

Inhalt

Vorwort	V
Zusatzmaterial	XVII
1 Die Entwicklung des Glases und der Optikfertigung	1
2 Grundlagen der Optik	11
2.1 Brechung, Reflexion und Totalreflexion	11
2.2 Polarisation, Interferenz und Beugung	12
2.3 Doppelbrechung und Pleochroismus	18
2.4 Abbildende optische Bauelemente	19
2.4.1 Transmittierende optische Bauelemente	20
2.4.2 Reflektierende optische Bauelemente	26
2.4.3 Teildurchlässige optische Bauelemente	28
2.4.4 Diffraktive optische Elemente	29
2.4.5 Sonderformen optischer Bauelemente	30
2.5 Abbildungsfehler	36
2.6 Bewertung der Abbildungsleistung eines optischen Systems	42
2.7 Kennzeichnung optischer Bauelemente	44
2.7.1 Materialangaben	45
2.7.2 Formangaben und Oberflächenformtoleranzen	46
2.7.3 Oberflächenangaben	50
2.7.4 Beschichtungen und Zerstörschwellen	53
2.7.5 Allgemeine Beschreibung von Oberflächen und Komponenten	53
2.8 Übungsaufgaben	56

3	Optische Werkstoffe	57
3.1	Einteilung der optischen Werkstoffe	57
3.2	Anorganische Gläser	59
3.2.1	Definition und Struktur	59
3.2.2	Herstellung anorganischer Gläser	59
3.2.3	Anorganische Glasarten für optische Anwendungen	62
3.2.4	Eigenschaften anorganischer Gläser	65
3.2.4.1	Mechanische Eigenschaften	66
3.2.4.2	Optische Eigenschaften	70
3.2.4.3	Chemische Eigenschaften	72
3.2.5	Auswahlparameter optischer Gläser	73
3.2.6	Lieferformen anorganischer Gläser	76
3.3	Organische Gläser	78
3.3.1	Definition und Struktur	78
3.3.2	Ausgewählte Eigenschaften	81
3.3.3	Anwendungsbereiche und Lieferformen	83
3.4	Kristallwerkstoffe	84
3.4.1	Aufbau und Struktur	84
3.4.2	Ausgewählte Eigenschaften	86
3.5	Übungsaufgaben	88
4	Grundlagen des Fertigungsprozesses	89
4.1	Entwicklungs- und Herstellungsprozess	89
4.1.1	Entwicklungsstufen	89
4.1.2	Entwicklungsablauf	91
4.2	Fertigungsarten	93
4.3	Fertigungsprinzipien	94
4.4	Einteilung der Fertigungsverfahren	96
4.5	Technologische Unterlagen	98
4.6	Simulationstechniken und Datengenerierung für den Produktentwicklungs- und Fertigungsprozess	108
4.7	Virtualisierung und Monitoring des Fertigungsprozesses	114
4.8	Übungsaufgaben	119
5	Urformen von optischem Glas	121
5.1	Urformende Verfahren für anorganische Gläser	122
5.1.1	Herstellung von Gobs und Presslingen	122

