

**Werkstoffe und Bauelemente
der Elektrotechnik**

**H. Schaumburg
Werkstoffe**

Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik

Herausgegeben von

Prof. Dr. Hanno Schaumburg, Hamburg-Harburg

Die Realisierung neuer Funktionen in der Elektrotechnik ist in der Regel verbunden mit dem Einsatz hochentwickelter elektronischer Bauelemente, deren Herstellung abhängig ist von neuen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Werkstoff- und Fertigungstechnologie. Darauf basiert das Grundkonzept dieser Buchreihe: die Darstellung der für die Elektrotechnik bedeutsamen Werkstoffe und deren Anwendung auf neue Bauelementkonzepte.

Die Buchreihe „Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik“ ist in ihrem Umfang nicht eingeschränkt: Sie ist offen für neue Entwicklungen, die schnell eine technische und wirtschaftliche Bedeutung gewinnen können. Sie setzt sich zum Ziel, dem Leser – sowohl an den Universitäten als auch in der Industrie – die neuesten Entwicklungen aufzuzeigen und ihn umfassend zu informieren. Gleichzeitig soll die Reihe aber auch die Funktion eines Nachschlagewerkes haben für die Vielzahl der konventionelleren Techniken, die in der Praxis weitverbreitet sind und auch bleiben werden.

Werkstoffe

Von Dr. Hanno Schaumburg
Professor an der Technischen Universität
Hamburg-Harburg

Mit 293 Bildern und 54 Tabellen



**Springer Fachmedien
Wiesbaden GmbH**

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Schaumburg, Hanno:

Werkstoffe / Hanno Schaumburg. – Stuttgart : Teubner, 1990

(Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik ; 1)

ISBN 978-3-322-84848-2

ISBN 978-3-322-84847-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-84847-5

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1990

Ursprünglich erschienen bei B. G. Teubner Stuttgart 1990

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1990

Satz: Ch. von Stebut, S. Utcke, Hamburg

Bilder: Art Type Kommunikation, Seevetal 2

Druck und Binden: Präzis-Druck GmbH, Karlsruhe

Einband: P.P.K, S – Konzepte T. Koch, Ostfildern/Stuttgart

Vorwort

Dieses ist der erste Band einer Reihe "Werkstoffe und Bauelemente" mit den Folgebänden "Halbleiter", "Sensoren" und "Quanten", in denen die Grundlagen der Werkstoffwissenschaften und Festkörperphysik und deren Anwendung auf die Herstellung und Funktionsweise elektronischer Bauelemente dargestellt werden.

Dabei wird angestrebt, die theoretischen Grundlagen der Werkstoffseite (überwiegend Eigenschaften von Atomen und Festkörpern) mit denen der Bauelementseite (Eigenschaften von Elektronen und Dipolen) weitgehend zu vereinheitlichen. Es wird ausgegangen von bekannten Prinzipien der Thermodynamik, die in vereinfachter Form eingeführt und weiterentwickelt werden. Eine zentrale Rolle spielt dabei das chemische Potential (in der Halbleiterphysik Fermi-Energie genannt), dieses ist bestimmend für das Transportverhalten, sowie die thermischen und galvanischen Eigenschaften der Systeme.

Im Vordergrund steht das Ziel, ein auf Anschauung begründetes und trotzdem theoretisch fundiertes Verständnis für den Aufbau und das Verhalten der elektronischen Bauelemente zu vermitteln. Die physikalischen und mathematischen Grundlagen werden in möglichst einfacher Form dargestellt, so daß nur Grundkenntnisse der Mathematik (Differential- und Integralrechnung, Vektor- und Matrizenrechnung) vorausgesetzt werden müssen. Die Buchreihe ist daher besonders geeignet für Studenten der Technischen Universitäten und Fachhochschulen. Sie ist aber auch ausgelegt zum Selbststudium, zur fachlichen Weiterbildung von Studenten anderer Fachrichtungen und für den Anwender in der industriellen Praxis.

Für eine Vielzahl von Diskussionen und Anregungen bin ich den Kollegen, Mitarbeitern und Studenten der Technischen Universität Hamburg-Harburg sehr dankbar, insbesondere für eine kritische Durchsicht von Abschnitten dieses Buches den Professoren Dr. J. Estrin (plastische Verformung), Dr. A. Gysler (Rißbildung und Bruch), Dr. J. Petermann (Kunststoffe), Dr. W. Tolksdorf (Philips Forschungslaboratorium Hamburg, magnetische Eigenschaften) und Dr. K. Wilmanski (Thermodynamik) sowie den Herren Dr. L. Wagner (Ermüdung), W. Daum und O. Daus (Endkorrektur). Weiterhin danke ich für eine Durchsicht des Manuskriptes und eine gelegentliche Aufmunterung den Herren U. Burkat, H.J. Malende und U. Mandelkow.

