

Inhaltsverzeichnis

Vorworte	XI
1 Vorbemerkungen	1
2 Bindung im Festkörper	5
2.1 Bindungstypen	6
2.1.1 Bindungsenergie	8
2.2 Van-der-Waals-Bindung	10
2.2.1 Lennard-Jones-Potenzial	11
2.2.2 Bindungsenergie	12
2.3 Ionenbindung	14
2.3.1 Bestimmung der Bindungsenergie	14
2.3.2 Madelung-Energie	16
2.4 Kovalente Bindung	20
2.4.1 H_2^+ -Molekülion	20
2.4.2 Wasserstoffmolekül	24
2.4.3 Kovalente Bindungstypen	26
2.5 Metallische Bindung	29
2.6 Wasserstoffbrückenbindung	33
2.7 Aufgaben	34
3 Struktur der Festkörper	37
3.1 Herstellung kristalliner und amorpher Festkörper	38
3.1.1 Zucht von Einkristallen	38
3.1.2 Herstellung von Legierungen	40
3.1.3 Glasherstellung	47
3.2 Ordnung und Unordnung	49
3.3 Struktur der Kristalle	53
3.3.1 Translationsgitter und Kristallsysteme	53
3.3.2 Cluster und Quasikristalle	59
3.3.3 Notation und Einfluss der Basis	63
3.3.4 Einfache Kristallgitter	67
3.3.5 Wigner-Seitz-Zelle	73

3.3.6	Nanoröhren	74
3.3.7	Festkörperoberflächen	76
3.4	Struktur amorpher Festkörper	78
3.4.1	Paarverteilungsfunktion	78
3.5	Aufgaben	82
4	Strukturbestimmung	85
4.1	Allgemeine Anmerkungen	86
4.2	Beugungsexperimente	89
4.2.1	Streuamplitude	89
4.3	Fourier-Entwicklung von Punktgittern	91
4.3.1	Reziprokes Gitter	92
4.3.2	Brillouin-Zone	95
4.3.3	Millersche Indizes	97
4.4	Experimentelle Bestimmung der Kristallstruktur	101
4.4.1	Ewald-Kugel und Bragg-Bedingung	103
4.4.2	Strukturfaktor	105
4.4.3	Atom-Strukturfaktor	109
4.4.4	Oberflächen und dünne Schichten	112
4.4.5	Phasenproblem und Reflexbreite	113
4.5	Streuexperimente an amorphen Festkörpern	115
4.6	Experimentelle Methoden	120
4.6.1	Messverfahren	123
4.6.2	Messungen an Oberflächen und dünnen Filmen	126
4.7	Aufgaben	130
5	Strukturelle Defekte	133
5.1	Punktdefekte	134
5.1.1	Leerstellen	135
5.1.2	Farbzentren	139
5.1.3	Zwischengitteratome	142
5.1.4	Fremdatome	143
5.1.5	Atomarer Transport	144
5.2	Ausgedehnte Defekte	150
5.2.1	Mechanische Festigkeit	150
5.2.2	Versetzungen	154
5.2.3	Korngrenzen	161
5.3	Defekte in amorphen Festkörpern	163
5.4	Ordnungs-Unordnungs-Übergang	166
5.5	Aufgaben	169

6	Gitterdynamik	171
6.1	Elastische Eigenschaften	172
6.1.1	Spannung und Verformung	173
6.1.2	Elastische Konstanten	175
6.1.3	Schallausbreitung	178
6.2	Gitterschwingungen	184
6.2.1	Gitter mit einatomiger Basis	185
6.2.2	Gitter mit mehratomiger Basis	190
6.2.3	Bewegungsgleichung	195
6.3	Experimentelle Bestimmung von Dispersionskurven	198
6.3.1	Dynamische Streuung, Phononen	198
6.3.2	Kohärente inelastische Neutronenstreuung	203
6.3.3	Debye-Waller-Faktor	205
6.3.4	Experimentell ermittelte Dispersionskurven	208
6.3.5	Lichtstreuung	211
6.4	Spezifische Wärmekapazität	216
6.4.1	Zustandsdichte der Phononen	217
6.4.2	Spezifische Wärme in der Debye-Näherung	224
6.4.3	Spezifische Wärme niederdimensionaler Systeme	229
6.4.4	Nullpunktsenergie, Phononenzahl	231
6.5	Schwingungen in amorphen Festkörpern	232
6.5.1	Wärmekapazität von Gläsern	234
6.6	Aufgaben	239
7	Anharmonische Gittereigenschaften	243
7.1	Zustandsgleichung und thermische Ausdehnung	244
7.2	Phononenstöße	250
7.2.1	Drei-Phononen-Prozess	250
7.2.2	Ultraschallabsorption in Kristallen	251
7.2.3	Spontaner Phononenzerfall	256
7.2.4	Ultraschallabsorption in amorphen Festkörpern	257
7.3	Wärmetransport in dielektrischen Kristallen	261
7.3.1	Ballistische Ausbreitung von Phononen	262
7.3.2	Wärmeleitfähigkeit	263
7.3.3	Phononenstöße	265
7.3.4	Einfluss von Defekten	268
7.3.5	Wärmetransport in eindimensionalen Proben	270
7.4	Wärmeleitfähigkeit amorpher Festkörper	273
7.5	Aufgaben	276