5.1.2	Herstellung von Rohgläsern	123
5.1.2.1	Glasblöcke	123
5.1.2.2	Barrengläser und optische Glasstäbe	127
5.1.3	Herstellung von Flachglas	129
5.1.3.1	Gussverfahren	129
5.1.3.2	Ziehverfahren	130
5.1.3.3	Floatverfahren	131
5.1.3.4	Dünnglas und Glasfolien	133
5.1.4	Herstellung von Quarzglas	135
5.1.5	Ausgewählte Glasfehler/Materialunvollkommenheiten	137
5.1.6	Angabe der Materialeigenschaften	141
5.2	Urformende Verfahren für organische Gläser	143
5.2.1	Gießen	144
5.2.1.1	Reaktionsgießen	145
5.2.1.2	Vakuumgießen	145
5.2.2	Spritzgießen	149
5.2.2.1	Mikrospritzgießen	160
5.2.2.2	Mehrkomponentenspritzguss	163
5.2.3	Heißprägen	164
5.2.3.1	Werkzeugherstellung	165
5.2.3.2	Heißprägeprozess	167
5.2.4	Spritzprägen	170
5.2.5	Übungsaufgaben	173
5.3	Urformende Verfahren für Kristallwerkstoffe	174
5.3.1	Züchtung aus der Gasphase	175
5.3.2	Kristallzüchtung aus der Lösung	176
5.3.3	Züchtung aus der Schmelze	178
5.3.4	Übungsaufgaben	184
5.4	Urformen mittels additiver Verfahren	185
5.4.1	Verfahrensgrundlagen	186
5.4.2	Verfahrenseinteilung mit Bezug zu Anwendungsbereichen der optischen Technologien	187
5.4.3	Additive Verfahren für die Verarbeitung von Kunststoffen	188
5.4.4	Additive Verfahren für die Verarbeitung von metallischen Werkstoffen	201
5.4.5	Additive Verfahren für die Verarbeitung von anorganischen Gläsern	204
5.4.6	Additive Verfahren für die Verarbeitung von keramischen Werkstoffen	208

6	Umformen von optischem Glas	213
6.1	Grundlagen	214
6.2	Pressen	220
6.2.1	Gläser für das Pressen	220
6.2.2	Werkzeugform – Herstellung und Anforderungen	222
6.2.3	Pressverfahren	225
6.2.3.1	Nicht-isothermisches Blankpressen	225
6.2.3.2	Isothermisches Präzisionsblankpressen	229
6.2.4	Anwendungsgebiete	231
6.3	Senken	234
6.3.1	Schwerkraftsenken	235
6.3.2	Senken mit Vakuumunterstützung	237
6.3.3	Laserstrahlunterstütztes Senken	238
6.3.4	Hybrides Senkverfahren	242
6.4	Ziehen	243
6.4.1	Preformherstellung	243
6.4.2	Glasfaserziehen	246
6.5	Übungsaufgaben	249
7	Trennen	251
7.1	Zerteilen	252
7.1.1	Mechanisches Brechen	252
7.1.2	Sonderverfahren zum Zurichten	260
7.1.2.1	Mechanisches Trennen durch Sägen	260
7.1.2.2	Thermisches Laserstrahlseparieren	263
7.1.2.3	Wasserstrahlabrasivschneiden	264
7.2	Schleifen	268
7.2.1	Verfahrensgrundlagen	269
7.2.1.1	Wechselwirkungen im oberflächennahen Bereich	270
7.2.1.2	Kinematische Verhältnisse und Arbeitsparameter	275
7.2.2	Werkzeuge und Maschinen	284
7.2.2.1	Werkzeuge	284
7.2.2.2	Schleifmaschinen	288
7.2.2.3	Schleifmaschinen mit Ultraschallunterstützung	291
7.2.3	Schleifverfahren	293
7.2.3.1	Trennschleifen	293
7.2.3.2	Formschleifen	298

