

Inhalt

Formelzeichen	1
1. Anwendungen und zukünftige Entwicklungen der Vakuumbeschichtungs- technik	5
2. Bedeutung der Vakuumtechnik für die Beschichtungstechnik	7
2.1. Vorbemerkungen	7
2.2. Einfluß der Restgase auf die Schichtreinheit	8
2.3. Vakuumerzeugung	10
2.4. Vakuummessung	12
2.4.1. Wärmeleitungsvakuummeter	12
2.4.2. Reibungsvakuummeter	12
2.4.3. Kaltkathoden-Ionisationsvakuummeter	13
2.4.4. Ionisations-Vakuummeter mit Glühkathode	13
2.4.5. Totaldruckmessung bei Beschichtungsprozessen	13
2.4.5.1. Konventionelle Katodenzerstäubung	13
2.4.5.2. Reaktive Katodenzerstäubung	14
2.4.5.3. Konventionelles Aufdampfen	14
2.4.5.4. Reaktives Aufdampfen	14
2.4.6. Partialdruckmessung	14
3. Aufdampfen im Hochvakuum	16
3.1. Vorbemerkungen	16
3.2. Physikalische Grundlagen	17
3.2.1. Verdampfungsprozeß	17
3.2.2. Transportphase	19
3.2.3. Kondensationsphase	21
3.3. Verdampfungsquellen	22
3.3.1. Allgemeines	22
3.3.2. Widerstandsbeheizte Verdampfungsquellen	23
3.3.3. Elektronenstrahlverdampfer	27
3.3.3.1. Überblick	27
3.3.3.2. Pierce-Kanonen	28
3.3.3.3. Einbaukanonen	29
3.3.3.4. Zum Betrieb von Elektronenstrahlkanonen	30

3.3.3.5. Tiegel und Strahlführung	31
3.3.3.6. Ratenregelung	33
3.3.3.7. Automatisierung	35
3.3.4. Sonstige Verdampfungsquellen	35
3.4. Verdampfen von verschiedenen Materialien	36
3.4.1. Verdampfen von Metallen	36
3.4.2. Verdampfen von Legierungen	36
3.4.2.1. Vorbemerkungen	36
3.4.2.2. Flash-Verdampfung	36
3.4.2.3. Simultanverdampfung	36
3.4.2.4. Springstrahlverfahren	37
3.4.2.5. Eintiegelverfahren	38
3.4.3. Verdampfen von chemischen Verbindungen	41
3.4.3.1. Vorbemerkungen	41
3.4.3.2. Verdampfen bei gleicher Zusammensetzung von Beschichtungsgut und gewünschter Schicht	41
3.4.3.3. Reaktives Aufdampfen	42
4. Plasmatechnologie	43
4.1. Einführung	43
4.2. Quasineutralität	43
4.3. Charakteristische Kenngrößen	44
4.3.1. Langmuirsche Plasmafrequenz	44
4.3.2. Debyesche Abschirmlänge	45
4.3.3. Landau-Länge, Plasmaparameter	47
4.4. Bewegung geladener Teilchen in elektromagnetischen Feldern	48
4.4.1. Maxwellsche Gleichungen	48
4.4.2. Bewegungsgleichung und Energiesatz	50
4.4.3. Larmor-Bewegung	51
4.5. Stoßbestimmte Plasmen	53
4.5.1. Geschwindigkeitsverteilung	53
4.5.2. Mittlere freie Weglänge, Stoßfrequenzen	56
4.5.3. Driftbewegung von Ladungsträgern in einem elektrischen Feld unter Berücksichtigung von Stößen	57
4.5.4. Ionisation und Rekombination	60
4.5.4.1. Ionisationsprozesse	64
4.5.4.1.1. Ionisierung durch Elektronenstöße	64
4.5.4.1.2. Ionisierung durch Ion- oder Atomstöße	65
4.5.4.1.3. Strahlungsinduzierte Ionisation	65
4.5.4.1.4. Ionisation durch Stöße zweiter Art	65
4.5.4.1.5. Kumulative Ionisation	65
4.5.4.1.6. Ionisierung durch elektrische Felder	65
4.5.4.1.7. Oberflächenionisierung	66
4.5.4.2. Neutralisationsprozesse	66

