

Erhard Hornbogen • Birgit Skrotzki

Mikro- und Nanoskopie der Werkstoffe

3. Auflage

 Springer

Inhalt

Inhalt	I
---------------------	----------

1 Systematik und Methoden zur Kennzeichnung des Aufbaus der Werkstoffe1

1.1 Einleitung.....	1
1.2 Systematik des Gefüges	3
1.3 Optische Verfahren zur Analyse des Aufbaus der Werkstoffe	10
1.3.1 Lichtmikroskopie (LM).....	14
1.3.2 Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)	17
1.3.3 Rastertransmissions-Elektronenmikroskopie (STEM)	18
1.3.4 Feldionenmikroskopie (FIM) und Atomsondenspektroskopie	19
1.3.5 Emissionsmikroskopie	21
1.3.6 Elektronenstrahlmikrosonde (ESMA).....	22
1.3.7 Rasterelektronenmikroskop (REM)	24
1.3.8 Fokussierter Ionenstrahl (Focused Ion Beam, FIB).....	25
1.3.9 Rastersondenmikroskopien (SPM).....	25
1.3.10 Computertomographie (CT)	30
1.4 Nanostrukturen	30
1.5 Kombination der Untersuchungsverfahren	33
1.6 Literatur	38

2 Herstellung von Proben

2.1 Einleitung.....	41
2.2 Vorzerkleinern	42
2.3 Vordünnen	42
2.4 Dünnpolieren	44
2.5 Ionendünnen	50
2.6 Zielpräparation.....	51

2.7 Einführung der Probe in den Probenhalter.....	56
2.8 Literatur	56
3 Elektronenbeugung	57
3.1 Einleitung.....	57
3.2 Bezeichnung von Kristallstrukturen.....	62
3.3 Auswertung der Beugungsbilder.....	64
3.4 Intensität der Reflexe	72
3.5 Kikuchi-Linien.....	73
3.6 Weitere Information aus Beugungsbildern	74
3.7 Konvergente Beugung	79
3.8 Beugung an Gläsern und Quasikristallen.....	83
3.9 Simulation von Beugungsbildern und hochauflösenden TEM-Bildern	83
3.10 Literatur	85
4 Durchstrahlung von amorphen Stoffen und perfekten Kristallen	87
4.1 Amorphe Stoffe	87
4.2 Kristalle unter kinematischen Bedingungen	91
4.3 Amplituden-Phasen-Diagramme.....	96
4.4 Dicken- und Biegekonturen im perfekten Kristall	97
4.5 Die Extinktionslänge.....	99
4.6 Dynamische Kontrastbedingungen	101
4.7 Abbildungsmethoden	102
4.8 Direkte Abbildung von Gitterebenen und Atomen	104
4.9 Literatur	108
5 Abbildung von Stapelfehlern und Korngrenzen.....	109
5.1 Herkunft der Gitterstörungen.....	109
5.1 Kontrast von gestörten Kristallen	111
5.3 Stapelfehler	112
5.4 Zwillingsgrenzen	116
5.5 Korngrenzen	116
5.6 Literatur	118
6 Abbildung von Versetzungen	121
6.1 Einige Eigenschaften von Versetzungen.....	121
6.2 Qualitative Betrachtung des Kontrastes einer Stufenversetzung	123
6.3 Kontrast einer Schraubenversetzung.....	124
6.4 Bestimmung der Richtung des Burgers-Vektors.....	128
6.5 Ringe, Dipole, Paare, Netze.....	129
6.6 Weak-Beam-Abbildung	131
6.7 Literatur	134
7 Geordnete metallische und nichtmetallische Kristalle	135
7.1 Geometrie der Antiphasengrenzen.....	135

7.2 Abbildung von Antiphasengrenzen	138
7.3 Überstrukturversetzungen	141
7.4 Keramik und Halbleiter	141
7.5 Polymerwerkstoffe.....	144
7.6 Literatur	149
8 Die Analyse von Phasengemischen.....	151
8.1 Entstehung von Phasengemischen	151
8.2 Drei Arten von Phasengrenzen	151
8.3 Kohärente Teilchen mit Spannungsfeld.....	153
8.4 Unterschiedliche Extinktionslänge in beiden Phasen	156
8.5 Zusammengesetzte Kontraste, Dunkelfeldmethode.....	158
8.6 Kristallisation von Gläsern	162
8.7 Extraktionsabdrücke	165
8.8 Literatur	165
9 Analyse von kompliziert aufgebauten Gefügen	167
9.1 Überlagerung verschiedener Kontrasterscheinungen.....	167
9.2 Gefüge nach martensitischer Umwandlung	167
9.3 Keimbildung von Teilchen an Versetzungen.....	173
9.4 Beobachtung der Ausscheidungshärtung.....	173
9.5 Strahlenschäden	176
9.6 Gefüge von Vielkristallen beim Beginn plastischer Verformung.....	178
9.7 Rekristallisation und kombinierte Reaktionen.....	178
9.8 Gefüge ultrahochfester Stähle.....	181
9.9 Mikroskopie des Bruchs	183
9.10 Literatur	186
10 Abbildung ferromagnetischer Bezirke (Lorentz-Mikroskopie)	189
10.1 Art und Orientierung der Wände	189
10.2 Abbildung im Lichtmikroskop (Bitter-Technik).....	190
10.3 Abbildungsmethoden im Elektronenmikroskop	191
10.4 Ummagnetisierungsvorgänge	196
10.5 Ferroelektrische und antiferromagnetische Stoffe	197
10.6 Literatur	198
11 Ausrüstung des Elektronenmikroskopes.....	199
11.1 Elektronenoptik	199
11.2 Kipp-Patronen.....	200
11.3 Probenbehandlung im Mikroskop.....	202
11.4 Grenzen der Durchstrahlungs-Elektronenmikroskopie, Auflösungsvermögen.....	206
11.5 Literatur	209
12 Besondere Verfahren der Transmissionselektronenmikroskopie.....	211

12.1 Elektronenmikroskopie bei sehr hoher Spannung.....	211
12.2 Analytische Elektronenmikroskopie	216
12.3 Literatur	223
Anhang	225
A 1: Polierlösungen zum chemischen bzw. elektrolytischen Vordünnen und Dünnpolieren metallischer und nichtmetallischer Werkstoffe.....	225
A 2: Häufige Kristalltypen (Gitterebenenabstände d_{hkl} , Winkel Φ zwischen zwei Ebenen, Volumen der Einheitszelle V und Strukturfaktor $ F ^2$).....	229
A 3: Standard-Elektronenbeugungsdiagramme einiger häufig auftretender Kristallstrukturen	233
A 4: Kristallstrukturen wichtiger Elemente	237
Sachverzeichnis.....	243
Danksagung.....	247