

Hans Kuzmany

Festkörper- spektroskopie

Eine Einführung

Mit 222 Abbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo Hong Kong

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Grundlagen der Festkörperphysik	4
2.1 Kristalline Festkörper	4
2.2 Quantenmechanik freier Elektronen	7
2.3 Elektronen im periodischen Potential	10
2.4 Halbleiter	15
2.4.1 Elektronen und Löcher	15
2.4.2 Der <i>pn</i> -Übergang	16
2.5 Tight-Binding und LCAO-Wellenfunktionen	19
2.6 Der metallische Zustand	21
2.6.1 Freie-Elektronen-Metalle	21
2.6.2 Fermi-Oberflächen	23
2.7 Phononen	24
Übungsaufgaben	29
3. Elektromagnetische Strahlung	31
Übungsaufgabe	34
4. Strahlenquellen in sichtbaren und unmittelbar angrenzenden Spektralbereichen	35
4.1 Klassische Lichtquellen	35
4.2 Form und Breite von Spektrallinien	37
4.3 Laser als Strahlungsquellen	40
4.3.1 Erzeugung und Eigenschaften von Laserstrahlung	40
4.3.2 Gepulste Laser	47
4.3.3 Durchstimmbare Laser	52
Übungsaufgaben	55
5. Lichtdetektoren	56
5.1 Photographische Filme	56
5.2 Photomultiplier	57
5.3 Photoelektrische Detektoren	61
5.3.1 Grundlagen der photoelektrischen Detektoren	61
5.3.2 Photoleitungsdetektoren	62
5.3.3 Photodioden	65
Übungsaufgaben	66

6. Spektrale Zerlegung des Lichtes	67
6.1 Optische Filter	67
6.2 Monochromatoren und Spektrometer	69
6.2.1 Kenngrößen von Monochromatoren	70
6.2.2 Prismenmonochromator	71
6.2.3 Gittermonochromator	72
6.3 Interferometer	76
6.3.1 Vielstrahlinterferenz an einer planparallelen Platte	76
6.3.2 Das Fabry-Perot-Interferometer	78
Übungsaufgaben	81
7. Die dielektrische Funktion	82
7.1 Optische Konstanten und die Kramers-Kronig-Relation	82
7.2 Die Kramers-Heisenberg dielektrische Funktion	86
7.3 Die dielektrische Funktion von Festkörpern mit freien Ladungsträgern	90
7.3.1 Dielektrische Funktion des freien Elektronengases	90
7.3.2 Einfluß des Wellenvektors und dielektrische Funktionen komplexer Systeme	94
7.4 Experimentelle Bestimmung der dielektrischen Funktion (Ellipsometrie)	96
Übungsaufgaben	100
8. Spektroskopie in sichtbaren und unmittelbar angrenzenden Spektralbereichen	101
8.1 Optische Absorption	101
8.1.1 Elektronische Übergangswahrscheinlichkeit	101
8.1.2 Band-Band Absorption	102
8.1.3 Absorption aus Störstellen	111
8.2 Lumineszenz	116
8.2.1 Lumineszenz in Halbleitern	118
8.2.2 Lumineszenz aus Punktdefekten in Isolatoren	121
Übungsaufgaben	124
9. Symmetrieeigenschaften und Auswahlregeln in Kristallen	125
9.1 Symmetrie von Molekülen und Kristallen	125
9.2 Darstellung von Gruppen	128
9.3 Klassifizierung von Schwingungen	130
9.4 Unendlich ausgedehnte periodische Punktanordnungen und Raumgruppen	133
9.5 Quantenmechanische Auswahlregeln	135
Übungsaufgaben	138
10. Lichtstreuung	139
10.1 Experimenteller Aufbau von Streulichtexperimenten	139
10.2 Raman-Spektroskopie	141
10.2.1 Grundlagen der Raman-Streuung	141

