streuung an Kristallen	92
4.4.1	Ewald-Kugel und Bragg-Bedingung	94
4.4.2	Strukturfaktor	96
4.4.3	Atom-Strukturfaktor	100
4.4.4	Streuung an Oberflächen oder dünnen Schichten	103
4.4.5	Phasenproblem bei Streuexperimenten	104
4.4.6	Debye-Waller-Faktor	106
4.5	Streuung an amorphen Substanzen	107
4.6	Experimentelle Methoden	113
4.6.1	Messverfahren	115
4.6.2	Messungen an Oberflächen und dünnen Filmen	119
4.7	Aufgaben	122
5	Strukturelle Defekte	123
5.1	Punktdefekte	124
5.1.1	Leerstellen	125
5.1.2	Farbzentren	129
5.1.3	Zwischengitteratome	132
5.1.4	Fremdatome	133
5.1.5	Atomarer Transport	134
5.2	Ausgedehnte Defekte	140
5.2.1	Mechanische Eigenschaften	140
5.2.2	Versetzungen	143
5.2.3	Korngrenzen	151
5.3	Defekte in amorphen Materialien	152
5.4	Ordnungs-Unordnungs-Übergang	156
5.5	Aufgaben	159

6	Gitterdynamik	161
6.1	Elastische Eigenschaften	162
6.1.1	Mechanische Spannung und Verformung	162
6.1.2	Elastische Konstanten	165
6.1.3	Schallwellen	166
6.2	Gitterschwingungen	172
6.2.1	Gitter mit einatomiger Basis	173
6.2.2	Gitter mit mehratomiger Basis	178
6.2.3	Bewegungsgleichung der Gitteratome	183
6.3	Experimentelle Bestimmung von Dispersionskurven	186
6.3.1	Streuung am dynamischen Gitter, Quantisierung der Gitterschwingungen	186
6.3.2	Kohärente inelastische Neutronenstreuung	190
6.3.3	Debye-Waller-Faktor	193
6.3.4	Experimentell ermittelte Dispersionskurven	193
6.3.5	Lichtstreuung	197
6.4	Spezifische Wärmekapazität	202
6.4.1	Zustandsdichte der Phononen	203
6.4.2	Spezifische Wärme in der Debye-Näherung	209
6.4.3	Spezifische Wärme niederdimensionaler Systeme	214
6.4.4	Nullpunktsenergie, Zahl der angeregten Phononen	215
6.5	Schwingungen in amorphen Festkörpern	217
6.5.1	Wärmekapazität von Gläsern bei sehr tiefer Temperatur	219
6.6	Aufgaben	224
7	Anharmonische Gittereigenschaften	227
7.1	Zustandsgleichung und thermische Ausdehnung	228
7.2	Phonon-Phonon-Wechselwirkung	234
7.2.1	Drei-Phononen-Prozess	234
7.2.2	Ultraschalldämpfung in Kristallen	235
7.2.3	Spontaner Phononenzerfall	240
7.2.4	Ultraschalldämpfung in amorphen Festkörpern	241
7.3	Wärmetransport in dielektrischen Kristallen	244
7.3.1	Ballistische Ausbreitung von Phononen	245
7.3.2	Wärmeleitung	246
7.3.3	Phonon-Phonon-Stöße	248
7.3.4	Streuung an Defekten	251
7.3.5	Wärmetransport in eindimensionalen Proben	253
7.4	Wärmeleitfähigkeit amorpher Festkörper	256
7.5	Aufgaben	259

8 Elektronen im Festkörper	261
8.1 Freies Elektronengas	262
8.1.1 Zustandsdichte	264
8.1.2 Fermi-Energie, Fermi-Kugel	269
8.2 Spezifische Wärme	273
8.3 Kollektive Phänomene im Elektronengas	277
8.3.1 Abgeschirmtes Coulomb-Potential	277
8.3.2 Metall-Isolator-Übergang	279
8.4 Elektronen in einem schwachen periodischen Potential	281
8.4.1 Bloch-Funktion	282
8.4.2 Näherung für quasi-freie Elektronen	286
8.4.3 „Stark gebundene“ Elektronen	293
8.5 Energiebänder	300
8.5.1 Metalle und Isolatoren	300
8.5.2 Brillouin-Zonen und Fermi-Flächen	302
8.5.3 Zustandsdichte	306
8.6 Aufgaben	309
9 Elektronische Transporteigenschaften	311
9.1 Bewegungsgleichung und effektive Masse	312
9.1.1 Elektronen als Wellenpakete	312
9.1.2 Ladungstransport in Bändern	317
9.1.3 Elektronen und Löcher	320
9.2 Ladungstransport	322
9.2.1 Drude-Modell	322
9.2.2 Sommerfeldsche Theorie	323
9.2.3 Boltzmann-Gleichung	324
9.2.4 Elektrischer Ladungstransport	326
9.2.5 Elektronstreuung	329
9.2.6 Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit	333
9.2.7 Eindimensionale Leiter	337
9.2.8 Quantenpunkte	340
9.2.9 Thermische Leitfähigkeit	344
9.2.10 Wiedemann-Franz-Gesetz	346
9.2.11 Fermi-Funktion im stationären Gleichgewicht	346
9.3 Elektronen im Magnetfeld	349
9.3.1 Zyklotronresonanz	349
9.3.2 Landau-Niveaus	354
9.3.3 Zustandsdichte im Magnetfeld	358