4.5.5. Das Plasma als Kontinuum	67
4.5.5.1. Thermodynamische Grundgleichungen	67
4.5.5.2. Saha-Gleichung	70
4.5.5.3. Massenerhaltungsgesetz	73
4.5.5.4. Impulserhaltung	74
4.5.5.5. Ableitung des Ohmschen Gesetzes	76
4.5.5.5.1. Vollständig ionisiertes Plasma	76
4.5.5.5.2. Teilweise ionisiertes Plasma	80
4.5.5.6. Der Energiesatz für ein Plasma	81
4.5.6. Transportvorgänge	83
4.6. Entladungsarten	88
4.6.1. Gleichstromentladungen	88
4.6.1.1. Unselbständige Gasentladungen	88
4.6.1.2. Selbständige Gasentladung	89
4.6.1.2.1. Energieverteilung der Gasionen in anomalen Glimmentladungen	92
4.6.1.2.2. Hohlkatodenentladung	94
4.6.2. Hochfrequenzentladung	96
4.7. Katodenzerstäubung	100
4.7.1. Einleitung	100
4.7.2. Zerstäubungsausbeute	101
4.7.3. Zerstäubungsmechanismus	104
4.7.3.1. Zerstäubungstheorie	104
4.7.3.2. Spikes und thermische Spikes	106
4.7.4. Zerstäubung polyatomarer Materialien	107
4.7.5. Zerstäubungsmethoden	108
4.7.5.1. Konventionelle Zerstäubungsmethoden	108
4.7.5.1.1. DC-Diodenzerstäubung	109
4.7.5.1.2. Triodenzerstäubung	112
4.7.5.1.3. HF-Zerstäubung	113
4.7.5.1.4. Bias-Zerstäubung	119
4.7.5.1.5. Reaktives Zerstäuben	120
4.7.5.2. Hochleistungskatodenzerstäubung durch Magnetronspütern	122
4.7.5.2.1. Prinzip der Magnetronkatode	122
4.7.5.2.2. Zerstäubungscharakteristika	123
4.8. Ionenplattieren	133
4.8.1. Einleitung	133
4.8.2. Energetische Aktivierung der Schicht	134
4.8.3. Verfahrenstechnik	137
4.8.4. Anlagentechnik	143
4.8.5. Entwicklungsstand	147
4.9. Plasmabehandlungsmethoden	150
4.9.1. Plasmapolymerisation	150
4.9.1.1. Einleitung	150
4.9.1.2. Physik und Chemie der Plasmapolymerisation	151
4.9.2. Plasmahärten (Glimmnitrieren)	156
4.9.2.1. Einleitung	156

4.9.2.2. Elementarprozesse beim Plasmahärten	156
4.9.3. Trockenätzen oder plasmaunterstütztes Ätzen	158
4.9.3.1. Einleitung	158
4.9.3.2. Physikalisches Ätzen	161
4.9.3.3. Chemisches Ätzen	162
4.9.3.4. Chemisch-physikalisches Ätzen	163
4.9.3.5. Trockenätzreaktorsysteme	163
4.9.3.6. Bedeutung des selektiven und anisotropen Ätzprozesses in der Halbleitertechnologie	168
4.9.3.7. Photonenunterstütztes chemisches Ätzen	174
5. Einfluß von Beschichtungsparametern auf die Gefügestruktur dünner Schichten	176
5.1. Vorbemerkungen	176
5.2. Dreizonenmodell nach Movchan und Demchishin	177
5.3. Strukturmodell für aufgestäubte Schichten nach Thornton	178
6. Chemical-Vapour-Deposition (CVD)	183
6.1. Einleitung	183
6.2. Physikalisch-chemische Grundlagen	183
6.2.1. Allgemeines	183
6.2.2. Transport der Reaktionspartner zur Reaktionszone an der Substrat- oberfläche	184
6.2.3. Reaktionsprozeß auf der Substratoberfläche	185
6.2.4. Keimbildung und Schichtwachstum	188
6.3. Anlagenkonzepte	191
6.3.1. Diskontinuierlich arbeitender Kaltwand-Reaktor (Cold-Wall-Batch-Reactor)	191
6.3.1.1. Prinzipieller Aufbau	191
6.3.1.2. Kontaminationskontrolle	193
6.3.1.3. Anwendungsgebiete	194
6.3.1.4. Vor- und Nachteile der Trommel-CVD-Systeme	194
6.3.2. Automatische, kontinuierliche CVD-Anlagen	195
6.3.2.1. Prinzipieller Aufbau	195
6.3.2.2. Konzept einer kontinuierlich arbeitenden CVD-Anlage	198
6.3.2.3. Kontamination	199
6.3.2.4. Qualitätsverbesserung der Schichteigenschaften durch die Einfüh- rung kontinuierlich arbeitender CVD-Anlagen	200
6.3.3. Niederdruck-CVD-Systeme (LP-CVD)	202
6.3.3.1. Prinzipieller Aufbau	202
6.3.3.2. Schichtparameter	203
6.3.3.3. Kontamination	205
6.3.4. Plasmaunterstützte CVD-Prozesse (PE-CVD)	205

