

Inhaltsverzeichnis

1.	Leiterwerkstoffe	15
1.1.	Grundlagen	15
1.2.	Elektrische Leitfähigkeit der Metalle	18
1.2.1.	Ohmsches Gesetz	18
1.2.2.	Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der Metalle	20
1.2.3.	Einfluß des Probedurchmessers auf die elektrische Leitfähigkeit	22
1.2.4.	Kristallbaufehler und elektrische Leitfähigkeit	22
1.2.4.1.	Nulldimensionale Kristallbaufehler	23
1.2.4.2.	Eindimensionale Kristallbaufehler	27
1.2.4.3.	Zweidimensionale Kristallbaufehler	28
1.2.4.4.	Dreidimensionale Kristallbaufehler	28
1.2.5.	Schlußfolgerungen für die Werkstoffauswahl	31
1.3.	Leiterwerkstoffe auf Kupferbasis	33
1.3.1.	Reines Kupfer	33
1.3.2.	Binäre Kupferleitlegierungen	35
1.3.3.	Mehrkomponenten-Kupferleitlegierungen	35
1.4.	Leiterwerkstoffe auf Aluminiumbasis	37
1.4.1.	Reines Aluminium	37
1.4.2.	Binäre Aluminiumleitlegierungen	37
1.4.3.	Kupferbeschichtetes Aluminium	40
1.5.	Leiterwerkstoffe auf Goldbasis	41
1.6.	Leiterwerkstoffe auf Silberbasis	42
1.7.	Eindimensionale Leiter	43
1.8.	Flächenleiterwerkstoffe	44
1.8.1.	Werkstoffe für Leiterplatten	47
1.8.2.	Leiterwerkstoffe der Dickschichttechnik	52
1.8.3.	Leiterwerkstoffe der Dünnschichttechnik	55
1.9.	Supraleiter	56
1.9.1.	Supraleitfähigkeit	56
1.9.2.	Supraleiter 1. Art	58
1.9.3.	Supraleiter 2. Art	60
1.9.4.	Supraleitende Werkstoffe	61
1.9.4.1.	Supraleitende Elemente	61
1.9.4.2.	Verformbare supraleitende Legierungen	63
1.9.4.3.	Supraleitende Verbindungen	64
1.9.5.	Herstellung supraleitender Werkstoffe	66
1.9.6.	Anwendung supraleitender Werkstoffe	69
1.9.6.1.	Supraleitende Magnete	69
1.9.6.2.	Supraleitende Kabel	71

1.10.	Elektrodenwerkstoffe	71
1.10.1.	Definition	71
1.10.2.	Einteilung der Elektrodenwerkstoffe	72
1.10.3.	Kohlenstoffwerkstoffe	75
1.10.3.1.	Eigenschaften	75
1.10.3.2.	Herstellung	80
1.10.3.3.	Kennwerte und Anwendungshinweise	81
1.10.4.	Werkstoffe für dimensionsstabile Anoden (DSA)	82
1.10.4.1.	Eigenschaften und Aufbau	84
1.10.4.2.	Herstellung	84
1.10.4.3.	Anwendungshinweise	85
1.10.5.	Entwicklungstendenzen	85
1.11.	Lichtleiter	86
1.11.1.	Grundlagen	86
1.11.2.	Werkstoffauswahl und Herstellung	87
	Literatur- und Quellenhinweise	87
2.	Kontaktwerkstoffe	91
2.1.	Grundlagen	91
2.2.	Kontakteigenschaften	91
2.2.1.	Kontaktwiderstand	92
2.2.2.	Verschleiß elektrischer Kontakte	93
2.2.2.1.	Mechanischer Verschleiß	94
2.2.2.2.	Elektrischer Verschleiß	94
2.2.2.3.	Korrosiver Verschleiß	96
2.2.3.	Schweißverhalten	98
2.3.	Kontaktwerkstoffeigenschaften	99
2.4.	Kontaktwerkstoffe auf Silberbasis	101
2.4.1.	Silber	101
2.4.2.	Silber—Kadmium	103
2.4.3.	Silber—Kupfer	103
2.4.4.	Silber—Palladium	104
2.4.5.	Silber—Metalloxid	105
2.4.6.	Silber—Nickel	108