	7.2.3.3	Rundschleifen (Rundieren)	298
	7.2.3.4	Flachschleifen	300
	7.2.3.5	Schleifen sphärischer Flächen	303
	7.2.3.6	Schleifen asphärischer Flächen	312
	7.2.3.7	Schleifen von Freiformflächen	317
	7.2.3.8	Schleifen monolithischer und multifunktionaler Bauelemente	323
	7.2.3.9	Schleifverfahren – Sonderverfahren	326
	7.2.4	Übungsaufgaben	330
7.3		Bohren	331
	7.3.1	Übungsaufgaben	341
7.4		Läppen	341
	7.4.1	Verfahrensgrundlagen	343
	7.4.2	Maschinen und Werkzeuge	346
	7.4.3	Betriebs- und Hilfsstoffe für das Läppen	347
	7.4.4	Einflussgrößen	349
	7.4.5	Läppverfahren	351
	7.4.5.1	Planläppen	351
	7.4.5.2	Läppen sphärischer Flächen	354
	7.4.5.3	Feinschleifen mit Läppkinematik	357
	7.4.5.4	Ultraschallschwingläppen	358
	7.4.5.5	Leistung und Genauigkeit	359
	7.4.6	Übungsaufgaben	363
7.5		Polieren	364
	7.5.1	Verfahrensgrundlagen	365
	7.5.2	Maschinen und Werkzeuge	376
	7.5.3	Betriebs- und Hilfsstoffe für das Polieren	380
	7.5.4	Einflussgrößen	383
	7.5.5	Poliervverfahren	385
	7.5.5.1	Polieren mit flächenförmigem Werkzeugeingriff	386
	7.5.5.2	Polieren mit punkt- oder linienförmigem Werkzeugeingriff (zonale Politur)	401
	7.5.5.3	Interferometrische Prüfung von Asphärenoberflächen mittels computergenerierter Hologramme	413
	7.5.6	Korrekturverfahren	416
	7.5.6.1	CCP-Verfahren	416
	7.5.6.2	IBF – Ion Beam Figuring (Ionenstrahlbearbeitung)	419
	7.5.6.3	Spezialverfahren	428

7.5.7	Leistung und Genauigkeit	442
7.5.8	Übungsaufgaben	447
7.6	Zentrieren	448
7.6.1	Zentrierverfahren	451
7.6.1.1	Steckzentrieren	451
7.6.1.2	Spannzentrieren	451
7.6.2	Zentriermaschinen und Werkzeuge	453
7.6.3	Bearbeitungsprozess	456
7.6.4	Übungsaufgaben	457
7.7	Ultrapräzisionszerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide	458
7.7.1	Verfahrensgrundlagen	459
7.7.2	Verfahrenseinteilung	466
7.7.3	Drehverfahren	467
7.7.3.1	Drehen rotationssymmetrischer Geometrien	468
7.7.3.2	Drehen nichtrotationssymmetrischer Geometrien	473
7.7.4	Fräsen	474
7.7.5	Ausgewählte Verfahrensvarianten der UP-Bearbeitung	478
7.7.6	Leistung und Genauigkeit	482
7.7.7	Übungsaufgaben	485
7.8	Strukturieren und Abtragen	486
7.8.1	Abtragen	487
7.8.2	Fotolithografisches Strukturieren	491
7.8.3	Strukturieren aufgetragener Metall- und Lackschichten	495
7.8.4	Partieller Schichtauftrag	496
7.8.5	Übungsaufgaben	497
7.9	Reinigen	498
7.9.1	Manuelles Reinigen	499
7.9.2	Maschinelles Reinigen	501
7.9.3	Strahlreinigung	504
7.9.4	Ausheizen	504
7.9.5	Reinigungsfehler	505
7.9.6	Übungsaufgaben	506
8	Beschichten	507
8.1	Schutzschichten	508
8.1.1	Lackieren	508
8.1.2	Oberflächenhärtung	510

8.2	Optische Schichten	512
8.2.1	Schichtarten	513
8.2.2	Schichtherstellung	514
8.2.2.1	Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD)	515
8.2.2.2	Optisches Monitoring	522
8.2.2.3	Chemische Gasphasenabscheidung (CVD)	523
8.2.2.4	Nasschemische Verfahren	525
8.2.3	Anwendungen	527
8.2.3.1	Entspiegelungsschichten	527
8.2.3.2	Vorder- und Oberflächenspiegelschichten	531
8.2.3.3	Teilerspiegelschichten	533
8.2.3.4	Kaltlichtspiegelschichten	534
8.2.3.5	Elektrisch leitfähige Schichten	534
8.2.4	Schichtcharakterisierung	535
8.3	Übungsaufgaben	538
9	Stoffeigenschaftsändern	539
9.1	Entspannungskühlen	539
9.2	Verfestigen	542
9.3	Altern	548
9.4	Färben	548
9.5	Fototrope Gläser	550
9.6	Übungsaufgaben	551
10	Fügen	553
10.1	Fügen im technologischen Prozess	554
10.1.1	Blocken	555
10.1.2	Kitten	556
10.1.2.1	Provisorisches Kitten	557
10.1.2.2	Reguläres Kitten	559
10.1.2.3	Block- und Streifenkittung	562
10.1.2.4	Kitten von prismatischen Teilen	563
10.1.2.5	Kittwerkstoffe	564
10.1.3	Kleben	566
10.1.4	Gipsen	566
10.1.5	Ansprengen	567
10.1.6	Spannen	572
10.1.6.1	Mechanisches Spannen	572
10.1.6.2	Pneumatisches Spannen	574