7.	Ionenstrahlbeschichtung	207
7.1.	Einleitung	207
7.2.	Bestrahlung eines Festkörpers mit Ionen	207
	7.2.1. Elementarprozesse	207
	7.2.2. Ionenstrahltechniken	209
7.3.	Erzeugen eines Ionenstrahls	210
	7.3.1. Anforderungen an den Ionenstrahl	210
	7.3.2. Auswahl des Systems zur Erzeugung eines Ionenstrahls	211
	7.3.3. Systemkomponenten	213
	7.3.3.1. Übersicht	213
	7.3.3.2. Kaufman-Quelle	215
	7.3.3.3. Freeman-Ionenquelle	218
7.4.	Beschichten mit Ionenstrahlen	218
	7.4.1. Einfluß von Energie und Ladung der Ionen auf die Schichtbildung	218
	7.4.2. Primäre und sekundäre Ionenstrahlbeschichtung	220
	7.4.3. Anwendungsbeispiele für die Ionenstrahlbeschichtung	222
	7.4.4. Vergleich mit anderen Beschichtungsverfahren	225
	7.4.5. Trends	228
	7.4.6. Durchsatzanforderungen der Massenproduktion	230
8.	Meßtechnik	233
8.1.	Extra-Situm-Verfahren	233
	8.1.1. Optische Untersuchung mikrogeometrischer Eigenschaften	233
	8.1.1.1. Mikroskopische Methoden	233
	8.1.1.1.1. Eigenschaften und Kenngrößen des Mikroskops	233
	8.1.1.1.2. Linienbreitenmessung	237
	8.1.1.1.3. Rechnerunterstützte Auswertung von Mikroskopbildern	242
	8.1.1.1.4. Rastermikroskopie	242
	8.1.1.2. Interferometrisches Messen von Schichtdicken und Stufenhöhen	244
	8.1.1.2.1. Schichtdickenmessung	245
	8.1.1.2.2. Stufenhöhenmessung	246
	8.1.2. Rauheit von Festkörperoberflächen	248
	8.1.2.1. Begriffe und Definitionen	248
	8.1.2.2. Meßgeräte und Meßmethoden	250
	8.1.2.2.1. Mechanische Messung (Stylus-Methode)	250
	8.1.2.2.2. Lichtschnittverfahren	250
	8.1.2.2.3. Glanzmeßmethode	250
	8.1.2.2.4. Interferentielle Meßmethode	252
	8.1.2.2.5. Bestimmung von Rauheitskennwerten durch Speckle-Kontrast-Verfahren	252
	8.1.2.2.6. Oberflächenprüfung durch Streulicht	255
	8.1.2.2.7. Messung der Rauheit durch Elektronenstrahlinterferenzen	256
	8.1.2.2.8. Rastertunnelmikroskop	256
	8.1.2.2.9. Ellipsometrische Rauheitsmessung	256
	8.1.3. Ellipsometrie	257

