

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	26
2.6 Wasserstoffbrückenbindung	30
2.7 Aufgaben	31
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
3.3.7 Kohlenstoff-Nanoröhren	69

3.4 Struktur amorpher Festkörper	70
3.4.1 Paarverteilungsfunktion	71
3.5 Aufgaben	74
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	125
5.1 Punktdefekte	126
5.1.1 Leerstellen	127
5.1.2 Farbzentren	131
5.1.3 Zwischengitteratome	134
5.1.4 Fremdatome	135
5.1.5 Atomarer Transport	136
5.2 Ausgedehnte Defekte	142
5.2.1 Mechanische Festigkeit	142
5.2.2 Versetzungen	145
5.2.3 Korngrenzen	153
5.3 Defekte in amorphen Materialien	155
5.4 Ordnungs-Unordnungs-Übergang	158
5.5 Aufgaben	161

6 Gitterdynamik	163
6.1 Elastische Eigenschaften	164
6.1.1 Mechanische Spannung und Verformung	164
6.1.2 Elastische Konstanten	167
6.1.3 Schallwellen	168
6.2 Gitterschwingungen	174
6.2.1 Gitter mit einatomiger Basis	175
6.2.2 Gitter mit mehratomiger Basis	180
6.2.3 Bewegungsgleichung der Gitteratome	185
6.3 Experimentelle Bestimmung von Dispersionskurven	188
6.3.1 Dynamische Streuung, Quantisierung der Gitterschwingungen	188
6.3.2 Kohärente inelastische Neutronenstreuung	192
6.3.3 Debye-Waller-Faktor	195
6.3.4 Experimentell ermittelte Dispersionskurven	195
6.3.5 Lichtstreuung	199
6.4 Spezifische Wärmekapazität	204
6.4.1 Zustandsdichte der Phononen	205
6.4.2 Spezifische Wärme in der Debye-Näherung	211
6.4.3 Spezifische Wärme niederdimensionaler Systeme	216
6.4.4 Nullpunktsenergie, Zahl der angeregten Phononen	217
6.5 Schwingungen in amorphen Festkörpern	219
6.5.1 Wärmekapazität von Gläsern bei sehr tiefen Temperaturen	221
6.6 Aufgaben	226
7 Anharmonische Gittereigenschaften	229
7.1 Zustandsgleichung und thermische Ausdehnung	230
7.2 Phonon-Phonon-Wechselwirkung	236
7.2.1 Drei-Phononen-Prozess	236
7.2.2 Ultraschalldämpfung in Kristallen	237
7.2.3 Spontaner Phononenzerfall	242
7.2.4 Ultraschalldämpfung in amorphen Festkörpern	243
7.3 Wärmetransport in dielektrischen Kristallen	246
7.3.1 Ballistische Ausbreitung von Phononen	247
7.3.2 Wärmeleitung	248
7.3.3 Phonon-Phonon-Stöße	250
7.3.4 Streuung an Defekten	253
7.3.5 Wärmetransport in eindimensionalen Proben	255
7.4 Wärmeleitfähigkeit amorpher Festkörper	258
7.5 Aufgaben	261

8 Elektronen im Festkörper	263
8.1 Freies Elektronengas	264
8.1.1 Zustandsdichte	266
8.1.2 Fermi-Energie, Fermi-Kugel	271
8.2 Spezifische Wärme	275
8.3 Kollektive Phänomene im Elektronengas	279
8.3.1 Abgeschirmtes Coulomb-Potential	279
8.3.2 Metall-Isolator-Übergang	281
8.4 Elektronen im periodischen Potential	283
8.4.1 Bloch-Funktion	284
8.4.2 Näherung für quasi-freie Elektronen	288
8.4.3 „Stark gebundene“ Elektronen	295
8.5 Energiebänder	302
8.5.1 Metalle und Isolatoren	302
8.5.2 Brillouin-Zonen und Fermi-Flächen	304
8.5.3 Zustandsdichte	308
8.5.4 „Zweidimensionale“ hexagonale Festkörper: Graphen und Nanoröhren	311
8.6 Aufgaben	316
9 Elektronische Transporteigenschaften	319
9.1 Bewegungsgleichung und effektive Masse	320
9.1.1 Elektronen als Wellenpakete	320
9.1.2 Ladungstransport in Bändern	325
9.1.3 Elektronen und Löcher	328
9.2 Ladungstransport	330
9.2.1 Drude-Modell	330
9.2.2 Sommerfeldsche Theorie	331
9.2.3 Boltzmann-Gleichung	332
9.2.4 Elektrischer Ladungstransport	334
9.2.5 Elektronstreuung	337
9.2.6 Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit	341
9.2.7 Eindimensionale Leiter	345
9.2.8 Quantenpunkte	348
9.2.9 Luttinger-Flüssigkeit	352
9.2.10 Thermische Leitfähigkeit	355
9.2.11 Wiedemann-Franz-Gesetz	357
9.2.12 Fermi-Funktion im stationären Gleichgewicht	358
9.3 Elektronen im Magnetfeld	360
9.3.1 Zyklotronresonanz	360
9.3.2 Landau-Niveaus	365
9.3.3 Zustandsdichte im Magnetfeld	370

