WILL KLEBER

Einführung in die Kristallographie

18., stark bearbeitete Auflage
von Hans-Joachim Bautsch und Joachim Bohm



Verlag Technik Berlin

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 11

1. Kristallstrukturlehre und Kristallmorphologie 16

1.1. Gitterbau der Kristalle 16
1.1.1. Das Raumgitter 16
1.1.2. Elementarzellen, Gittertypen, Achsensysteme 19

1.2. Beschreibung von Kristallen 25
1.2.1. Gesetz der Winkelkonstanz 25
1.2.2. Winkelmessung 26
1.2.3. Kristallprojektionen 27

1.3. Grundgesetze der Kristallmorphologie 33
1.3.1. Millersche Indizes 33
1.3.2. Zonen und Flächen 38
1.3.3. Indizierung im trigonalen und hexagonalen Kristallsystem 42

1.4. Zeichnen von Kristallen 45

1.5. Symmetrie von Kristallen 49
1.5.1. Drehachsen 50
1.5.2. Analytische Darstellung von Drehungen 53
1.5.3. Spiegelebene und Inversionszentrum 55
1.5.4. Drehinversionsachsen und Drehspiegelachsen 57
1.5.5. Symmetrieelemente und Kristallklassen 59
1.5.6. Formen 65

1.6. Die 32 Kristallklassen 67
1.6.1. Triklines Kristallsystem 68
1.6.2. Monoklines Kristallsystem 69
1.6.3. Rhombisches Kristallsystem 71
1.6.4. Tetragonales Kristallsystem 73
1.6.5. Trigonales Kristallsystem 76
1.6.6. Hexagonales Kristallsystem 80
1.6.7. Kubisches Kristallsystem 83

1.7. Symmetriebestimmung, Scheinsymmetrie, Flächensymmetrie 88

1.8. Kristallverwachsungen, Zwillinge 89

1.9. Symmetrie von Kristallstrukturen 91
1.9.1. Schraubenachsen und Gleitspiegelebenen 92
1.9.2. Analytische Darstellung von strukturellen Symmetrieoperationen . . 94
1.9.3. Raumgruppen 95
1.9.4. Korrespondenz zwischen Struktur und Habitus 102

2. Kristallchemie 107

2.1. Grundkonzepte der Kristallchemie 108

2.2. Kugelpackungen 109

2.3. Bindungszustände 116
2.3.1. Ionare Bindung 116
2.3.2. Kovalente Bindung 120
2.3.3. Metallische Bindung 124
2.3.4. Van-der-Waals-Bindung 125
2.3.5. Mischbindungen 126

2.4. Größe der Kristallbausteine 128

2.5. Systematische Kristallchemie 131
2.5.1. Kristallstrukturen mit metallischer Bindung 134
2.5.1.1. Kristallstrukturen metallischer Elemente 134
2.5.1.2. Intermetallische Phasen 139
2.5.1.3. Sulfidstrukturen 142
2.5.2. Kristallstrukturen mit kovalenter und ionarer Bindung 147
2.5.2.1. Kristallstrukturen mit kovalenter Bindung 148
2.5.2.2. Kristallstrukturen mit ionarer Bindung . . . . .
2.5.2.3. Kristallstrukturen mit Komplexen . . . . .
2.5.2.4. Kristallstrukturen mit verknüpfbaren Komplexen (Borate, Silikate) .

2.6. Molekülstrukturen . . . . .

3. Physikalisch-chemische Kristallographie 181

3.1. Realstrukturen 181
3.1.1. Punktdefekte 184
3.1.2. Versetzungen 187
3.1.3. Korngrenzen und Stapelfehler 192
3.1.4. Flüssige Kristalle 197

3.2. Kristallisation 199
3.2.1. Keimbildung 200
3.2.2. Kristallwachstum 205
3.2.3. Kristallisation in Mehrstoffsystemen 213
3.2.4. Kristallzüchtung 219
3.2.5. Auflösung und Ätzung 225
3.2.6. Epitaxie, Topotaxie 227

3.3. Vorgänge in Kristallen 231
3.3.1. Diffusion in Kristallen 231
3.3.2. Phasenübergänge 235
3.3.3. Strahlenwirkung 239

4. Kristallphysik 241

4.1. Dichte 241

4.2. Thermische Ausdehnung und Wärmeleitung 243
4.2.1. Thermische Ausdehnung 243
4.2.2. Symmetrie kristallphysikalischer Eigenschaften 247
4.2.3. Wärmeleitung 251
4.2.4. Darstellung von Tensoren 254