8.1.3.1. Grundlagen	257
8.1.3.2. Meßgeräte und Meßtechnik	258
8.1.4. Untersuchungsmethoden physikalischer Eigenschaften	261
8.1.4.1. Messung der thermischen Leitfähigkeit	261
8.1.4.1.1. Allgemeines	261
8.1.4.1.2. Experimentelle Bestimmung	261
8.1.4.2. Elektrische Leitfähigkeit	262
8.1.4.2.1. Definition	262
8.1.4.2.2. Bestimmungsmethoden	262
8.1.4.3. Photoleitfähigkeit	263
8.1.4.4. Farbmetrik	268
8.1.4.4.1. Einleitung	268
8.1.4.4.2. Farbmessung	270
8.1.4.4.3. Farbmeßgeräte	273
8.1.4.5. Messung von Transmission, Reflexion, Absorption und Streuung	274
8.1.4.5.1. Allgemeines	274
8.1.4.5.2. Messung der Transmission	274
8.1.4.5.3. Messung der Reflexion	282
8.1.4.5.4. Messung des gestreuten Lichtes	283
8.1.4.5.5. Messung der Absorption	284
8.1.4.6. Messung des Kontaktwiderstandes	286
8.1.4.6.1. Allgemeines	286
8.1.4.6.2. Bestimmungsmethoden	286
8.1.4.7. Permeation	286
8.1.4.7.1. Allgemeines	286
8.1.4.7.2. Meßprinzipien	287
8.1.4.7.3. Gerätebeschreibungen	290
8.1.5. Untersuchung mechanisch-technologischer Eigenschaften	293
8.1.5.1. Mechanische Spannungen in dünnen Schichten	293
8.1.5.1.1. Allgemeines	293
8.1.5.1.2. Meßmethoden	295
8.1.5.2. Härtemessung	297
8.1.5.2.1. Allgemeines	297
8.1.5.2.2. Einflüsse von Meßbedingungen auf die Härtewerte	298
8.1.5.2.3. Prüfgeräte und ihre Anwendung	299
8.1.5.3. Haftfestigkeit	302
8.1.5.3.1. Allgemeines	302
8.1.5.3.2. Meßmethoden und Meßgeräte	303
8.1.5.4. Messung der Duktilität von Beschichtungen	307
8.1.5.4.1. Definitionen	307
8.1.5.4.2. Bestimmungsmethoden	307
8.1.5.5. Messung von Pinholedichten	308
8.1.5.5.1. Allgemeines	308
8.1.5.5.2. Meßmethoden	308
8.1.5.6. Schichtdickenmessung mit nichtoptischen Methoden	310
8.1.5.6.1. Allgemeines	310
8.1.5.6.2. Direkte Bestimmungsmethoden	310
8.1.5.6.3. Indirekte Bestimmungsmethoden	312
8.1.5.7. Korrosionsprüfung	312
8.1.6. Moderne Verfahren der Oberflächen- und Dünnschichtanalyse	314

8.1.6.1. Physikalische Grundlagen moderner Methoden der Oberflächenanalyse	314
8.1.6.1.1. Einleitung	314
8.1.6.1.2. Ionenspektroskopien	315
8.1.6.1.3. Elektronenspektroskopien	328
8.1.6.2. Anwendungen	339
8.1.6.2.1. Einleitung	339
8.1.6.2.2. Dünnfilm- und Oberflächencharakterisierung	340
8.1.6.2.3. Oberflächen-, Dünnfilm- und Volumenanalyse	343
8.1.6.2.4. Kombination mehrerer Analysemethoden	371
8.1.6.2.5. Charakterisierung von Silizidschichten	374
8.1.6.3. Laser-Mikrosonden-Massenanalyse (LAMMA)	380
8.1.6.3.1. Einleitung	380
8.1.6.3.2. Physikalische Grundlagen der laser-induzierten Massenspektrometrie	380
8.1.6.3.3. Gerätetechnisches Konzept der Lasermikrosonde	383
8.1.6.3.4. Methoden zur Quantifizierung	384
8.1.6.3.5. Experimentelle Ergebnisse anhand typischer Anwendungsbeispiele	385
8.2. In-Situ-Meßverfahren	388
8.2.1. Einleitung	388
8.2.2. Ratenmessung mittels Ionisierung	389
8.2.3. Ratenmessung durch Elektroneninduzierte Emissionsspektroskopie (EIES)	390
8.2.4. Ratenmessung mit Atomabsorptionsspektroskopie (AA)	391
8.2.5. Optische Prozeßmeßverfahren	391
8.2.5.1. Einleitung	391
8.2.5.2. Apparativer Aufbau	392
8.2.5.2.1. Allgemeines	392
8.2.5.2.2. Photometer	393
8.2.5.2.3. Spektralphotometer	394
8.2.5.2.4. Ellipsometer	394
8.2.5.3. Darstellung und Auswertung des Meßsignals	395
8.2.5.4. Theoretische Berechnung der optischen Eigenschaften dünner Schichten	399
8.2.6. Schwingquarzmeßsystem	400
9. Anwendungen dünner Schichten	403
9.1. Elektrische Widerstandsschichten	403
9.1.1. Einleitung	403
9.1.2. NiCr-Widerstandsschichten	405
9.2. Elektronik/Optoelektronik	410
9.2.1. Einleitung	410
9.2.2. Grundlagen aus der Halbleiterphysik	411
9.2.2.1. Direkte und indirekte Halbleiter	411
9.2.2.2. Homo- und Heteroübergänge	412
9.2.2.3. Generations- und Rekombinationsprozesse in Halbleitern	418