8 Elektronen im Festkörper	277
8.1 Freies Elektronengas	278
8.1.1 Zustandsdichte	280
8.1.2 Fermi-Energie	286
8.2 Spezifische Wärme	289
8.3 Kollektive Phänomene im Elektronengas	293
8.3.1 Abgeschirmtes Coulomb-Potenzial	293
8.3.2 Metall-Isolator-Übergang	296
8.4 Elektronen im periodischen Potenzial	298
8.4.1 Bloch-Funktion	298
8.4.2 Quasi-freie Elektronen	303
8.4.3 Stark gebundene Elektronen	311
8.5 Energiebänder	318
8.5.1 Metalle und Isolatoren	318
8.5.2 Brillouin-Zonen und Fermi-Flächen	320
8.5.3 Zustandsdichte	324
8.5.4 Graphen und Nanoröhren	327
8.6 Aufgaben	332
9 Elektronische Transporteigenschaften	335
9.1 Bewegungsgleichung und effektive Masse	336
9.1.1 Elektronen als Wellenpakete	336
9.1.2 Elektronenbewegung in Bändern	342
9.1.3 Elektronen und Löcher	344
9.2 Transporteigenschaften	346
9.2.1 Sommerfeld-Theorie	347
9.2.2 Boltzmann-Gleichung	349
9.2.3 Elektrischer Ladungstransport	351
9.2.4 Streuung von Leitungselektronen	353
9.2.5 Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit	358
9.2.6 Eindimensionale Leiter	362
9.2.7 Quantenpunkte	366
9.2.8 Luttinger-Flüssigkeit	370
9.2.9 Wärmetransport in Metallen	373
9.2.10 Fermi-Funktion im stationären Gleichgewicht	376
9.3 Elektronen im Magnetfeld	379
9.3.1 Zyklotronresonanz	379
9.3.2 Landau-Niveaus	384
9.3.3 Zustandsdichte im Magnetfeld	389
9.3.4 De-Haas-van-Alphén-Effekt	392
9.3.5 Hall-Effekt	395

9.3.6 Quanten-Hall-Effekt	399
9.3.7 Quanten-Hall-Effekt in Graphen	407
9.4 Aufgaben	408
10 Halbleiter	411
10.1 Intrinsische kristalline Halbleiter	413
10.1.1 Bandstruktur, Bandlücke und optische Absorption	413
10.1.2 Effektive Masse von Elektronen und Löchern	417
10.1.3 Ladungsträgerdichte	420
10.2 Dotierte kristalline Halbleiter	425
10.2.1 Dotierung	425
10.2.2 Ladungsträgerdichte und Fermi-Niveau	429
10.2.3 Beweglichkeit und elektrische Leitfähigkeit	436
10.3 Amorphe Halbleiter	439
10.3.1 Elektrische Leitfähigkeit	441
10.3.2 Defektzustände	445
10.4 Inhomogene Halbleiter	449
10.4.1 p-n-Übergang	449
10.4.2 Metall/Halbleiter-Kontakt	458
10.4.3 Halbleiter-Heterostrukturen und Übergitter	460
10.5 Bauelemente	465
10.5.1 Technische Anwendung des p-n-Übergangs	465
10.5.2 Transistoren	470
10.5.3 Halbleiterlaser	473
10.6 Aufgaben	475
11 Supraleitung	477
11.1 Phänomenologische Beschreibung	478
11.1.1 Meißner-Ochsenfeld-Effekt, London-Gleichungen	480
11.1.2 Thermodynamische Eigenschaften	489
11.2 Mikroskopische Beschreibung	492
11.2.1 Cooper-Paare	493
11.2.2 BCS-Theorie	499
11.2.3 Nachweis der Energielücke	506
11.2.4 Stromdurchgang durch Grenzflächen	511
11.2.5 Kritischer Strom und kritisches Magnetfeld	512
11.3 Makroskopische Wellenfunktion	515
11.3.1 Flussquantisierung	515
11.3.2 Josephson-Effekt	518
11.4 Ginzburg-Landau-Theorie und Supraleiter 2. Art	524
11.4.1 Ginzburg-Landau-Theorie	524
11.4.2 Supraleiter 2. Art und Grenzflächenenergie	527

11.5 Unkonventionelle Supraleiter	532
11.5.1 Hochtemperatur-Supraleiter	532
11.5.2 Schwere-Fermionen-Systeme	539
11.5.3 Technische Anwendung der Supraleitung	541
11.6 Aufgaben	542
12 Magnetismus	545
12.1 Dia- und Paramagnetismus	547
12.1.1 Diamagnetismus	547
12.1.2 Paramagnetismus	548
12.2 Ferromagnetismus	557
12.2.1 Molekularfeldnäherung	558
12.2.2 Austauschwechselwirkung	562
12.2.3 Band-Ferromagnetismus	567
12.2.4 Spinwellen	571
12.2.5 Magnonen	574
12.2.6 Ferromagnetische Domänen	576
12.3 Ferri- und Antiferromagnetismus	577
12.3.1 Ferrimagnetismus	577
12.3.2 Antiferromagnetismus	578
12.3.3 Riesen-Magnetowiderstand	582
12.4 Spingläser	585
12.5 Aufgaben	589
13 Dielektrische und optische Eigenschaften	591
13.1 Dielektrische Suszeptibilität, optische Messgrößen	592
13.2 Lokales elektrisches Feld	595
13.3 Elektrische Polarisierung	599
13.3.1 Elektronische Polarisierbarkeit	600
13.3.2 Ionenpolarisation	604
13.3.3 Optische Phononen in Ionenkristallen	605
13.3.4 Dielektrische Funktion von Ionenkristallen	607
13.3.5 Phonon-Polaritonen	610
13.3.6 Orientierungspolarisation	614
13.3.7 Ferroelektrizität	623
13.3.8 Exzitonen	628
13.4 Optische Eigenschaften freier Ladungsträger	631
13.4.1 Elektromagnetischer Wellen in Metallen	632
13.4.2 Plasmonen	636
13.5 Aufgaben	640
Index	643