10.2	Fügen von optischen Bauelementen/Montageprozess	576
10.2.1	Zentrieren, Richten, Justieren	577
10.2.2	Feinkitten	586
10.2.3	Kleben	588
10.2.4	Löten	594
10.2.5	Versprengen	597
10.2.6	Fassen von Optiken	598
10.2.6.1	Fassen von Rundoptiken	598
10.2.6.2	Fassen von Prismen	603
10.2.7	Diffusionsschweißen	604
10.2.8	Endmontage	607
10.2.8.1	Optische Baugruppen	608
10.2.8.2	Montageverfahren	611
10.2.9	Mikromontage	617
10.3	Übungsaufgaben	623
11	Ausgewählte Fertigungstechnologien	625
11.1	Prismenfertigung	625
11.2	Dachkantelemente	630
11.3	Tripelspiegel	636
11.3.1	Prinzip des Strahlengangs einer Tripelspiegelanordnung	637
11.3.2	Designanforderungen an einen Tripelspiegel	638
11.3.2.1	Randscharfe Kantenübergänge	638
11.3.2.2	Winkelfehler der optischen Flächen	640
11.3.3	Fertigung eines Tripelspiegels	643
11.4	Messung von Winkelabweichungen	645
11.5	Linsenfertigung	648
11.5.1	Linsenfertigung mit CNC-Technik	648
11.5.2	Messung des Linsenradius	650
11.5.3	LED-Lupenfertigung	650
11.5.3.1	Konstruktive Lösung	651
11.5.3.2	Fertigung der Linsen	652
11.5.3.3	Optoelektronische Komponenten	655
11.6	Fertigung asphärischer Bauteile	657
11.7	Fertigung eines Gleitsichtbrillenglases	669
11.8	Stablinsen	673
11.9	Axicon	677

11.10	Freiformoptik	683
11.10.1	Herstellung freiformoptischer Bauelemente durch Schleifen und Polieren	684
11.10.2	Herstellung freiformoptischer Bauelemente durch UP-Bearbeitung und Abformung	688
11.10.3	Charakterisierung von freiformoptischen Bauelementen	690
11.11	Montage eines Flucht- und Autokollimationsfernrohrs	692
11.11.1	Anwendungsbereich	692
11.11.2	Aufbau und Funktion	693
11.11.3	Montage und Anordnung der Systemeinheiten	694
11.12	Montage eines Objektivs	696
11.12.1	Fügen der Einzellinsen und Kittglieder	697
11.12.1.1	Gerichtetes Kleben (Richtkitten)	697
11.12.1.2	Ungerichtetes Kleben	699
11.12.2	Justierdrehen	700
11.12.3	Teilmontage	701
11.12.4	Endmontage	702
11.13	Übungsaufgaben	704
12	Auslegung und Optimierung von Fertigungsprozessen	707
12.1	Systemtolerierung	707
12.1.1	Toleranzanalyse	710
12.1.2	Temperaturanalyse (Thermal Expansion)	718
12.1.3	Ghost-Images- und Streulichtanalysen	721
12.2	Optikfertigungsdesign	721
12.3	Prozessoptimierung in der Produktion	725
12.4	Design optischer Vielschichtstrukturen	730
	Literaturverzeichnis	739
	Index	761