9.2.2.4. Beweglichkeit freier Ladungsträger im Halbleiter	421
9.2.2.5. Mikrostruktureffekte	421
9.2.2.6. Übergitter	423
9.2.3. Materialien	425
9.2.3.1. III-V-Verbindungshalbleiter	425
9.2.3.2. Photovoltaische Materialien	430
9.2.4. Technologien	433
9.2.4.1. Technologie des Siziliums	433
9.2.4.2. Technologie der Verbindungshalbleiter	436
9.2.5. Bauelemente	437
9.2.5.1. Lumineszenzdioden	438
9.2.5.2. Halbleiterlaser	440
9.2.5.3. Photodetektoren	446
9.2.5.4. Solarzellen	450
9.3. Dünne Schichten für die Optik	455
9.3.1. Grundlegendes über die Interferenz bei Einfach- und Mehrfach- schichten	455
9.3.1.1. Einführung	455
9.3.1.2. Reflexionsmindernde Schichten	456
9.3.1.2.1. Änderung der Reflexion eines absorptionsfreien Substrates durch Aufbringen einer dünnen Schicht	456
9.3.1.2.2. Änderung der Reflexion eines absorptionsfreien Substrates durch eine Doppelschicht	460
9.3.1.2.3. Änderung der Reflexion durch Dreifach-Schichten	463
9.3.1.3. Vielschichtsysteme mit reflexionserhöhender Wirkung	466
9.3.2. Einige wichtige Anwendungen dünner Schichten in der Optik	467
9.3.2.1. Reflexionsmindernde Schichten und Sonnenschutzschichten	467
9.3.2.1.1. Allgemeines	467
9.3.2.1.2. Sonnenschutzfilter	468
9.3.2.1.3. Reflexionsmindernde Schichten auf Brillengläsern und Linsen	471
9.3.2.2. Hochreflektierende Schichten und Filterschichten	475
9.3.2.2.1. Allgemeines	475
9.3.2.2.2. Hochreflektierende metallische Spiegel	475
9.3.2.2.3. Vielschichtsysteme aus dielektrischen Schichten	477
9.3.3. Prüfung dünner Schichten für die Optik	484
9.3.4. Aufbau und Betrieb von Anlagen zum Herstellen dünner Schichten für die Optik	488
9.3.4.1. Allgemeines zur Verfahrenstechnik zum Herstellen dünner, optisch wirksamer Schichten	488
9.3.4.2. Vergleichende Betrachtungen über Aufdampfen im Hochvakuum und Katodenzerstäubung	489
9.3.4.3. Aufdampfanlagen und Zubehör	494
9.3.4.3.1. Allgemeines	494
9.3.4.3.2. Vakuumausrüstung	494
9.3.4.3.3. Verdampfungsquellen und Substrathalter	497
9.3.4.3.4. Substratheizung	497
9.3.4.3.5. Glimmeinrichtung	498
9.3.4.3.6. Testglaswechsler	499
9.3.4.3.7. Blenden	500

