

Inhaltsverzeichnis

PG

1.	Physikalische Grundlagen	15
1.1.	<i>Licht als elektromagnetische Welle</i>	15
1.2.	<i>Erzeugung elektromagnetischer Strahlung</i>	17
1.2.1.	Grundlagen	17
1.2.2.	Konventionelle Lichtquellen	21
1.2.3.	Der Laser als Lichtquelle	23

DL

2.	Der Laser	27
2.1.	<i>Theoretische Grundlagen</i>	27
2.1.1.	Einführung	27
2.1.2.	Übergangswahrscheinlichkeiten	28
2.1.3.	Bilanzgleichungen	29
2.1.4.	Strahlungseigenschaften	33
2.1.4.1.	Linienbreite und Linienform	33
2.1.4.2.	Strahlungseigenschaften des idealen Lasers	37
2.1.4.3.	Kopplung von Eigenschwingungen (mode locking)	39
2.2.	<i>Erzeugung einer Besetzungsinversion</i>	39
2.3.	<i>Optische Resonatoren</i>	42
2.3.1.	Einführung	42
2.3.2.	Resonator mit ebenen kreisförmigen Spiegeln	44
2.3.3.	Stabile Resonatoren mit kreisförmigen Spiegeln	48
2.3.4.	Instabiler Resonator mit konfokalem Spiegelsystem	54
2.3.5.	Modenselektion in optischen Resonatoren	55
2.3.5.1.	Selektion von Longitudinalmoden	55
2.3.5.2.	Selektion der TEM ₀₀ -Transversalmode	57
2.3.6.	Experimentelle Technik der Resonatoren	57
2.4.	<i>Schwellenbedingung für den Laserbetrieb</i>	58
2.5.	<i>Festkörperlaser</i>	60
2.5.1.	Einführung	60
2.5.2.	Physikalische Grundlagen	61
2.5.2.1.	Aktive Medien	61
2.5.2.2.	Anregung	61
2.5.3.	Rubinlaser	70
2.5.4.	Neodym-Glaslaser	73
2.5.5.	Neodym-YAG-Laser	75
2.5.6.	Hochleistungs-Festkörperlaser	78
2.5.7.	Miniatur-Festkörperlaser	78
2.5.8.	Strahlungseigenschaften des Festkörperlaser	79
2.6.	<i>Gaslaser</i>	82
2.6.1.	Einführung	82

2.6.2.	Physikalische Grundlagen	83
2.6.2.1.	Aktive Medien	83
2.6.2.2.	Anregung	87
2.6.2.3.	Aufbau	88
2.6.3.	Gaslaser im ultravioletten Spektralbereich	89
2.6.3.1.	Überblick	89
2.6.3.2.	Wasserstofflaser (H_2 -Laser)	91
2.6.3.3.	Stickstofflaser (N_2 -Laser)	92
2.6.3.4.	Excimerlaser	93
2.6.3.5.	Helium-Cadmium-Laser (He-Cd-Laser)	96
2.6.4.	Gaslaser im sichtbaren Spektralbereich	96
2.6.4.1.	Überblick	96
2.6.4.2.	Helium-Neon-Laser (He-Ne-Laser)	98
2.6.4.3.	Edelgasionenlaser	101
2.6.4.4.	Metалldampflaser	106
2.6.5.	Gaslaser im infraroten Spektralbereich	107
2.6.5.1.	Überblick	107
2.6.5.2.	Kohlenmonoxidlaser (CO-Laser)	109
2.6.5.3.	Kohlendioxidlaser (CO_2 -Laser)	111
2.6.5.4.	Laser im fernen Infrarot (FIR-Laser)	118
2.6.6.	Strahlungseigenschaften von Gaslasern	121
2.7.	<i>Halbleiterlaser</i>	122
2.7.1.	Einführung	122
2.7.2.	Physikalische Grundlagen	126
2.7.2.1.	Aktive Medien	126
2.7.2.2.	Anregung	127
2.7.2.3.	Aufbau	129
2.7.2.4.	Herstellung von pn-Übergängen	131
2.7.2.5.	Spezielle Laserstrukturen	131
2.7.3.	GaAs-Injektionslaser	142
2.7.3.1.	$Al_xGa_{1-x}As$ /GaAs-Injektionslaser	143
2.7.3.2.	$Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}$ /InP-Injektionslaser	145
2.7.3.3.	$Al_xGa_{1-x}As_ySb_{1-y}$ /GaSb-Injektionslaser	146
2.7.4.	PbSnTe-Laser	147
2.7.5.	Strahlungseigenschaften des Injektionslasers	148
2.8.	<i>Farbstofflaser</i>	151
2.8.1.	Einführung	151
2.8.2.	Physikalische Grundlagen	151
2.8.2.1.	Aktive Medien	151
2.8.2.2.	Anregung	154
2.8.3.	Anregungsanordnungen	155
2.8.3.1.	cw-Farbstofflaser	155
2.8.3.2.	Blitzlampen-Farbstofflaser	157
2.8.3.3.	Nanosekunden-Farbstofflaser	159
2.8.4.	Strahlungseigenschaften des Farbstofflasers	160
2.9.	<i>Weitere Lasertypen</i>	165
2.9.1.	Farbzentrenlaser	165
2.9.2.	Laser an freien Elektronen	166
2.9.3.	Rekombinationslaser	168
2.9.4.	Chemische Laser	171
2.10.	<i>Besondere Laseranordnungen</i>	174
2.10.1.	Gütegesteuerter Laser	174

