

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
I. Grundlagen. Ausgewählte Kapitel aus der allgemeinen Werkstoffkunde	4
1 Aufbau kristalliner Werkstoffe	4
1.1 Amorphe und kristalline Werkstoffe	4
1.2 Kristallstrukturen	4
1.3 Gitterbaufehler	9
1.3.1 Punktdefekte	10
1.3.2 Versetzungen	11
1.3.3 Korngrenzen	15
1.4 Phasen, Legierungen, Zustandsdiagramme	18
1.4.1 Verbundstoffe	21
1.4.2 Systeme mit lückenloser Mischkristallreihe	22
1.4.3 Systeme mit Eutektikum	24
1.4.4 Systeme mit Mischungslücke	26
1.4.5 Intermetallische Verbindungen	28
1.4.6 Phasengrenzen	29
2 Diffusion und Umwandlung	29
2.1 Diffusion	29
2.1.1 Die Fickschen Diffusionsgesetze	30
2.1.2 Diffusionsmechanismen	32
2.2 Sintern	33
2.3 Ausscheidungsvorgänge	34
2.3.1 Ausscheidung aus übersättigter Lösung	35
2.3.2 Keimbildung und Wachstum	36
2.3.3 ZTU-Schaubilder	37
3 Mechanische Eigenschaften	39
3.1 Festigkeit und Verformbarkeit	39
3.1.1 Statische, einachsige Verformung	39
3.1.1.1 Spannungs-Dehnungs-Diagramme	39
3.1.1.2 Kriechversuch, Zeitstandversuch	44
3.1.2 Härte	46
3.1.3 Schlagbeanspruchung	46
3.1.4 Dynamische Beanspruchung, Ermüdung	47
3.1.5 Beeinflussung der mechanischen Kennwerte durch mechanische und thermische Vorbehandlung, Zusammensetzung sowie Temperatur	48

3.2	Kristallplastizität	52
3.2.1	Geometrie und Kristallografie der plastischen Verformung	52
3.2.2	Der Mechanismus der plastischen Verformung	55
3.2.2.1	Die theoretische Schubfestigkeit	55
3.2.2.2	Versetzungsbild als Träger der plastischen Verformung	55
3.2.3	Verfestigung und Härtung im Versetzungsbild	58
3.3	Erholung und Rekristallisation	59
4	Eisenwerkstoffe	62
4.1	Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	62
4.2	Stähle	65
4.2.1	Härten, Vergüten	66
4.2.2	Legierte Stähle	67
5	Nichteisenmetalle	70
5.1	Kupfer und seine Legierungen	70
5.1.1	Gewinnung und Eigenschaften des reinen Kupfers (Leitfähigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Festigkeit und Verformbarkeit)	70
5.1.2	Kupferlegierungen	73
5.1.2.1	Hochleitfähige Kupferlegierungen	74
5.1.2.2	Kupferlegierungen als Konstruktionswerkstoffe	76
5.1.2.2.1	Kupferlegierungen mit kleinen Zusätzen von Arsen, Mangan, Silicium, Aluminium	78
5.1.2.2.2	Kupferlegierungen mit Zusätzen von Zinn, Zink, Nickel (Zinnbronzen, Rotmetall, Messing, Neusilber) und Blei .	78
5.1.2.3	Legierungen für elektrische Widerstände und Kontaktwerkstoffe auf der Basis von Kupfer	81
5.2	Leichtmetalle	81
5.2.1	Magnesium, Titan, Beryllium	81
5.2.2	Reines Aluminium	82
5.2.3	Aluminiumlegierungen	84
5.3	Zusammenfassender Überblick über Werkstoffeigenschaften und Zusammensetzung von Kupfer- und Aluminiumlegierungen	86
6	Nichtmetallische Werkstoffe	86
6.1	Anorganische Werkstoffe	86
6.2	Organische Werkstoffe	88
7	Korrosion und Korrosionsschutz	92
7.1	Normale Witterungseinflüsse	92
7.2	Korrosion durch wässrige Lösung, elektrochemische Prozesse	93
7.3	Sonstige Korrosionserscheinungen (Industrie-Atmosphäre und Meerwasser)	96
7.4	Korrosionsschutz	97
8	Verbindungstechnik metallischer Werkstoffe	98
8.1	Löten	99
8.2	Schweißen	101
9	Untersuchungsmethoden und Prüfverfahren	103

