

Inhaltsverzeichnis

1	Oberflächentechnologien – ein Überblick	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Überblick über Beschichtungsmethoden und ihre Anwendungen	3
1.2.1	PVD-Prozesse	5
1.2.2	CVD-Prozesse	7
1.2.3	Plasmapolymerisation	8
1.2.4	Elektrochemische Abscheidung	8
1.2.5	Chemische Abscheidung	9
1.2.6	Thermische Spritzverfahren	9
1.2.7	Auftragschweißen	11
1.2.8	Plattier-Verfahren	12
1.2.9	Abscheidung aus der metallischen Schmelze	12
1.2.10	Abscheidung von Schichten aus organischen Polymeren	13
1.2.11	Schichtdickenbereiche und Aufwachsrate	13
1.3	Überblick über die Methoden zur Modifizierung der Randschicht	13
1.4	Zur Unterscheidung: dünne Schicht – dicke Schicht	15
1.5	Zum Aufbau des Buches	16
2	Haftfestigkeit und Mikrostruktur der Schichten, Vorbehandlung der Substrate	18
2.1	Einleitung	18
2.2	Übergangs(Interface)-Zone zwischen Substrat und Schicht	19
2.2.1	Keimbildung und Schichtaufbau	19
2.2.2	Mechanischer Übergang	19
2.2.3	Monoschicht/Monoschicht-Übergang	19
2.2.4	Verbindungsübergang	20
2.2.5	Diffusionsübergang	20
2.2.6	Pseudodiffusionsübergang	21
2.3	Mikrostruktur von PVD-Kondensaten	21
2.3.1	Strukturzonen-Modelle	21
2.3.2	Einfluß des Inertgasdruckes auf die Struktur	24
2.3.3	Einfluß des Ionenbombardements auf die Struktur	24
2.4	Inkorporation von Fremdatomen	25
2.5	Innere Spannungen in der Schicht	26
2.6	Haftfestigkeit der Schicht	28
2.7	Zeitliche Änderungen der Haftfestigkeit	29
2.8	Folgerungen in bezug auf die Vorbereitung der Substrate	29
2.8.1	Glas- und Oxidkeramik-Oberflächen als Substrate	30

2.8.1.1	Vorreinigung	30
2.8.1.2	Glimmentladungsreinigung	31
2.8.1.3	Sputterreinigung	31
2.8.1.4	Möglichkeiten zur Verbesserung der Haftfestigkeit	31
2.8.2	Metalloberflächen als Substrate	32
2.8.3	Organische Polymere als Substrate	32
3	Meß- und Prüftechnik von Oberflächen und dünnen Schichten	34
3.1.	Messung der Schichtdicke und der Depositionsrate	34
3.1.1	Gravimetrische Methoden	34
3.1.1.1	Schwingquarz-Methode	35
3.1.1.2	Mikrowägung	37
3.1.1.3	Dosierte Massezufuhr	37
3.1.1.4	Quantitative Beschichtung	37
3.1.2	Optische Methoden	38
3.1.2.1	Photometer-Methode	38
3.1.2.2	Weitere optische Methoden	40
3.1.3	Direkte Meßmethoden	41
3.1.3.1	Stylus-Methode	41
3.1.3.2	Messung mit dem Licht- und dem Elektronenmikroskop	41
3.1.4	Auf der Messung elektrischer oder magnetischer Größen beruhende Methoden	41
3.1.4.1	Widerstandsmeßmethode	41
3.1.4.2	Kapazitätsmeßmethode	41
3.1.4.3	Wirbelstrommeßmethode	42
3.1.4.4	Coulometrische Meßmethode	42
3.1.4.5	Magnetische Meßmethode	42
3.1.4.6	Methode der Durchschlagsspannung	43
3.1.4.7	Ultraschall-Impulsecho-Methode	43
3.1.5	Auf Teilchen-Wechselwirkungen beruhende Methoden	43
3.1.5.1	Verdampfungsrate-Monitor und optische Emissionsspektrometrie	43
3.1.5.2	Weitere auf Wechselwirkungen beruhende Methoden	45
3.2	Analyse der chemischen Zusammensetzung	47
3.2.1	Elektronenstrahl-Mikroanalyse (EPM)	47
3.2.2	Auger-Elektronenspektroskopie (AES)	47
3.2.3	Photoelektronenspektroskopie (ESCA)	48
3.2.4	Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS)	49
3.2.5	Sekundär-Neutralteilchen-Massenspektrometrie (SNMS)	50
3.2.6	Ionen-Streuspektroskopie (ISS)	50
3.2.7	Rutherford-Rückstreuungsspektroskopie (RBS)	
	und andere Hochenergiemethoden	51
3.2.8	Zur Anwendung der Oberflächenanalytik	52
3.3	Untersuchung der mikrogeometrischen und der kristallinen Struktur	53
3.4	Untersuchung physikalischer Eigenschaften der Schichten	53
3.5	Untersuchung mechanisch-technologischer Eigenschaften	54
3.5.1	Mikrohärte	54