2.4.7.	Silber—Graphit	109
2.5.	Kontaktwerkstoffe auf Goldbasis	110
2.5.1.	Gold	110
2.5.2.	Gold—Silber	113
2.5.3.	Gold—Nickel, Gold—Kobalt	113
2.5.4.	Gold-Schichtverbundwerkstoffe	115
2.6.	Kontaktwerkstoffe auf Platinmetallbasis	118
2.6.1.	Reine Platinmetalle	118
2.6.2.	Platinmetall-Legierungen	119
2.7.	Kontaktwerkstoffe auf Kupferbasis	121
2.7.1.	Kupfer und Kupferlegierungen	121
2.7.2.	Kupferverbundwerkstoffe	122
2.8.	Kontaktwerkstoffe auf Basis hochschmelzender Metalle	122
2.8.1.	Reine Metalle	122
2.8.2.	Verbundwerkstoffe	124
2.9.	Kontaktwerkstoffe auf Basis von Graphit	125
	Literatur- und Quellenhinweise	126

3.	Widerstandswerkstoffe	128
3.1.	Grundlagen	128
3.2.	Werkstoffe für Drahtwiderstände	132
3.2.1.	Werkstoffe für Präzisionswiderstände	132
3.2.2.	Chemisch stabile Widerstandswerkstoffe	132
3.3.	Heizleiterwerkstoffe	133
3.4.	Werkstoffe für Schichtwiderstände	136
3.4.1.	Allgemeine Eigenschaften der Werkstoffe als «dicke» und als «dünne» Schichten	136
3.4.2.	Werkstoffe für Dickschichtwiderstände	137
3.4.3.	Werkstoffe für Dünnschichtwiderstände	140
3.4.4.	Kohlenstoffwerkstoffe für Schichtwiderstände	143
3.5.	Werkstoffe für Massewiderstände	144
3.5.1.	Allgemeine Eigenschaften	144
3.5.2.	Massewiderstände auf der Basis von Siliziumkarbid	144
3.5.2.1.	Hochleistungswiderstände	145
3.5.2.2.	Weitgehend spannungsunabhängige Massewiderstände	145
3.5.3.	Massewiderstände auf der Basis von Kohlenstoff	146
3.5.3.1.	Kohlenstoff-Festwiderstände	146
3.5.3.2.	Kohleldruckwiderstände	147
	Literatur- und Quellenhinweise	147
4.	Halbleiterwerkstoffe	148
4.1.	Grundlagen	148
4.1.1.	Definition und Arten von Halbleitern	148
4.1.2.	Eigenleitung	149
4.1.2.1.	Energiebänder- und Valenzbandmodell	149
4.1.2.2.	Konzept der «negativen effektiven Masse»	150
4.1.2.3.	Verfeinerte Bandstruktur	153
4.1.2.4.	Temperaturabhängigkeit der Eigenleitung	153
4.1.2.5.	Fotoleitung, Generation und Rekombination von Ladungsträgerpaaren	154
4.1.2.6.	Lumineszenz	155
4.1.3.	Störstellenleitung	155
4.1.3.1.	Bänder- und Valenzbandmodell für die n-Leitung	155
4.1.3.2.	Bänder- und Valenzbandmodell für die p-Leitung	156
4.1.3.3.	Majoritäts- und Minoritätsträger	157
4.1.3.4.	Halleffekt	158
4.1.3.5.	Temperaturabhängigkeit der Störstellenleitung	159
4.1.3.6.	Rekombinationszentren, Trap- und Grenzflächenzustände	160
4.2.	Halbleiterbauelemente	161
4.2.1.	pn-Übergang	162
4.2.2.	pn-Diode	163
4.2.2.1.	Funktionsmechanismus und Kennlinienverhalten	163
4.2.2.2.	Anwendungen der pn-Dioden	165
4.2.3.	Transistor – Grundelement integrierter Schaltungen	169
4.2.3.1.	Bipolartransistor	169
4.2.3.2.	Feldeffekttransistor (FET)	171