9.3.4.3.8.	Weiteres Zubehör zu Aufdampfanlagen	500
9.3.4.3.9.	Schichtdickengleichmäßigkeit	502
9.3.4.4.	Katodenzerstäubungsanlagen für die Herstellung optisch wirk- samer Schichten	509
9.4.	Energieeinsparung durch beschichtetes Architekturglas	511
9.4.1.	Allgemeines	511
9.4.2.	Optische Eigenschaften von Fensterglas	512
9.4.3.	Wärmedämmschichten	513
9.4.3.1.	Grundsätzliches	513
9.4.3.2.	Unbeschichtete Einfachverglasungen	514
9.4.3.3.	Unbeschichtete Doppelverglasungen (Isolierglas)	514
9.4.3.4.	Beschichtete Doppelverglasungen (Isolierglas)	515
9.4.3.5.	Leistungsbilanz bei Isolierglas	515
9.4.4.	Sonnenschutzschichten	516
9.4.4.1.	Grundsätzliches	516
9.4.4.2.	Beispiele	517
9.4.5.	Schichtsysteme und Schichteigenschaften	518
9.4.5.1.	Allgemeines	518
9.4.5.2.	Wärmedämmschichten ohne wesentliche Sonnenschutzwirkung	519
9.4.5.2.1.	Einfachschichten	519
9.4.5.2.2.	Schichtsysteme	520
9.4.5.3.	Schichten mit Wärmedämm- und Sonnenschutzwirkung	521
9.4.5.4.	Sonnenschutzschichten ohne wesentliche Wärmedämmwirkung	522
9.4.6.	Beschichtungstechnologien	523
9.4.6.1.	Chemische Beschichtungsverfahren	523
9.4.6.2.	Beschichten durch Aufdampfen im Hochvakuum	523
9.4.6.3.	Beschichten durch Katodenzerstäubung	525
9.4.6.3.1.	Allgemeines	525
9.4.6.3.2.	Einkammeranlagen	525
9.4.6.3.3.	Zweikammeranlagen	527
9.4.6.3.4.	Mehrkammerdurchlaufanlagen	527
9.4.7.	Zusammenfassende Bemerkungen	530
9.5.	Tribologie	531
9.5.1.	Allgemeines	531
9.5.2.	Verschleißmechanismen	532
9.5.3.	Verschleißprüfung durch direkte und indirekte Meßmethoden	533
9.5.4.	Verschleißminderung durch Oberflächenbeschichtung	534
9.5.5.	Bevorzugte Beschichtungsmethoden für tribologisch beanspruchte Schichten	540
9.5.5.1.	Allgemeines	540
9.5.5.2.	CVD-Verfahren	540
9.5.5.3.	PVD-Verfahren	543
9.5.6.	Anwendungen	546
9.5.6.1.	Dekorative abriebfeste Schichten	546
9.5.6.2.	Verschleißminderung bei Werkzeugen	549
9.5.6.2.1.	Allgemeines	549
9.5.6.2.2.	Anwendung CVD-Verfahren	550
9.5.6.2.3.	Anwendung PVD-Verfahren	553

9.5.6.3.	Reibungsmindernde Schichten unter Gleitbeanspruchung	559
9.5.6.3.1.	Allgemeines	559
9.5.6.3.2.	Weichmetallische Schichten	559
9.5.6.4.	Reibungsmindernde Schichten bei Wälzbeanspruchung	562
9.5.6.4.1.	Allgemeines	562
9.5.6.4.2.	MoS ₂ -Schichten	562
9.5.6.5.	Hartstoffschichten auf Bauteilen	562
9.5.6.5.1.	Allgemeines	562
9.5.6.5.2.	Tribologisches Verhalten von TiN-Schichten in Flügelzellen- pumpen	563
9.6.	Beschichtung von Kunststoffformteilen	565
9.6.1.	Allgemeines	565
9.6.2.	Arbeitsgänge vor und nach dem Metallisieren von Kunststoff- formteilen	566
9.6.2.1.	Grundlackierung	566
9.6.2.2.	Schutzlackierung	566
9.6.3.	Anlagen zum Metallisieren von Kunststoffformteilen	566
9.6.4.	Anwendungen	570
9.6.4.1.	Kunststoffteile mit hohem Reflexionsvermögen im sichtbaren Spektralbereich	570
9.6.4.2.	Erzeugung verschiedener Goldtöne	571
9.6.4.3.	Erzeugung verschiedener Farbtöne	572
9.6.4.4.	Iris-Effekte (Regenbogeneffekt)	572
9.6.4.5.	Abschirmschichten	572
9.7.	Folienbeschichtung	572
9.7.1.	Problemstellungen bei der Folienbeschichtung	572
9.7.2.	Aufbau und Wirkungsweise von Folienbeschichtungsanlagen	573
9.7.2.1.	Vakuumtechnik	573
9.7.2.2.	Wickelsystem	577
9.7.2.3.	Beschichtungsmethoden	578
9.7.2.4.	Zum Prozeßablauf	583
9.7.3.	Anwendungen	587
9.7.3.1.	Kondensatorfolie	587
9.7.3.2.	Verpackungsfolie	587
9.7.3.3.	Folien für Architekturglas	588
9.7.3.4.	Photoleitende Schichten für die Herstellung von photographischen Filmen	589
9.7.3.5.	Einige zukünftige Anwendungen von beschichteten Folien	591
9.7.3.5.1.	Speicherschichten	591
9.7.3.5.2.	Transparente leitende Schichten	591
9.7.3.5.3.	Interferenzschichten auf Kunststofffolien	592
9.7.3.6.	Beschichten von Folien in Luft-zu-Luft-Anlagen	592
9.8.	Dünne Schichten zur Informationsspeicherung	593
9.8.1.	Einführung	593
9.8.2.	Magnetische Aufzeichnung	594
9.8.2.1.	Aufzeichnungs- und Wiedergabetechnik	594
9.8.2.2.	Longitudinale und vertikale Aufzeichnung in dünnen Schichten	596