3.5.2	Haftfestigkeit	54
3.5.3	Reibung und Verschleiß	55
3.5.4	Eigenspannungen	55
3.6	Funktionsorientierte Prüfverfahren	55
4	Plasmen in der Oberflächentechnologie	56
4.1	Einleitung	56
4.2	Erzeugung von Niederdruckplasmen	56
4.3	Plasmakenngrößen	58
4.3.1	Trägerdichte und Ionisierungsgrad	58
4.3.2	Elektronen- und Ionentemperatur	59
4.3.3	Mittlere freie Weglänge und Wirkungsquerschnitte	60
4.3.4	Stoßfrequenzen	62
4.3.5	Beweglichkeiten und Diffusionskoeffizienten	62
4.3.6	Elektrische Leitfähigkeit	62
4.3.7	Teilchenbewegung im Magnetfeld	63
4.4	Kollektive Phänomene	64
4.4.1	Kenngrößen	64
4.4.2	Raumladungsschichten und Ströme auf Elektroden im Plasma	65
4.4.3	Bestimmung der Plasmaparameter	67
4.5	Hochfrequenzentladungen und das Prinzip des HF-Sputterns	68
4.6	Reaktionen im Plasma	70
4.6.1	Volumenreaktionen	70
4.6.2	Oberflächenreaktionen	71
4.6.2.1	Reaktionen durch Ionenbombardement	71
4.6.2.2	Reaktionen durch Elektronenbombardement	72
5	Bedampfungstechniken	73
5.1	Einleitung	73
5.2	Grundlagen des Bedampfungsprozesses	74
5.2.1	Forderungen an den Restgasdruck	74
5.2.2	Zum Vakuumsystem	75
5.2.3	Verdampfungsrate und Dampfdruck	76
5.2.4	Räumliche Verteilung der Dampfstromdichte und Verteilung der Schichtdicke auf verschiedenen Substraten	76
5.2.5	Substraträger und Schichtdickengleichmäßigkeit	78
5.2.6	Aufdampfmaterialien	80
5.2.6.1	Chemische Elemente	80
5.2.6.2	Chemische Verbindungen	80
5.2.6.3	Legierungen, Mischungen	81
5.2.7	Spezielle Verfahren zur Erzielung von Schichten definierter Zusammensetzung	81
5.2.7.1	Mehrquellenverdampfung	81
5.2.7.2	Eintiegelverdampfung mit kontinuierlicher Materialnachlieferung	82
5.2.7.3	Flash-Verdampfung	83