II. Die meist verwendeten Werkstoffgruppen der Elektrotechnik nach ihren Haupteigenschaften geordnet	105
10 Einleitende Übersicht über Zusammenhänge zwischen der Art der interatomaren Bindungen, den mechanischen Eigenschaften und der Elektrizitätsleitung bei festen Körpern	105
10.1 Positive und negative Ladungen als Bestandteile der Materie	105
10.2 Metallische Bindung und metallische Leitung	106
10.3 Die „Valenzkristalle“ des Kohlenstoffs und der halbleitenden Elemente Silicium und Germanium. Die kovalente Bindung	107
10.4 Chemische Verbindungen mit elektronischer Halbleitung und mit Ionenleitung. Die Ionenbindung	109
10.5 Zusammenfassung von Abschnitt 10.2 bis 10.4	111
10.6 Aufbau der Atome aus Kern und Elektronenhülle	112
10.7 Das Bändermodell	113
10.8 Metall, Halbleiter und Isolator im Bändermodell	115
11 Der Halleffekt und seine Bedeutung zum Studium der Leitungsvorgänge in Metallen, Halbleitern und festen Ionenleitern	116
12 Metallische Leiter- und Widerstandswerkstoffe	119
12.1 Reine Metalle	119
12.1.1 Einige Zahlenwerte für die Leitfähigkeit	119
12.1.2 Konzentration und Beweglichkeit der Leitungselektronen in reinen Metallen	119
12.1.3 Einfluß von Verunreinigungen und anderen Gitterdefekten im Kristallgefüge auf das Leitvermögen von Metallen	121
12.1.4 Einfluß der Temperatur auf die metallische Leitfähigkeit, Widerstandsthermometer	121
12.1.5 Einfluß gerichteter mechanischer Spannungen, Dehnungsmeßstreifen	124
12.2 Legierungen als Werkstoffe für elektrische Widerstände	125
12.2.1 Die Leitfähigkeit von Legierungen	125
12.2.2 Werkstoffe für Präzisions-, Regel- und Heizwiderstände	126
12.3 Metallische Thermoelemente	129
12.4 Zusammenfassung von Abschnitt 12.1 bis 12.3	131
13 Supraleiter	131
14 Kontaktwerkstoffe	134
15 Elektronische Halbleiter	138
15.1 Eigenleitung	138
15.1.1 Valenzelektronen, Leitungselektronen, Leitungsmechanismus, Defektelektronen	138
15.1.2 Leitfähigkeit von Eigenhalbleitern – Konzentration und Beweglichkeit der Ladungsträger	140
15.1.3 Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit und einige Anwendungen	141
15.2 Störstellenleitung	143
15.2.1 Leitungsmechanismus – n-Leitung, p-Leitung, Donatoren, Akzeptoren	143
15.2.2 Leitfähigkeit von dotierten Halbleitern	146
15.2.3 Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit von dotierten Halbleitern	147
15.3 Verbindungshalbleiter	148