9.3.4 De-Haas-van-Alphén-Effekt	373
9.3.5 Hall-Effekt	375
9.3.6 Quanten-Hall-Effekt	378
9.3.7 Quanten-Hall-Effekt in Graphen	385
9.4 Aufgaben	386
10 Halbleiter	389
10.1 Intrinsische kristalline Halbleiter	390
10.1.1 Bandlücke und optische Absorption	390
10.1.2 Effektive Masse von Elektronen und Löchern	394
10.1.3 Ladungsträgerdichte	397
10.2 Dotierte kristalline Halbleiter	402
10.2.1 Dotierung	402
10.2.2 Ladungsträgerdichte und Fermi-Niveau	406
10.2.3 Beweglichkeit und elektrische Leitfähigkeit	413
10.3 Amorphe Halbleiter	416
10.3.1 Elektrische Leitfähigkeit	418
10.3.2 Defektzustände	421
10.4 Inhomogene Halbleiter	426
10.4.1 p-n-Übergang	426
10.4.2 Metall/Halbleiter-Kontakt	435
10.4.3 Halbleiter-Heterostrukturen und Übergitter	437
10.5 Bauelemente	442
10.5.1 Bauelemente basierend auf dem p-n-Übergang	442
10.5.2 Transistoren	445
10.5.3 Halbleiterlaser	449
10.6 Aufgaben	451
11 Supraleitung	453
11.1 Phänomenologische Beschreibung	454
11.1.1 Meißner-Effekt und London-Gleichungen	456
11.1.2 Kritisches Magnetfeld und thermodynamische Eigenschaften	462
11.2 Mikroskopische Beschreibung	466
11.2.1 Cooper-Paare	466
11.2.2 BCS-Grundzustand	472
11.2.3 BCS-Zustand bei endlicher Temperatur	477
11.2.4 Nachweis der Energielücke	478
11.2.5 Kritischer Strom und kritisches Magnetfeld	483
11.3 Makroskopische Wellenfunktion	486
11.3.1 Flussquantisierung	487
11.3.2 Josephson-Effekt	489

11.4 Ginzburg-Landau-Theorie und Supraleiter 2. Art	495
11.4.1 Ginzburg-Landau-Theorie	495
11.4.2 Supraleiter 2. Art und Grenzflächenenergie	498
11.4.3 Hochtemperatur-Supraleiter	503
11.5 Aufgaben	509
12 Magnetismus	511
12.1 Dia- und Paramagnetismus	513
12.1.1 Diamagnetismus	513
12.1.2 Paramagnetismus	514
12.2 Ferromagnetismus	523
12.2.1 Molekularfeldnäherung	524
12.2.2 Austauschwechselwirkung zwischen lokalisierten Elektronen	527
12.2.3 Austauschwechselwirkung im freien Elektronengas	531
12.2.4 Band-Ferromagnetismus	532
12.2.5 Spinwellen	536
12.2.6 Thermodynamik der Magnonen	538
12.2.7 Ferromagnetische Domänen	540
12.3 Ferri- und Antiferromagnetismus	541
12.3.1 Ferrimagnetismus	541
12.3.2 Antiferromagnetismus	542
12.3.3 Riesen-Magnetowiderstand	545
12.4 Spingläser	549
12.5 Aufgaben	553
13 Dielektrische und optische Eigenschaften	555
13.1 Dielektrische Funktion, optische Messungen	556
13.2 Lokales Feld, Clausius-Mossotti-Beziehung	559
13.3 Elektrische Polarisation von Isolatoren	563
13.3.1 Elektronische Polarisierbarkeit	564
13.3.2 Ionenpolarisation	567
13.3.3 Optische Phononen in Ionenkristallen	568
13.3.4 Erzwungene Schwingungen in Ionenkristallen	571
13.3.5 Phonon-Polaritonen	573
13.3.6 Orientierungspolarisation	577
13.3.7 Ferroelektrizität	586
13.3.8 Exzitonen	591
13.4 Optische Eigenschaften freier Ladungsträger	594
13.4.1 Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in Metallen	595
13.4.2 Longitudinale Schwingungen des Elektronengases: Plasmonen	599
13.5 Aufgaben	603
Index	605