5.2.7.4	Reaktive Bedampfung	83
5.2.7.5	Aktivierete reaktive Bedampfung	83
5.3	Verdampfungsquellen	85
5.3.1	Widerstandsheizung	85
5.3.1.1	Direkte Widerstandsheizung	85
5.3.1.2	Indirekte Widerstandsheizung	86
5.3.2	Induktive Heizung	86
5.3.3	Elektronenstrahlverdampfer	87
5.3.3.1	Verdampfer mit Transversal-Elektronenkanone	87
5.3.3.2	Verdampfer mit Axial-Elektronenkanone	88
5.3.4	Weitere Verdampfungsverfahren	88
5.3.5	Kontinuierliche Verdampfung	89
5.4	Automatische Pumpstand- und Verdampfungssteuerungen	89
5.5	Ausführungsformen von Beschichtungsanlagen	90
5.6	Anwendungen	94
6	Sputtertechniken	95
6.1	Einleitung	95
6.2	Gesetzmäßigkeiten des Sputterprozesses	96
6.2.1	Sputtern von elementaren, polykristallinen Materialien	96
6.2.1.1	Sputterausbeute	96
6.2.1.2	Energie- und Winkelverteilung der abgestäubten Atome	99
6.2.1.3	Mechanismus des Sputterprozesses	99
6.2.2	Sputtern von Legierungen	100
6.2.3	Sputtern von Verbindungen	101
6.2.4	Reaktives Sputtern	101
6.3	Praktische Ausführung verschiedener Sputtertechniken	102
6.3.1	Planare Dioden mit Gleich- und HF-Spannung	102
6.3.2	Triodensystem mit fremderregtem Plasma	105
6.3.3	Magnetron-Sputtersysteme	105
6.3.3.1	Zylindrische Magnetrons mit elektrostatischem Plasmaeinschluß	107
6.3.3.2	Zylindrische Magnetrons mit magnetischem Plasmaeinschluß	109
6.3.3.3	Planare Magnetrons und Sputter-Gun-Magnetrons	110
6.3.3.4	Hochfrequenzbetriebene Magnetrons	110
6.3.4	Ionenstrahl-Sputtern	110
6.3.5	Sputtertargets	111
6.3.5.1	Herstellung der Targetmaterialien	111
6.3.5.2	Kühlung der Targets	112
6.3.5.3	Mit planaren Magnetrons erzielbare Depositionsraten	114
6.3.6	Sputteranlagen	115
6.3.7	Anwendungen der Sputtertechniken	117
6.3.7.1	Anwendungen in der Elektronikindustrie	118
6.3.7.2	Optische Anwendungen	118
6.3.7.3	Reibungsarme Schichten	118
6.3.7.4	Verschleißfeste harte Schichten	120
6.3.7.5	Dekorative Schichten	120

7	Ionenplattieren	121
7.1	Einleitung	121
7.2	Mechanismus des Ionenplattierens	121
7.2.1	Beispiel eines Ionenplattierprozesses	121
7.2.2	Wirkungen des Teilchenbombardements auf die Substratoberfläche	123
7.2.3	Bildung der Interfaceschicht unter dem Einfluß des Teilchenbombardements	124
7.2.4	Einflüsse des Teilchenbombardements auf die Struktur und andere Eigenschaften der Schichten	124
7.2.5	Reaktives Ionenplattieren (RIP)	126
7.3	Ausführungsformen von Ionenplattier-Anlagen	126
7.3.1	Ionenplattieren mit DC-Glimmentladung	127
7.3.2	Ionenplattieren im Hochvakuum mit separater Ionenquelle	128
7.3.3	Ionenplattieren mit HF-Entladung	128
7.3.4	Ionenplattieren mit Plasmastrom	129
7.3.5	Ionenplattieren mit Triodenanordnung	130
7.3.6	Ionenplattieren mit elektronenstrahl-induziertem Plasma	131
7.3.7	Ionenplattieren mit Magnetron-Sputtertarget	132
7.3.8	Ionenplattieren mit Hohlkathoden-Bogenentladung	133
7.3.9	Ionenplattieren mit Niedervolt-Bogenentladung	134
7.3.10	Ionenplattieren mit thermischem Bogen (Arc-Verdampfung)	135
7.3.11	Ionenplattieren mit Ionen-Cluster-Strahl	136
7.4	Anwendungen des Ionenplattierens	137
7.4.1	Verschleißschutzschichten auf Werkzeugen und Bauteilen	137
7.4.2	Minderung der Reibung von Metalloberflächen	140
7.4.3	Fügetechnik (Bonding)	141
7.4.4	Korrosionsschutz	141
7.4.5	Anwendungen in der Elektronik	141
7.4.6	Optische Schichten	142
7.4.7	Dekorative, goldfarbene TiN-Schichten	142
8	Chemische Abscheidung aus der Gasphase: CVD-Verfahren	143
8.1	Das CVD-Verfahren	143
8.2	Theoretische Grundlagen	145
8.3	CVD-Reaktoren	146
8.4	Eigenschaften der CVD-Schichten	148
8.4.1	Interface-Zone und Struktur der Schichten	148
8.4.2	Duktilität, Sprödigkeit	149
8.4.3	Haftfestigkeit	150
8.4.4	Schichtdicke, Abscheidungsrate und Gleichmäßigkeit	150
8.4.5	Reibungs- und Verschleißverhalten	150
8.5	Anwendungen von CVD-Schichten	151
8.5.1	Verschleiß-Schutzschichten	151
8.5.1.1	Beschichtete Werkzeuge aus Hartmetall	151
8.5.1.2	Beschichtete Werkzeuge aus Stahl	152
8.5.1.3	Instrumentenlager und Wälzlager	153