4.2.4.	Mikroelektronische Bauelemente (integrierte Schaltkreise)	174
4.3.	Elementhalbleiter-Werkstoffe	175
4.3.1.	Übersicht	175
4.3.2.	Silizium als Halbleiterwerkstoff	175

4.3.2.1.	Kristallstruktur	175
4.3.2.2.	Anforderungen an Silizium als Halbleiterwerkstoff	177
4.3.2.3.	Chemische Darstellung	178
4.3.2.4.	Physikalische Hochreinigung (Zonenschmelzen)	180
4.3.2.5.	Einkristallzüchtung	181
4.3.2.6.	Herstellung der Einkristallscheiben	182
4.3.3.	Germanium als Halbleiterwerkstoff	184
4.4.	Verbindungshalbleiter-Werkstoffe	185
4.4.1.	Übersicht	185
4.4.2.	Kristallstruktur von A ^{III} -B ^V -Halbleiterverbindungen	186
4.4.3.	Einkristallzüchtung	187
4.4.4.	Anwendungen	188
4.5.	Werkstoffprobleme der Technologie der Mikroelektronik	189
4.5.1.	Einführung	189
4.5.2.	Verfahrensschritte der Halbleitertechnologie im Scheibenprozeß (Zyklus 1)	192
4.5.2.1.	Schichtherstellung	192
4.5.2.2.	Strukturherzeugung	198
4.5.2.3.	Dotierung	200
4.5.3.	Verfahrensschritte der Montage mikroelektronischer Bauelemente (Zyklus 2)	207
4.5.3.1.	Aufgaben und Übersicht	207
4.5.3.2.	Rückseitenbearbeiten	210
4.5.3.3.	Chipbereitstellen	211
4.5.3.4.	Chipbonds	211
4.5.3.5.	Drahtbonds	215
4.5.3.6.	Simultanbonds	220
4.5.3.7.	Verkappen	223
4.5.3.8.	Endprozesse	224
	Literatur- und Quellenhinweise	225
5.	Elektrische Isolierstoffe	227
5.1.	Grundlagen	227
5.2.	Gasförmige Isolierstoffe	233
5.3.	Flüssige Isolierstoffe	234
5.4.	Feste Isolierstoffe	236
5.4.1.	Anorganische Isolierstoffe	236
5.4.2.	Organische Isolierstoffe	247
5.4.2.1.	Veredelte Naturprodukte als Isolierstoffe	247
5.4.2.2.	Vollsynthetische Isolierstoffe	250
5.4.3.	Vergußmassen	264
5.5.	Weiterentwicklung der Isolierstoffe	265
	Literatur- und Quellenhinweise	266
6.	Dielektrika, Paraelektrika und Ferroelektrika	268
6.1.	Allgemeine Grundlagen	268
6.1.1.	Definitionen und Besonderheiten	268
6.1.2.	Verhalten im elektrischen Feld	270
6.1.3.	Temperaturabhängigkeit von dielektrischen Kenngrößen	272
6.2.	Anorganische oxidische und organische Dielektrika	273
6.2.1.	Oxidische Dielektrika	273
6.2.1.1.	Werkstoffübersicht	273
6.2.1.2.	Herstellung	274

6.2.1.3.	Eigenschaften	275
6.2.1.4.	Einsatzgebiete	277
6.2.2.	Organische Dielektrika	277
6.2.2.1.	Werkstoffübersicht	277
6.2.2.2.	Herstellung	278
6.2.2.3.	Charakteristische Eigenschaften	278
6.2.2.4.	Einsatzgebiete	278
6.3.	Paraelektrika	279
6.3.1.	Werkstoffübersicht	279
6.3.2.	Keramische Titanoxide und Titanate	279
6.3.2.1.	Allgemeine Anforderungen an keramische Kondensatorwerkstoffe vom Typ I	279
6.3.2.2.	System BaO—TiO ₂ —(SnO ₂ , ZrO ₂)	280
6.3.2.3.	System MgO—TiO ₂ —ZrO ₂	280
6.3.2.4.	Systeme mit stark negativen Temperaturkoeffizienten der Dielektrizitätskonstanten	281