9.8.2.3. Schichtsysteme für die magnetische Aufzeichnung	597
9.8.2.4. Schreib-Lese-Köpfe in Dünnschichttechnik	602
9.8.3. Magnetooptische und optische Informationsspeicherung	603
9.9. Eigenschaften und Herstellung von optisch transparenten, elektrisch leit-	
fähigen Oxidschichten	605
9.9.1. Einleitung	605
9.9.2. Schichteigenschaften	605
9.9.3. Herstellungsmethoden	607
9.10. Anwendungen der Plasmapolymersation	608
9.10.1. Einleitung	608
9.10.2. Plasmapolymere durch Elektronenbeschuß	609
9.10.3. Plasmapolymere durch Ionenbeschuß	610
9.11. Anlagen zur kontinuierlichen Beschichtung von Metallbändern, -drähten	
und -profilen	612
9.11.1. Einführung	612
9.11.2. Beschichten von Drähten	613
9.11.3. Beschichten von Blechen	615
10. Automatisierung von PVD-Anlagen	618
10.1. Vorbemerkungen	618
10.2. Begriffe und Begriffsbestimmung	618
10.2.1. Ablaufverknüpfte Steuerungen	619
10.2.2. Rechner- oder Computer-Steuerung	619
10.2.3. Sensoren und Stellglieder	620
10.2.4. Verfahrensentwicklung	621
10.3. Verfahrensanalyse – Prozeßparameter	622
10.3.1. Auswahlkriterien	622
10.3.2. Bedienung der Automaten	623
10.4. Automation von Teilsystemen	624
10.4.1. Pumpsatz-Steuerungen	624
10.4.1.1. Hochvakuumpumpsätze mit Diffusionspumpen	624
10.4.1.2. Pumpsätze mit Turbomolekularpumpen	625
10.4.1.3. Pumpsätze mit Kryopumpen	626
10.4.1.4. Steuerungsgeräte für Pumpstände	627
10.4.2. Druck- und Partialdrucksteuerung	627
10.4.2.1. Kontrolle und Analyse des Druckes vor der Beschichtung	627
10.4.2.2. Gaseinlaß und Drucksteuerung	629
10.4.2.3. Einlaß von Reaktionsgasen	629
10.4.3. Automation von Antrieben und Substrattransport	630
10.4.3.1. Substratbewegung	630
10.4.3.2. Schleusensysteme und Mehrkammer-In-line-Anlagen	630
10.4.3.3. Folientransport und Beschichtung	632
10.4.4. Regelung der Substrattemperatur	632

10.4.4.1.	Heizeinrichtungen im Vakuum	632
10.4.4.2.	Messung und Regelung der Substrattemperaturen	633
10.4.5.	Stabilisierung und Regelung von Verdampfern	633
10.4.5.1.	Widerstandsbeheizte Verdampfer	633
10.4.5.2.	Induktive Verdampfer	633
10.4.5.3.	Elektronenstrahlverdampfer	633
10.4.6.	Stabilisierung und Regelung von Sputterprozessen	634
10.4.7.	Schichtdickenkontrollen und Ratenregelung	635
10.4.7.1.	Kontrollen und Regelungen bei Aufdampfprozessen	635
10.4.7.1.1.	Schwingquarz-Meßtechnik	635
10.4.7.1.2.	Photometrische Meßmethoden	636
10.4.7.1.3.	Elektrische und andere Meßmethoden	637
10.4.7.2.	Kontrollen und Regelung von Sputterprozessen	637
10.4.7.3.	Ratenregelung bei reaktiven PVD-Prozessen	638
10.5.	Beispiele für die Automation von PVD-Prozessen	638
10.5.1.	Prozeßsteuerung mit Schwingquarzmeßtechnik	638
10.5.2.	Prozeßsteuerung für optische Mehrfachschichten	639
10.5.3.	Automatisierung von In-line-Beschichtungsanlagen	641
11.	Schrifttum	643
12.	Sachwortverzeichnis	684