8.5.1.4	Weitere Beispiele für Verschleißschutzschichten	154
8.5.2	Korrosions-Schutzschichten	156
8.5.3	Spezielle Werkstoffe und Bauelemente	156
8.5.3.1	Materialien für die Halbleitertechnologie	156
8.5.3.2	Pyrolithischer Graphit	157
8.5.3.3	Pyrolithischer Kohlenstoff	157
8.5.3.4	Kompositwerkstoffe	157
8.5.3.5	Mikrokugeln und durch CVD erzeugte Bauteile	158
8.5.3.6	Oberflächen mit dendritischer Struktur für die Energietechnik	158
8.5.4	Lichtwellenleiter	158
8.5.4.1	CVD-Abscheidung auf rotierendem Substratstab, OVPO-Prozeß	160
8.5.4.2	CVD-Abscheidung auf der Stirnfläche eines Quarzstabes, VAD-Prozeß	160
8.5.4.3	CVD-Abscheidung auf der Innenfläche eines rotierenden Quarzrohres, MCVD-Prozeß	160
8.5.4.4	Varianten des MCVD-Prozesses	160
8.5.4.5	Faserziehtechnologie	161
8.5.4.6	Weitere Herstellungsverfahren von Lichtwellenleitern	161
9	Plasma-aktivierte chemische Dampfabcheidung (PACVD)	162
9.1	Einleitung	162
9.2	Physikalische und chemische Grundlagen des PACVD-Prozesses	162
9.2.1	Das Plasma beim PACVD-Prozeß	162
9.2.2	Plasmachemische Reaktionen	164
9.2.3	Schichtwachstum	165
9.3	Praktische Ausführung von PACVD-Reaktoren	168
9.4	Ergebnisse und Anwendungen	169
9.4.1	Harter amorpher Kohlenstoff (a-C:H)	169
9.4.2	Metall-Kohlenstoff-Schichten	172
9.4.3	Amorphes Silizium (a-Si)	172
9.4.3.1	Passivierung der Strukturdefekte von a-Si	172
9.4.3.2	Präparation von a-Si:H	173
9.4.3.3	Dotierung von a-Si:H	173
9.4.3.4	Mikrokristallines Silizium μ -Si:H	173
9.4.3.5	Weitere Präparationsmethoden für Si-Schichten	173
9.4.3.6	Anwendungen der a-Si:H-Technologie	175
9.4.4	Siliziumnitrid	175
9.4.5	Siliziumoxid und Siliziumoxinitrid	176
9.4.6	Siliziumcarbid	176
9.4.7	Weitere durch PACVD darstellbare Materialien	176
9.4.8	Plasmodotieren	177
10	Plasmapolymerisation	178
10.1	Merkmale der Plasmapolymerisation	178
10.2	Reaktoren	178
10.3	Monomere	179

10.4	Depositionsraten plasmapolymersierter Schichten als Funktion der Prozeßparameter	180
10.5	Anlagen für die Plasmapolymersisation	182
10.6	Anwendungen der Plasmapolymersisation	182
10.6.1	Membrantechnik	182
10.6.1.1	Inverse Osmose	182
10.6.1.2	Gastrennung	183
10.6.1.3	Diffusionsbarrieren gegen Gasabgabe und Permeation	183
10.6.2	Optische Schichten	184
10.6.2.1	Schutzschichten auf Metallspiegeln für die Solartechnik	184
10.6.2.2	Antireflexschichten auf Plexiglas (PMMA)	184
10.6.2.3	Antireflexschichten auf Fenstern von IR-Lasern	184
10.6.2.4	Lichtleiter für die integrierte Optik	185
10.6.3	Elektronik	185
10.6.3.1	Plasmapolymersierte MMA-Filme für die Elektronenstrahlolithographie	185
10.6.3.2	Schutzfilme für elektronische Bauelemente	185
10.6.3.3	Dünnschicht-Bauelemente	186
10.6.4	Kunststofftechnik	186
10.6.5	Biomedizinische Technik	186
10.6.6	Pharmazeutische Technik	186
11	Elektrochemische und chemische Verfahren zur Herstellung von Schichten	187
11.1	Überblick	187
11.2	Galvanische Abscheidung von Schichten	188
11.2.1	Abscheidung aus wässrigen Elektrolyten	188
11.2.1.1	Grundlagen	188
11.2.1.2	Die experimentellen Parameter	191
11.2.1.3	Struktur und Eigenschaften der Metallschichten	194
11.2.1.4	Zur Ausführung des galvanischen Prozesses	195
11.2.1.5	Anwendungen von galvanischen Metall- und Legierungsschichten	195
11.2.1.6	Diffusionsschichten	197
11.2.1.7	Galvanisch abgeschiedene Dispersionsschichten	198
11.2.1.8	Beschichtung durch eine Verdrängungsreaktion an der Kathode	200
11.2.2	Galvanische Abscheidung aus nichtwässrigen Elektrolyten	200
11.2.2.1	Galvanisches Aluminieren	200
11.2.2.2	Halbleitende Metallchalcogenide	201
11.2.3	Elektrolytische Abscheidung aus der Salzschnmelze	201
11.2.3.1	Zur Ausführung des Prozesses	201
11.2.3.2	Eigenschaften der Schichten	202
11.2.3.3	Anwendungen der Abscheidung aus der Salzschnmelze	203
11.2.4	Galvanoformung	203
11.3	Anodische Oxidation	204
11.3.1	Die auf Aluminium entstehende Sperrschicht	204
11.3.2	Die auf Aluminium entstehende Duplexschicht	205