10.2.2 Klassische Berechnung der Streuintensität und Raman-Tensor	144
10.2.3 Longitudinale und transversale optische Moden und Polaritonen	148
10.2.4 Quantenmechanische Theorie der Raman-Streuung	152
10.2.5 Temperaturabhängigkeit der Raman-Streuung	155
10.2.6 Raman-Streuung an ungeordneten Systemen	157
10.2.7 Resonanz-Raman-Streuung und elektronische Raman-Streuung	159
10.3 Brillouin-Streuung und Rayleigh-Streuung	162
10.3.1 Grundlagen der Brillouin-Streuung	162
10.3.2 Experimentelle Ergebnisse der Brillouin-Streuung	163
Übungsaufgaben	164
11. Infrarotspektroskopie	165
11.1 Strahlenquellen, optische Komponenten und Detektoren im Infrarot	166
11.2 Dispersive Infrarotspektroskopie	172
11.3 Fourier-Spektroskopie	174
11.4 Beispiele aus der Festkörperphysik	181
11.4.1 Untersuchungen an Molekülen und an vielkristallinen Materialien	181
11.4.2 Infrarotabsorption und Reflexion an Kristallen	183
11.4.3 Abgeschwächte Totalreflexion	185
11.4.4 Untersuchungen an Halbleitern	187
11.4.5 Eigenschaften von Metallen im IR	191
Übungsaufgaben	194
12. Spinresonanzspektroskopie	195
12.1 Magnetische Momente von Atomen und Kernen in Kristallen	195
12.2 Kinematische Beschreibung der Spinresonanz	200
12.2.1 Resonanzabsorption	202
12.2.2 Induktion in einer Sensorspule	202
12.3 Lösungen der Bloch-Gleichungen für die Resonanzabsorption	205
12.4 Elektronenspinresonanz	208
12.5 Kernspinresonanz	212
12.6 Kernquadrupolresonanz	218
12.7 Doppelresonanzexperimente: Dynamische Kernpolarisation (DNP) und Elektron-Kernspin Doppelresonanz (ENDOR)	218
12.7.1 Dynamische Kernpolarisation	219
12.7.2 Elektron-Kernspin Doppelresonanz (ENDOR)	221
Übungsaufgaben	221
13. Ultraviolet- und Röntgenspektroskopie	222
13.1 Röntgen-Strahlung	222
13.2 Synchrotronstrahlung	224
13.3 Spektrometer und Detektoren	230

13.4 Photoelektronenspektroskopie (XPS, UPS, ESCA, AUGER)	232
13.5 Feinstruktur-Röntgen-Strahlabsorption (EXAFS)	240
Übungsaufgabe	242
14. Spektroskopie mit γ-Strahlen	243
14.1 Mössbauer-Spektroskopie	243
14.1.1 Grundlagen der Mössbauer-Spektroskopie	243
14.1.2 Strahlenquellen und Detektoren	246
14.1.3 Ergebnisse der Mössbauer-Spektroskopie	250
14.2 Gestörte Winkelkorrelation	252
14.2.1 Grundlagen der gestörten Winkelkorrelation	252
14.2.2 Ergebnisse von Untersuchungen mit gestörter Winkelkorrelation	255
Übungsaufgabe	257
15. Spektroskopie mit geladenen Teilchen	258
15.1 Elektronen-Energieverlustspektroskopie	258
15.1.1 Elektronen-Energieverlust in Festkörpern	260
15.1.2 Elektronen-Energieverlustspektrometer	265
15.1.3 Experimentelle Ergebnisse	266
15.2 Spektroskopie mit Positronenvernichtung	269
15.2.1 Positronen im Festkörper	269
15.2.2 Positronenquellen und Spektrometer	272
15.2.3 Experimentelle Ergebnisse der Spektroskopie mit Positronenvernichtung	274
15.3 μ -Meson Spektroskopie	278
15.3.1 μ -Mesonen und μ -Meson-Spin-Rotation	278
15.3.2 Einfluß interner Felder	280
15.3.3 Experimentelle Ergebnisse	281
15.4 Tunnelspektroskopie	282
15.4.1 Der Tunneleffekt im Festkörper	283
15.4.2 Die Tunneldiode	285
15.4.3 Spektroskopie der Zustandsdichte im supraleitenden Zustand	289
Übungsaufgaben	293
16. Neutronenstreuung	294
16.1 Elastische Neutronenstreuung	294
16.2 Inelastische Neutronenstreuung	295
Anhang	299
Literatur	321
Sachverzeichnis	331