6.3.2.5.	Technologie der Herstellung	281
6.3.3.	Glas—Keramik-Systeme	281
6.3.4.	Erzeugnisse aus paraelektrischer Keramik	282
6.4.	Ferroelektrika	284
6.4.1.	Werkstoffübersicht	284
6.4.2.	Besonderheiten der Ferroelektrika	284
6.4.3.	Keramische und einkristalline Werkstoffe	285
6.4.3.1.	Herstellung keramischer Ferroelektrika	285
6.4.3.2.	Dielektrische Werkstoffe mit hohen Dielektrizitätskonstanten	288
6.4.3.3.	Piezoelektrische Werkstoffe	292
6.4.3.4.	Elektrooptische Werkstoffe	298
6.4.3.5.	Pyroelektrische Werkstoffe	301
6.4.3.6.	Werkstoffe für Elektrete	302
6.4.3.7.	Werkstoffe für Kaltleiter	302
6.4.4.	Plast-Ferroelektrika	304
6.4.4.1.	Ferroelektrische Polymere	304
6.4.4.2.	Polymere mit eingelagerter ferroelektrischer Keramik	305
	Literatur- und Quellenhinweise	306
7.	Magnetwerkstoffe	307
7.1.	Grundlagen	307
7.1.1.	Physikalische Ursachen der magnetischen Erscheinungen	307
7.1.1.1.	Magnetisches Feld und magnetische Feldgrößen	307
7.1.1.2.	Erscheinungsformen des Magnetismus	310
7.1.2.	Magnetische Bereichsstrukturen	316
7.1.3.	Elementarprozesse der magnetischen Polarisation	319
7.1.3.1.	Polarisationsvorgänge in kompakten Werkstoffen	319
7.1.3.2.	Polarisationsvorgänge in dünnen Schichten	321
7.1.4.	Permeabilität und Hystereseigenschaften	321
7.1.4.1.	Kenngößen magnetischer Werkstoffe	321
7.1.4.2.	Einfluß magnetischer Anisotropieenergien	329
7.1.4.3.	Einfluß der Werkstoffherstellung und -verarbeitung	331
7.1.4.4.	Einteilung der Magnetwerkstoffe	333
7.2.	Weichmagnetische Werkstoffe	334
7.2.1.	Metallische weichmagnetische Werkstoffe	334
7.2.1.1.	Werkstoffe für elektrische Maschinen, Netztransformatoren und Relais	334

7.2.1.2.	Werkstoffe für Spulenkern und Übertrager	340
7.2.1.3.	Werkstoffe für Impulsübertrager	345
7.2.2.	Massekerne	347
7.2.3.	Weichmagnetische Ferrite	349
7.3.	Magnetisch halbharte Werkstoffe	352
7.4.	Hartmagnetische Werkstoffe	352
7.4.1.	Martensitische Stähle	355
7.4.2.	Fe—Co—V—(Cr)-Legierungen	355
7.4.3.	AlNiCo-Legierungen	355
7.4.4.	Fe—Cr—Co-Legierungen	357
7.4.5.	Hartmagnetische Ferrite	358
7.4.6.	Seltenerdmetall—Kobalt-Verbindungen	358
7.4.7.	Mn—Al—C-Legierungen	358
7.5.	Magnetische Werkstoffe für spezielle Anwendungen	359
7.5.1.	Magnetische Werkstoffe für Abschirmungen	359
7.5.2.	Werkstoffe für Temperaturkompensation	359
7.5.3.	Werkstoffe mit höchster Sättigungspolarisation	359
7.6.	Nichtmagnetisierbare Stähle	360
	Literatur- und Quellenhinweise	361
8.	Speicherwerkstoffe	362
8.1.	Magnetspeicher	365
8.1.1.	Magnetbandspeicher	365
8.1.2.	Kernspeicher	367
8.1.3.	Ebene magnetische Speicherschichten	368
8.1.4.	Zylindrische magnetische Speicherelemente	368
8.1.5.	Magnetblasenspeicher	368