11.3.3	Duplexschichten und ihre Eigenschaften	206
11.3.4	Aluminium-Hartoxid-Schichten	207
11.3.5	Anodische Oxidation weiterer Metalle	208
11.4	Elektrochemische Spezialverfahren	208
11.4.1	Elektrophorese	208
11.4.2	Elektrotauchlackierung	209
11.4.3	Elektropolieren	210
11.5	Chemische Herstellung von Schichten aus der Lösung	211
11.5.1	Chemisch-reduktive Abscheidung	211
11.5.1.1	Beschichten durch autokatalytische Reduktion (electroless plating)	211
11.5.1.2	Anwendungen des außenstromlosen, autokatalytischen Beschichtens	212
11.5.1.3	Weitere chemisch-reduktive Beschichtungsverfahren	213
11.5.2	Beschichten durch Pyrolyse-Sprühverfahren	213
11.5.3	Chemische Umwandlung von Metalloberflächen durch Chromatieren und Phosphatieren	214
12	Thermische Spritzverfahren	215
12.1	Einleitung	215
12.2	Verfahren der thermischen Spritztechnik	216
12.2.1	Flammspritzverfahren	216
12.2.2	Detonationsspritzverfahren	217
12.2.3	Lichtbogenspritzverfahren	218
12.2.4	Plasmaspritzverfahren	219
12.2.5	Vakuum-Plasmaspritzverfahren (VPS)	222
12.2.6	Weitere thermische Spritzverfahren	224
12.2.7	Substrate und ihre Vorbereitung	224
12.2.8	Werkstoffe für Spritzverfahren	225
12.3	Eigenschaften der thermisch gespritzten Schichten	226
12.3.1	Struktur der Schichten	226
12.3.2	Dichte und Porosität	228
12.3.3	Oberflächenbeschaffenheit	228
12.3.4	Haftfestigkeit und innere Spannungen	229
12.3.5	Härte und Duktilität	230
12.4	Anwendungen der thermischen Spritzverfahren	230
12.4.1	Schutzschichten gegen Verschleiß	230
12.4.2	Schutzschichten gegen Korrosion	233
12.4.3	Wärmebarrieren	234
12.4.4	Schutzschichten gegen Hochtemperaturkorrosion	235
12.4.5	Herstellung ganzer Bauteile durch Plasmaspritzen	237
12.4.6	Einlauf- und Anlaufschichten	237
12.4.7	Reparatur von Schichten und Bauteilen	239
12.4.8	Oberflächen mit besonderen Eigenschaften, hergestellt durch Plasma- und Vakuum-Plasmaspritzen	239
13	Auftragschweißen und Plattieren	242
13.1	Überblick	242
13.2	Verfahren des Auftragschweißens	243

