

Peter Haasen

Physikalische Metallkunde

Dritte, neubearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 343 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
HongKong Barcelona Budapest

Inhaltsverzeichnis

1	Übersicht	. 1
2	Experimentelle Methoden zur physikalischen Untersuchung von Metallen	3
2.1	Mikroskopie der Oberfläche	3
2.2	Transmissions-Elektronenmikroskopie (TEM)	7
2.3	Diffuse Röntgenstreuung	15
2.4	Feldionenmikroskopie (FIM) und Rastertunnelmikroskopie	19
2.5	Thermische Analyse	23
2.6	Mechanische Untersuchungsmethoden	25
2.7	Untersuchung der Anelastizität	29
2.8	Mößbauer-Effekt	31
2.9	Stereographische Projektion	34
3	Gefüge und Phase, Korn- und Phasengrenzen	38
3.1	Definitionen und Abgrenzungen	38
3.2	Struktur von Korngrenzen	41
3.3	Energie von Korngrenzen und ihre Messung	46
3.4	Phasengrenzflächen	49
4	Erstarrung von Schmelzen	52
4.1	Homogene Keimbildung	52
4.2	Heterogene Keimbildung	54
4.3	Kristallwachstum	55
4.4	Einkristallzucht und Versetzungsentstehung	57
4.5	Verteilung gelöster Fremdatome bei der Erstarrung	59
4.6	Eutektische Erstarrung	68
4.7	Metallene Gläser	72
5	Thermodynamik von Legierungen	76
5.1	Gleichgewichtsbedingungen	76
5.2	Statistische Thermodynamik von idealen und regulären binären Lösungen	79
5.3	Messung von Mischungsenergien und Aktivitäten	82
5.4	Erweiterte Lösungsmodelle	85
5.5	Herleitung binärer Zustandsdiagramme aus einem Lösungsmodell	86

5.6	Freie Energien bei allgemeinen binären Zustandsdiagrammen	90
5.7	Ternäre Zustandsdiagramme	95
6	Strukturen metallischer Phasen und ihre physikalische Begründung	100
6.1	Zwei wichtige binäre Systeme	100
6.2	Strukturen reiner Metalle und elastische Instabilitäten	108
6.3	Hume-Rothery-Phasen und Elektronen in Legierungen	115
6.4	Atomgrößen-bedingte Legierungsphasen	125
6.5	Verbindungen normaler Valenz	132
7	Geordnete Atomverteilungen	133
7.1	Überstrukturen, insbesondere lang-periodische	133
7.2	Unvollständige Ordnung, Ordnungsgrade	137
7.3	Ordnungsdomänen und ihre Grenzen	144
7.4	Ordnungskinetik	148
8	Diffusion	153
8.1	Isotherme Diffusion mit konstantem Diffusionskoeffizienten	153
8.2	Atomare Mechanismen der Diffusion	155
8.3	Diffusion mit konzentrationsabhängigem D	163
8.4	Diffusion in Grenzflächen und Versetzungen	171
8.5	Elektro- und Thermotransport	176
8.6	Oxidation von Metallen	179
8.7	Permeation von Wasserstoff: Diffusion mit sättigbaren „traps“	181
9	Ausscheidungsvorgänge	188
9.1	Keimbildung von Ausscheidungen	189
9.2	Zeitgesetze des Wachstums von Ausscheidungen	199
9.3	Ostwald-Reifung	202
9.4	Spinodale Entmischung	203
9.5	Diskontinuierliche und eutektoide Entmischung	209
9.6	ZTU-Diagramme	212
10	Atomare Gitterbaufehler, insbesondere nach Abschrecken und Bestrahlung	215
10.1	Messung der Leerstellenkonzentration im Gleichgewicht	215
10.2	Abschrecken und Ausheilen von Nichtgleichgewichts-Leerstellen	218
10.3	Effekte der Bestrahlung mit energiereichen Teilchen	223
10.4	Erholungsstufen nach Bestrahlung	226
10.5	Bestrahlungsschädigung von Reaktorwerkstoffen	228
11	Linienhafte Gitterbaufehler: Versetzungen	230
11.1	Topologische Eigenschaften von Versetzungen	230
11.2	Elastizitätstheorie der Versetzungen	237
11.3	Versetzungen in Kristallen	244
11.4	Versetzungsdynamik	251

12	Plastische Verformung und Verfestigung, Verformungsgefüge und Bruch	254
12.0	Kristallographie der Abgleitung	254
12.1	Abgleitung und Versetzungsbewegung	257
12.2	Fließspannung und Verfestigung	261
12.3	Dynamische Erholung: Quergleitung und Klettern	265
12.4	Verformung des Vielkristalls, Verformungstextur	270
12.5	Korngrenzgleitung und Superplastizität	278
12.6	Wechselverformung und Ermüdung	281
12.7	Bruch nach geringer Zugverformung („Sprödbbruch“)	286
13	Martensitische Umwandlungen	292
13.0	Mechanische Zwillingbildung	292
13.1	Charakterisierung martensitischer Umwandlungen	295
13.2	Landau-Theorie von Formgedächtnis-Legierungen	298
13.3	Kristallographie martensitischer Umwandlungen	302
13.4	Die martensitische Phasengrenzfläche	306
13.5	Keimbildung von Martensit	308
13.6	Stahlhärtung	310
13.7	Die displazive w-Umwandlung	313
14	Legierungshärtung	316
14.1	Mischkristallhärtung (MKH)	316
14.2	Versetzungsverankerung und -losreißen	326
14.3	Ausscheidungshärtung	330
14.4	Dispersionshärtung und Faserverstärkung	335
14.5	Ordnungshärtung und Plastizität intermetallischer Verbindungen	338
15	Rekristallisation	340
15.1	Definitionen	340
15.2	Primäre Rekristallisation	341
15.3	Kornwachstum	346
15.4	Rekristallisationstexturen	354
15.5	Sekundäre Rekristallisation (Kornvergrößerung)	358
	Literatur	360
	Sachverzeichnis	369