9.3.4	De-Haas-van-Alphén-Effekt	361
9.3.5	Hall-Effekt	364
9.3.6	Quanten-Hall-Effekt	367
9.4	Aufgaben	374
10	Halbleiter	377
10.1	Intrinsische kristalline Halbleiter	378
10.1.1	Bandlücke und optische Absorption	378
10.1.2	Effektive Masse von Elektronen und Löchern	382
10.1.3	Ladungsträgerdichte	385
10.2	Dotierte kristalline Halbleiter	390
10.2.1	Dotierung	390
10.2.2	Ladungsträgerdichte und Fermi-Niveau	394
10.2.3	Beweglichkeit und elektrische Leitfähigkeit	401
10.3	Amorphe Halbleiter	404
10.3.1	Elektrische Leitfähigkeit	406
10.3.2	Defektzustände	409
10.4	Inhomogene Halbleiter	414
10.4.1	p-n-Übergang	414
10.4.2	Metall/Halbleiter-Kontakt	423
10.4.3	Halbleiter-Heterostrukturen und Übergitter	425
10.5	Bauelemente	429
10.5.1	Bauelemente basierend auf dem p-n-Übergang	430
10.5.2	Transistoren	433
10.5.3	Halbleiterlaser	437
10.6	Aufgaben	439
11	Supraleitung	441
11.1	Phänomenologische Beschreibung	442
11.1.1	Meißner-Effekt und London-Gleichungen	444
11.1.2	Kritisches Magnetfeld und thermodynamische Eigenschaften	450
11.2	Mikroskopische Beschreibung	454
11.2.1	Cooper-Paare	454
11.2.2	BCS-Grundzustand	460
11.2.3	BCS-Zustand bei endlicher Temperatur	465
11.2.4	Nachweis der Energielücke	466
11.2.5	Kritischer Strom und kritisches Magnetfeld	471
11.3	Makroskopische Wellenfunktion	474
11.3.1	Flussquantisierung	475
11.3.2	Josephson-Effekt	477

11.4 Ginzburg-Landau-Theorie und Supraleiter 2. Art	483
11.4.1 Ginzburg-Landau-Theorie	483
11.4.2 Supraleiter 2. Art und Grenzflächenenergie	486
11.4.3 Hochtemperatur-Supraleiter	491
11.5 Aufgaben	497
12 Magnetismus	499
12.1 Dia- und Paramagnetismus	501
12.1.1 Diamagnetismus	501
12.1.2 Paramagnetismus	502
12.2 Ferromagnetismus	511
12.2.1 Molekularfeldnäherung	512
12.2.2 Austauschwechselwirkung zwischen lokalisierten Elektronen	515
12.2.3 Austauschwechselwirkung im freien Elektronengas	519
12.2.4 Band-Ferromagnetismus	520
12.2.5 Spinwellen	524
12.2.6 Thermodynamik der Magnonen	526
12.2.7 Ferromagnetische Domänen	528
12.3 Ferri- und Antiferromagnetismus	529
12.3.1 Ferrimagnetismus	529
12.3.2 Antiferromagnetismus	530
12.4 Spingläser	533
12.5 Aufgaben	537
13 Dielektrische und optische Eigenschaften	539
13.1 Dielektrische Funktion, optische Messungen	540
13.2 Lokales Feld, Clausius-Mossotti-Beziehung	543
13.3 Elektrische Polarisation von Isolatoren	547
13.3.1 Elektronische Polarisierbarkeit	548
13.3.2 Ionenpolarisation	551
13.3.3 Optische Phononen in Ionenkristallen	552
13.3.4 Erzwungene Schwingungen in Ionenkristallen	555
13.3.5 Phonon-Polaritonen	557
13.3.6 Orientierungspolarisation	561
13.3.7 Ferroelektrizität	570
13.3.8 Exzitonen	575
13.4 Optische Eigenschaften freier Ladungsträger	578
13.4.1 Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in Metallen	579
13.4.2 Longitudinale Schwingungen des Elektronengases: Plasmonen	583
13.5 Aufgaben	585
Index	587