13.2.1	Flammen-Auftragschweißen	244
13.2.2	Lichtbogen-Auftragschweißen	244
13.2.2.1	Wolfram-Inertgas (WIG)-Auftragschweißen	245
13.2.2.2	Metall-Inertgas (MIG)-Auftragschweißen	245
13.2.2.3	Metall-Aktivgas (MAG)-Auftragschweißen	245
13.2.2.4	Unter-Pulver (UP)-Auftragschweißen	245
13.2.3	Elektro-Schlacke (ES)-Auftragschweißen	246
13.2.4	Plasma-Auftragschweißen	247
13.2.4.1	Plasma-Pulver- und Plasma-MIG-Auftragschweißen	247
13.2.4.2	Plasma-Heißdraht-Auftragschweißen	248
13.2.5	Zur Auswahl des Schichtmaterials	248
13.2.6	Anwendungen des Auftragschweißens	250
13.2.6.1	Beschichten von Maschinenteilen	250
13.2.6.2	Schweißplattieren in der Halbzeugfertigung	250
13.3	Plattier-Verfahren	251
13.3.1	Gießplattieren	251
13.3.2	Walzplattieren	252
13.3.3	Sprengplattieren	252
13.3.4	Punktplattieren	253
13.3.5	Reibplattieren	254
13.3.6	Aluminothermisches Plattieren	254
14	Durch Schmelztauchen und Rascherstarrung erzeugte Metallschichten	255
14.1	Schmelztauchverfahren	255
14.1.1	Diskontinuierliches Schmelztauchverfahren	255
14.1.2	Kontinuierliches Schmelztauchverfahren	256
14.1.3	Eigenschaften und Anwendungen von Schmelztauchüberzügen auf Stahlband und Feinblech	257
14.1.3.1	Zinküberzüge	257
14.1.3.2	Aluminiumüberzüge	258
14.1.3.3	Zinnüberzüge	258
14.1.3.4	Bleiüberzüge	258
14.1.3.5	Weitere Metallüberzüge	259
14.2	Rascherstarrung aus der Schmelze (liquid quenching)	259
14.2.1	Herstellung metallischer Gläser	259
14.2.2	Eigenschaften und Anwendungen metallischer Gläser	260
14.2.3	Weitere Verfahren zur Erzeugung amorpher Metalle	261
15	Schichten aus organischen Polymeren und dispersen Systemen	262
15.1	Beschichtungsmaterialien	262
15.2	Mechanismen der Schichtbildung	262
15.3	Lösungsmittelarme Lacke	263
15.4	Anwendungen von Polymerschichten	264
15.4.1	Dekorative Schichten	264
15.4.2	Schutz vor Korrosion und Verwitterung	265

15.4.3	Reibungsarme Polymerschichten	265
15.4.4	Antistatische Polymerschichten	266
15.4.5	Elektrische Anwendungen	266
15.5	Vorbehandlung der Substrate	267
15.6	Beschichtungsverfahren	267
15.6.1	Mechanische Verfahren	267
15.6.1.1	Lackieren und Drucken	267
15.6.1.2	Siebdruck elektrischer Schaltungen	268
15.6.1.3	Tauch-, Spin- und Gießbeschichten	268
15.6.1.4	Laminieren von Polymerschichten	269
15.6.2	Thermische Verfahren	269
15.6.2.1	Extrusion aus der Schmelze	269
15.6.2.2	Fließbettbeschichten	269
15.6.3	Spritzverfahren	270
15.6.3.1	Mechanische Spritzverfahren	270
15.6.3.2	Elektrostatische Spritzverfahren	270
15.6.3.3	Thermische Spritzverfahren	271
15.6.4	Weitere Verfahren zur Herstellung polymerer Schichten	271
15.7	Anwendungen des Tauchverfahrens und des elektrostatischen Spritzens auch auf andere nichtmetallische Werkstoffe	271

Tabellenanhang

Physikalische Eigenschaften von Schichtmaterialien für verschiedene Beschichtungsprozesse und Hinweise auf Anwendungen		273
A 1	Chemische Elemente als Schichtmaterialien für PVD- und CVD-Prozesse	273
A 2	Anwendungen chemischer Elemente als Schichtmaterialien in der Elektronik, Optik und Oberflächenvergütung	275
A 3	Fluoride als Schichtmaterialien für PVD-Prozesse und Anwendungen	279
A 4	Oxide und Oxid-Verbindungen als Schichtmaterialien für PVD-, CVD- und Tauchprozesse und Anwendungen	282
A 5	Nichtoxidische Chalcogenide und einige Halbleiter als Schichtmaterialien und deren technische Anwendungen	287
A 6	Legierungen und Cermets als Schichtmaterialien für PVD-Prozesse	289
A 7	Boride als Schichtmaterialien und deren Anwendungen	290
A 8	Carbide als Schichtmaterialien und deren Anwendungen	291
A 9	Nitride als Schichtmaterialien und deren Anwendungen	292
A 10	Silicide als Schichtmaterialien und deren Anwendungen	294
Literatur		295
Sachverzeichnis		327