

# Inhaltsverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| <b>1. Die chemische Bindung in Festkörpern</b> .....                                | 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  |
| <b>2. Die Struktur von Festkörpern</b> .....  | 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  |
| <b>3. Die Beugung an periodischen Strukturen</b> .....                              | 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  |
| <b>Tafel I:</b> Beugungsexperimente mit verschiedenen Teilchen ...                  | 72  |
| <b>Tafel II:</b> Röntgeninterferometer und Röntgentopographie ...                   | 78  |
| <b>4. Dynamik von Atomen in Kristallen</b> .....                                    | 83  |
| 4.1 Das Potential .....   | 84  |
| 4.2 Die Bewegungsgleichungen .....  | 85  |
| 4.3 Die lineare zweiatomige Kette .....   | 87  |
| 4.4 Streuung an zeitlich veränderlichen Strukturen –<br>Phononenspektroskopie ..... | 91  |
| 4.5 Elastisches Verhalten von Kristallen .....                                      | 94  |
| Übungen .....   | 105 |
| <b>Tafel III:</b> Raman-Spektroskopie .....   | 107 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| <b>5.</b> | <b>Thermische Eigenschaften</b> .....                                    | 113 |
| 5.1       | Die Zustandsdichte .....   | 114 |
| 5.2       | Thermische Energie eines harmonischen Oszillators ...                    | 117 |
| 5.3       | Spezifische Wärme .....  | 118 |
| 5.4       | Anharmonische Effekte .....  | 121 |
| 5.5       | Thermische Ausdehnung .....  | 122 |
| 5.6       | Wärmeleitung durch Phononen .....  | 125 |
|           | Übungen .....  | 131 |
|           | <b>Tafel IV:</b> Experimente bei tiefen Temperaturen .....               | 132 |
| <b>6.</b> | <b>„Freie“ Elektronen im Festkörper</b> .....                            | 137 |
| 6.1       | Das freie Elektronengas im Potentialkasten .....                         | 138 |
| 6.2       | Das Fermi-Gas bei $T=0$ K .....  | 142 |
| 6.3       | Fermi-Statistik .....  | 144 |
| 6.4       | Spezifische Wärme der Metallelektronen .....                             | 147 |
| 6.5       | Elektrostatische Abschirmung<br>in einem Fermi-Gas – Mott-Übergang ..... | 151 |
| 6.6       | Glühemission aus Metallen .....  | 154 |
|           | Übungen .....  | 158 |
| <b>7.</b> | <b>Elektronische Bänder in Festkörpern</b> .....                         | 161 |
| 7.1       | Allgemeine Symmetrieeigenschaften .....                                  | 162 |
| 7.2       | Näherung des quasifreien Elektrons .....                                 | 165 |
| 7.3       | Näherung vom „stark gebundenen“ Elektron her .....                       | 170 |
| 7.4       | Beispiele von Bandstrukturen .....                                       | 175 |
| 7.5       | Zustandsdichten .....  | 179 |
| 7.6       | Zustandsdichte nichtkristalliner Festkörper .....                        | 181 |
|           | Übungen .....  | 185 |
|           | <b>Tafel V:</b> Photoemissionsspektroskopie .....                        | 187 |
| <b>8.</b> | <b>Magnetismus</b> .....   | 191 |
| 8.1       | Dia- und Paramagnetismus .....   | 192 |
| 8.2       | Austauschwechselwirkung .....  | 197 |
| 8.3       | Austauschwechselwirkung zwischen freien Elektronen .                     | 200 |
| 8.4       | Das Bandmodell für den Ferromagnetismus .....                            | 202 |
| 8.5       | Das Temperaturverhalten eines Ferromagneten<br>im Bandmodell .....       | 206 |
| 8.6       | Ferromagnetische Kopplung bei lokalisierten Elektronen                   | 209 |
| 8.7       | Antiferromagnetismus .....   | 212 |
| 8.8       | Spinwellen .....   | 216 |
|           | Übungen .....  | 221 |
|           | <b>Tafel VI:</b> Magnetostatische Spinwellen .....                       | 222 |
|           | <b>Tafel VII:</b> Oberflächenmagnetismus .....                           | 226 |
| <b>9.</b> | <b>Bewegung von Ladungsträgern<br/>und Transportphänomene</b> .....      | 229 |
| 9.1       | Bewegung von Ladungsträgern in Bändern –<br>die effektive Masse .....    | 229 |
| 9.2       | Ströme in Bändern und Defektelektronen .....                             | 233 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| 9.3        | Streuung von Elektronen in Bändern                             | 235 |
| 9.4        | Boltzmann-Gleichung und Relaxationszeit                        | 239 |
| 9.5        | Die elektrische Leitfähigkeit von Metallen                     | 244 |