8.2.	Akustoelektrische Speicher	369
8.3.	Ferroelektrische Speicher	370
8.4.	Optische Speicher	370
8.5.	Halbleiterspeicher	371
8.6.	Glashalbleiter-Speicher (Ovonics)	371
8.7.	Supraleitende Speicherelemente	372
8.7.1.	Kryoelektrische Speicher	372
8.7.2.	Josephson-Effekt-Speicher	373
8.8.	Nadeltonspeicher	373
	Literatur- und Quellenhinweise	373
9.	Werkstoffe für Wandler	374
9.1.	Mechanoelektrische Wandlung	375
9.1.1.	Kontrolle der Anwesenheit von Werkstücken und das Erfassen ihrer Zahl	375
9.1.2.	Erfassen von Strecken	379
9.1.3.	Erfassen von Flächen	383
9.1.4.	Erfassen von Volumina	384
9.1.5.	Erfassen von Bewegungsgrößen	384
9.1.6.	Erfassen der Masse	385
9.1.7.	Erfassen der Kraft und des Drehmoments	386
9.1.8.	Erfassen der Viskosität	390
9.2.	Thermoelektrische Wandlung	390
9.2.1.	Punktförmige Temperaturmessung	392
9.2.2.	Flächenhafte Temperaturmessung	396

9.2.3.	Thermoelektrische Energiewandlung	396
9.3.	Optoelektrische Wandlung	398
9.3.1.	Erfassen der Beleuchtungsstärke	398
9.3.2.	Optoelektrische Energiewandlung	398
9.4.	Akustoelektrische Wandlung	398
9.5.	Magnetoelektrische Wandlung	400
9.6.	Chemoelektrische Wandlung	401
9.6.1.	Erfassen der Zusammensetzung von Gasen	402
9.6.2.	Erfassen der Zusammensetzung von Flüssigkeiten	403
9.6.3.	Erfassen der Zusammensetzung von Festkörpern	404
9.6.4.	Chemoelektrische Energiewandlung	405
9.7.	Myoelektrische Wandlung	405
	Literatur- und Quellenhinweise	406
10.	Verbindungs- und spezielle Konstruktionswerkstoffe der Elektrotechnik	407
10.1.	Werkstoffe für nicht lösbare Verbindungsstellen	407
10.1.1.	Mechanisch beanspruchte Verbindungen	408
10.1.1.1.	Lötverbindungen	408
10.1.1.2.	Schweißverbindungen	416
10.1.1.3.	Klebeverbindungen	420
10.1.2.	Elektrisch hochwertige Verbindungen	420
10.1.2.1.	Drahtverbindungen	421
10.1.2.2.	Flächenverbindungen	422
10.2.	Werkstoffe der Vakuumtechnik	423
10.2.1.	Hüllenwerkstoffe	423
10.2.1.1.	Glaskolben	424
10.2.1.2.	Metallkolben	425
10.2.2.	Werkstoffe für Stützelemente	426
10.2.3.	Einschmelzlegierungen	427
10.2.3.1.	Grundlagen	427
10.2.3.2.	Binäre Einschmelzlegierungen	429
10.2.3.3.	Ternäre Einschmelzlegierungen	431
10.2.4.	Elektrodenwerkstoffe	432
10.2.4.1.	Gitterelektroden	432
10.2.4.2.	Anoden	433
10.2.5.	Katodenwerkstoffe	434
10.2.5.1.	Glühemissionskatode	435
10.2.5.2.	Fotoemissionskatode	437
10.2.5.3.	Feldemissionskatode	437
10.2.5.4.	Sekundärelektronenemissions-Katode	437
10.2.6.	Dampfquellen- und Heizerwerkstoffe	438
10.2.7.	Getterwerkstoffe	439
10.3.	Werkstoffe der Verschlußtechnik	439
10.3.1.	Vergußmassen	441
10.3.2.	Verschlußwerkstoffe	441
	Literatur- und Quellenhinweise	443
	Sachwörterverzeichnis	444