Die Umsetzung des Manuskriptes in eine druckreife Vorlage wurde durch die Herren Christian von Stebut und Sven Utcke (TUHH, Text) sowie Gerd Krümmel (Art Service, Bilder) durchgeführt. Auch ihnen bin ich für ihren enthusiastischen und sachkundigen Einsatz sehr dankbar.

Die zügige Fertigstellung des Buches wäre nicht möglich gewesen ohne den unermüdlichen Einsatz von Herrn Dr. J. Schlembach vom Teubner Verlag, dem ich an dieser Stelle für die tatkräftige Hilfe bei der Überwindung einiger Klippen und eine Vielzahl anregender Gespräche besonders herzlich danken möchte.

Hamburg, Juli 1990

H.S.

Inhalt

1	Atome und Festkörper	1
1.1	Atomaufbau und Periodensystem	1
1.2	Größen von Atomen und Ionen	9
1.3	Atombindung und Kristallstruktur	14
1.3.1	Atombindung und Aggregatzustand	14
1.3.2	Ionische Bindung	17
1.3.3	Kovalente Bindung	26
1.3.4	Metallische Bindung	39
1.3.5	Andere Bindungsarten	45
1.4	Raumgitter und reziproke Gitter	46
1.4.1	Kristallgitter und Kristallrichtungen	46
1.4.2	Kristallebenen und Millersche Indizes	52
1.5	Bragg-Reflexion	57
2	Einführung in die Gibbs'sche Thermodynamik	65
2.1	Entropie	65
2.2	Chemisches Potential	72
2.3	Kristallenergie	77
2.4	Freie Energie von Legierungen	80
2.5	Zustandsdiagramme	88
2.6	Ternäre Legierungen	102
2.7	Punktfehler und Diffusion	104
2.7.1	Löslichkeit und Leerstellendichte	104
2.7.2	Diffusion	111
2.7.3	Stromdichtegleichung und Ionenleitung	124
2.8	Übergang in das thermische Gleichgewicht	128
2.8.1	Phasenmischung	128
2.8.2	Ausscheidung und Entmischung	132
2.8.3	Dipolschichten	138

3	Mechanische Formgebung und Stabilität	143
3.1	Elastizität	143
3.2	Plastizität und Härte	154
3.2.1	Metalle und Keramiken	154
3.2.2	Kunststoffe	182
3.3	Pulvertechniken	189
3.4	Mikromechanik	194
3.5	Rißbildung und Bruch	198
3.6	Übersicht über die Verbundwerkstoffe	204
3.7	Verfahren der Werkstoffprüfung	209
4	Leiter und Widerstände	216
4.1	Elektronenleitung	216
4.1.1	Ohmsches Gesetz	216
4.1.2	Gebundene Elektronen	219
4.1.3	Elektronengas	222
4.2	Leiter und Verbindungen	232
4.2.1	Leiterwerkstoffe	232
4.2.2	Verbindungstechnik	249
4.3	Widerstände	257
4.3.1	Joulesche Wärme	257
4.3.2	Widerstandswerkstoffe	260
4.3.3	Heizleiter	266
5	Wärme in Festkörpern	269
5.1	Wärmekapazität	269
5.2	Wärmeleitfähigkeit	274
5.3	Thermische Ausdehnung	278
6	Isolatoren und Kondensatoren	281
6.1	Isolatoren	281
6.2	Dielektrische Polarisierung	286
6.3	Kondensatoren	294
6.3.1	Bauformen	294
6.3.2	Folienkondensatoren und Papierkondensatoren	296
6.3.3	Keramische Kondensatoren	298
6.3.4	Elektrolytkondensatoren	302
6.4	Optische Werkstoffe	304
7	Magnete	312
7.1	Magnetische Felder und Momente	312
7.1.1	Magnetfeld und Induktion	312
7.1.2	Magnetische Polarisierung	315

7.1.3	Diamagnetismus und Paramagnetismus	317
7.1.4	Ferro-, Ferri- und Antiferromagnetismus	323
7.1.5	Magnetische Domänen	332
7.2	Weichmagnete	337
7.2.1	Induktivität	337
7.2.2	Metallische Weichmagnete	339
7.2.3	Keramische Weichmagnete	349
7.3	Permanentmagnete	356
7.3.1	Metallische Permanentmagnete	356
7.3.2	Keramische Permanentmagnete	361
7.3.3	Magnetische Datenspeicherung	362
7.3.4	Magneto-optische Dielektrika	365
A	FORMELZEICHEN UND DIMENSIONEN	369
B	Naturkonstanten	375
C	Teilchenbewegung und Teilchenstrom	376
	Literatur	384
	INDEX	389