| 9.6        | Thermoelektrische Effekte                                      | 250 |
| 9.7        | Das Wiedemann-Franz-Gesetz                                     | 254 |
| 9.8        | Elektrische Leitfähigkeit durch lokalisierte Elektronen        | 255 |
|            | Übungen  | 259 |
|            | <b>Tafel VIII: Quantenoszillationen und die Topologie</b>      |     |
|            | von Fermi-Flächen  | 261 |
| <b>10.</b> | <b>Supraleitung</b>  | 265 |
| 10.1       | Einige Grundphänomene der Supraleitung                         | 265 |
| 10.2       | Phänomenologische Beschreibung                                 |     |
|            | durch London-Gleichungen                                       | 270 |
| 10.3       | Instabilität des „Fermi-Sees“ und Cooper-Paare                 | 273 |
| 10.4       | Der BCS-Grundzustand   | 278 |
| 10.5       | Das Anregungsspektrum des Supraleiters                         | 287 |
| 10.6       | Konsequenzen der BCS-Theorie und Vergleich                     |     |
|            | mit experimentellen Befunden                                   | 292 |
| 10.7       | Suprastrom und kritischer Strom                                | 296 |
| 10.8       | Kohärenz des BCS-Grundzustandes                                |     |
|            | und Meissner-Ochsenfeld-Effekt                                 | 300 |
| 10.9       | Quantisierung des magnetischen Flusses                         | 305 |
| 10.10      | Supraleiter 2. Art   | 309 |
| 10.11      | Neuartige „Hochtemperatur“-Supraleiter                         | 316 |
|            | Übungen  | 325 |
|            | <b>Tafel IX: Einelektronen-Tunneln an Supraleitern</b>         | 327 |
|            | <b>Tafel X: Cooper-Paar-Tunneln – Josephson-Effekte</b>        | 334 |
| <b>11.</b> | <b>Dielektrische Eigenschaften der Materie</b>                 | 339 |
| 11.1       | Die dielektrische Funktion                                     | 339 |
| 11.2       | Absorption elektromagnetischer Strahlung                       | 342 |
| 11.3       | Die dielektrische Funktion für harmonische Oszillatoren        | 345 |
| 11.4       | Longitudinale und transversale Eigenschwingungen               | 348 |
| 11.5       | Oberflächenwellen eines Dielektrikums                          | 350 |
| 11.6       | Das Reflexionsvermögen des dielektrischen Halbraums            | 352 |
| 11.7       | Das lokale Feld  | 353 |
| 11.8       | Polarisationskatastrophe und Ferroelektrika                    | 356 |
| 11.9       | Das freie Elektronengas  | 357 |
| 11.10      | Interband-Übergänge  | 360 |
| 11.11      | Exzitonen  | 367 |
| 11.12      | Dielektrische Energieverluste von Elektronen                   | 368 |
|            | Übungen  | 372 |
|            | <b>Tafel XI: Spektroskopie mit Photonen und Elektronen</b>     | 375 |
|            | <b>Tafel XII: Infrarot-Spektroskopie</b>                       | 377 |
|            | <b>Tafel XIII: Die Methode der frustrierten Totalreflexion</b> | 379 |
| <b>12.</b> | <b>Halbleiter</b>  | 381 |
| 12.1       | Daten einiger wichtiger Halbleiter                             | 382 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 12.2 | Ladungsträgerdichte im intrinsischen Halbleiter . . . . .                              | 386 |
| 12.3 | Dotierung von Halbleitern . . . . .  | 390 |
| 12.4 | Ladungsträgerdichte in dotierten Halbleitern . . . . .                                 | 394 |
| 12.5 | Leitfähigkeit von Halbleitern . . . . .  | 399 |
| 12.6 | Der $p$ - $n$ -Übergang<br>und der Metall/Halbleiter-Schottky-Kontakt . . . . .        | 405 |
| 12.7 | Halbleiterheterostrukturen und Übergitter . . . . .                                    | 421 |
| 12.8 | Wichtige Halbleiterbauelemente . . . . .   | 434 |
|      | Übungen . . . . .  | 448 |
|      | <b>Tafel XIV:</b> Hall-Effekt . . . . .  | 450 |
|      | <b>Tafel XV:</b> Zyklotron-Resonanz bei Halbleitern . . . . .                          | 452 |
|      | <b>Tafel XVI:</b> Shubnikov-de Haas-Oszillationen<br>und Quanten-Hall-Effekt . . . . . | 454 |
|      | <b>Tafel XVII:</b> Halbleiterepitaxie . . . . .  | 460 |
|      | <b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .  | 465 |
|      | <b>Sachverzeichnis</b> . . . . .   | 477 |
|      | <b>Periodensystem der Elemente</b> (Vordere Einbandrückseite)                          |     |
|      | <b>Konstanten und Äquivalentwerte</b> (Hintere Einbandrückseite)                       |     |