4.3. Elektrische Eigenschaften von Kristallen 257
4.3.1. Elektrische Leitung 257
4.3.2. Elektrische Polarisation, Pyroelektrizität, Ferroelektrizität 258
4.3.3. Piezoelektrizität 265

4.4. Optische Eigenschaften von Kristallen 270
4.4.1. Kristalloptik 270
4.4.1.1. Lichtbrechung 271
4.4.1.2. Doppelbrechung und Polarisation 273
4.4.1.3. Ellipsoide von FRESNEL und von FLETCHER (Indikatrix) 278
4.4.1.4. Optisch zweiachsige Kristalle 280
4.4.1.5. Das Polarisationsmikroskop 284
4.4.1.6. Orthoskopie 286
4.4.1.7. Konoskopie 290
4.4.2. Optische Aktivität (Gyrotropie) 297
4.4.3. Reflexion 299
4.4.4. Elektrooptischer und elastooptischer Effekt 300
4.4.5. Nichtlineare Optik 302

4.5. Magnetische Eigenschaften von Kristallen 306
4.5.1. Magnetisierung, Diamagnetismus, Paramagnetismus 306
4.5.2. Ferromagnetismus, Antiferromagnetismus, Ferrimagnetismus . . . 308
4.5.3. Symmetrie von Magnetika, Antisymmetrie, Farbsymmetrie 311

4.6. Mechanische Eigenschaften von Kristallen 315
4.6.1. Elastizität 316
4.6.2. Plastizität 318
4.6.3. Härte und Spaltbarkeit 324

5. Strukturanalyse von Kristallen 329

5.1. Röntgenkristallstrukturanalyse 329
5.1.1. Röntgenstrahlen und ihre Erzeugung 329
5.1.2. Beugung von Röntgenstrahlen an einem Gitter 333
5.1.3. Röntgenographische Aufnahmemethoden 337
5.1.3.1. Laue-Methode 337
5.1.3.2. Drehkristallmethoden 339
5.1.3.3. Pulvermethoden 342
5.1.3.4. Zählrohrgoniometermethoden 346
5.1.4. Reziprokes Gitter 349
5.1.5. Auslöschungsgesetze 357
5.1.6. Intensitäten von Röntgenreflexen 360
5.1.7. Strukturfaktor 362
5.1.8. Bestimmung von Atompositionen 364
5.1.8.1. Strukturvorschlag 364
5.1.8.2. Fourier-Synthese und Patterson-Methoden 365
5.1.8.3. Direkte Methoden der Strukturbestimmung 371

5.2. Röntgenographische Untersuchung der Realstruktur 372

5.3. Untersuchung von Kristallen mit Korpuskularstrahlen 376
5.3.1. Elektronenmikroskopie 377
5.3.2. Elektronenbeugung 381
5.3.3. Neutronenbeugung 384

5.4. Physikalische Methoden zur Strukturanalyse 385

6. Literaturverzeichnis 389

7. Sachwörterverzeichnis 407

Vorderes Vorsatzpapier:
Die 32 Kristallklassen (Punktgruppen)

Hinteres Vorsatzpapier:
Periodensystem der Elemente

Beilagen:
Doppelbrechung und Interferenzfarbe
Das Wulffsche Netz
Das Schmidtsche Netz

Erläuterungen zum vorderen Vorsatzpapier

(Erläuterungen zum hinteren Vorsatzpapier siehe S. 416)

Kristallklassen (Punktgruppen) in der Reihenfolge der International Tables for Crystallography
n Zähligkeit (Flächenzahl) der allgemeinen Form bzw. Ordnung der Punktgruppe

Symbole der Symmetrieelemente:

○ Inversionszentrum
m Spiegelebene
⬮ ▲ ◆ ⬢ 2-, 3-, 4-, 6-zählige Drehachse (Index p polare Drehachse)
△ ◭ ◬ $\bar{3}$-, $\bar{4}$-, $\bar{6}$-Drehinversionsachse

Die Kristallklassen mit Inversionszentrum entsprechen den Laue-Klassen.

Enantiomorphie:	Nichtverschwinden von pseudoskalaren Eigenschaften
Pyroelektrizität:	Nichtverschwinden von Komponenten eines polaren Tensors 1. Stufe (Vektor)
Optische Aktivität:	Nichtverschwinden von Komponenten eines axialen Tensors 2. Stufe (Gyrationstensor)
Piezoelektrizität:	Nichtverschwinden von Komponenten eines polaren Tensors 3. Stufe