15.4	Das Fermi-Niveau und seine Lage im Bänderschema der Halbleiter	149
15.5	Der pn-Übergang	151
15.5.1	Der pn-Übergang im Gleichgewicht, das Kontaktpotential	152
15.5.2	Der pn-Übergang in Sperr- und Flußrichtung	154
15.6	Einige Anwendungen des pn-Überganges	155
15.6.1	Gleichrichterdioden	155
15.6.2	Zenerdioden und spannungsabhängige Kondensatoren	157
15.6.3	Der bipolare Transistor	158
15.6.4	Der Thyristor	158
15.6.5	Der MOS-Feldeffekt-Transistor	160
15.6.6	Fotodioden, Fototransistoren, Fotoelemente	161
15.6.7	Lumineszenz- und Laser-Dioden	162
15.6.8	Piezo-Widerstände	162
15.7	Zusammenfassung von Abschnitt 15.1 bis 15.6	162
15.8	Halbleitertechnologie	164
15.8.1	Höchstreinigung von Halbleiterwerkstoffen, das Zonenschmelzverfahren	164
15.8.2	Herstellung von Einkristallen – Tiegelziehen, Zonenziehen, Epitaxie	165
15.8.3	Herstellung von pn-Übergängen, die Planartechnologie	166
16	Der Kohlenstoff und seine Verbindungen als Werkstoffe der Elektrotechnik	169
16.1	Graphit und „amorpher“ Kohlenstoff	170
16.2	Carbide	172
17	Isolierstoffe	173
17.1	Überblick über die spezifischen Widerstände aller elektrotechnischen Werkstoffe	173
17.2	Die Luft als Isolierstoff	174
17.3	Die Durchschlagfestigkeit von Gasen	175
17.4	Die Qualitätsmerkmale fester und flüssiger Isolierstoffe	176
17.4.1	Die Durchschlagfestigkeit	176
17.4.2	Die elektrische Polarisation und die Dielektrizitätszahl	177
17.4.2.1	Stoffe aus unpolaren Molekülen	178
17.4.2.2	Stoffe aus polaren Molekülen (Dipolen)	179
17.4.2.3	Ferroelektrische Stoffe, auch in ihrer Anwendung als Kaltleiter	179
17.4.2.4	Elektrostriktion und Piezoelektrizität	180
17.4.3	Entstehung und Definition der dielektrischen Verluste, der Verlustfaktor $\tan \delta$	180
17.4.4	Die Messung des Verlustfaktors und der Dielektrizitätszahl	181
17.4.5	Abhängigkeit der Dielektrizitätszahl ϵ_r und des Verlustfaktors $\tan \delta$ von Frequenz und Temperatur	183
17.4.6	Die Spannungsabhängigkeit des Verlustfaktors	185
17.4.7	Die komplexe Dielektrizitätszahl	186
17.4.8	Oberflächenwiderstand, Kriechstromfestigkeit	187
17.5	Zusammenfassender Auszug aus Abschnitt 17.1 bis 17.4 – Sonstige Forderungen an Isolierstoffe	187
17.6	Gebräuchliche Isolierstoffe / ihre wichtigsten Eigenschaften, Isolierverfahren	188
17.7	Die Wärmebeständigkeit technischer Isolierstoffe. Die Einteilung in Wärmeklassen	189
18	Flüssigkristalle	192
18.1	Struktur und Eigenschaften	192
18.2	Einige Anwendungen der Flüssigkristalle	194
18.2.1	Thermooptische Effekte	194
18.2.2	Elektrooptische Effekte	194

19 Die Wärmeleitfähigkeit gebräuchlicher Werkstoffe	195
20 Magnetische Werkstoffe	197
20.1 Begriffe und Definitionen	197
20.2 Diamagnetismus und Paramagnetismus	200
20.3 Der Ferromagnetismus und Ferrimagnetismus	201
20.3.1 Grundsätzliches über Aufbau und Eigenschaften ferromagnetischer Werkstoffe	201
20.3.1.1 Weiss'sche Bezirke und Blochwände	201
20.3.1.2 Die Vorgänge bei der Auf- und Abmagnetisierung (Wandverschiebungen, Drehprozesse, Magnetostraktion)	202
20.3.2 Antiferromagnetismus und Ferrimagnetismus	204
20.4 Definition und meßtechnische Erfassung der Eigenschaften magnetischer Werkstoffe	205
20.4.1 Die Magnetisierungskurve	205
20.4.2 Die Hystereseschleife und die Hystereseverluste	207
20.4.3 Die Wirbelstromverluste	210
20.4.4 Die Nachwirkungsverluste	211
20.4.5 Die Ummagnetisierungsverluste in ihrer Gesamtheit	211
20.4.6 Abhängigkeit der Gesamtverluste und der Permeabilitätszahl von der Frequenz	213
20.4.7 Die komplexe Permeabilitätszahl	214
20.5 Eigenschaften gebräuchlicher Magnetwerkstoffe	214
20.5.1 Allgemeiner Überblick	214
20.5.1.1 Sättigungspolarisationen und Curie-Temperaturen	214
20.5.1.2 Hystereseschleifen von isotropen Werkstoffen	215
20.5.1.3 Hystereseschleifen von anisotropen Werkstoffen	216
20.5.2 Hartmagnetische Werkstoffe	218
20.5.3 Weichmagnetische Werkstoffe	221
20.6 Zusammenfassung von Abschnitt 20.2 bis 20.5	223
Anhang: Normung	226
Bildnachweis	228
Literatur	231
Sachwortverzeichnis	234