2.10.2.	Erzeugung ultrakurzer Lichtimpulse	177
2.10.3.	Frequenzstabilisierte Laser	178
2.11.	<i>Optische Elemente in Lasersystemen</i>	180
2.11.1.	Kenngößen optischer Medien	180
2.11.2.	GAUSS-Bündel	182
2.11.3.	Optische Aktivität (FARADAY-Effekt)	184
2.11.4.	Optisch einachsige Kristallplatten	185
2.11.5.	Beugungsgitter zur Wellenlängendiskriminierung	189

LP

3.	Anwendungen der Laser in Physik, Chemie, Biologie und Medizin	190
3.1.	<i>Einführung</i>	190
3.2.	<i>Nichtlineare Optik</i>	191
3.2.1.	Einführung	191
3.2.2.	Nichtlineare Suszeptibilitäten	196
3.2.2.1.	Einfluß der räumlichen Symmetrie	196
3.2.2.2.	Effektive quadratische Nichtlinearitäten	198
3.2.3.	Parametrische Prozesse	201
3.2.3.1.	Methoden der Phasenanpassung	201
3.2.3.2.	Erzeugung der zweiten Harmonischen	203
3.2.3.3.	Erzeugung von Summen- und Differenzfrequenzen	206
3.2.3.4.	Parametrische Fluoreszenz, Verstärkung und Oszillation	208
3.2.3.5.	Erzeugung der dritten Harmonischen und höherer Harmonischer	212
3.2.3.6.	Vierwellenmischung	214
3.2.4.	Streuprozesse	214
3.2.5.	Intensitätsabhängige Brechzahl	218
3.2.6.	Zweiphotonenabsorption	220
3.2.7.	Nichtlineare optische Effekte unter speziellen Bedingungen	221
3.2.7.1.	Nichtlineare optische Effekte in dielektrischen Wellenleitern	221
3.2.7.2.	Nichtlineare optische Effekte an Oberflächen	223
3.2.8.	Neue Funktionselemente auf der Grundlage von Effekten der NLO	224
3.2.8.1.	Optische bistabile Elemente	224
3.2.8.2.	Phasenkonjugation	225
3.3.	<i>Laserspektroskopie</i>	227
3.3.1.	Einführung	227
3.3.2.	Lineare Laser-Absorptionsspektroskopie	227
3.3.3.	Hochauflösende Spektroskopie innerhalb der DOPPLER-Breite	231
3.3.4.	RAMAN-Spektroskopie	234
3.3.5.	Ultrakurzzeit-Spektroskopie	237
3.3.6.	Spezielle Laseranwendungen in der Analytik	240
3.4.	<i>Laserfotochemie</i>	241
3.4.1.	Einführung	241
3.4.2.	Laser in der Fotochemie	242
3.4.3.	Infrarot-Laserfotochemie	244
3.4.3.1.	Absorption und Relaxation der Moleküle	244
3.4.3.2.	Ein- und Mehrstufenprozesse	245
3.4.3.3.	Multiphotonenabsorption	247
3.4.4.	Fotochemie mit Lasern im sichtbaren und ultravioletten Spektralbereich	249
3.4.5.	Anwendungen	252
3.4.5.1.	Isotopenanreicherung mit Laserstrahlen	252

3.4.5.2.	Laserfotochemische Prozesse in der Mikroelektronik	255
3.4.5.3.	Stoffreinigung	259
3.4.5.4.	Selektive Laserbiochemie	259
3.4.5.5.	Nachweismethoden	259
3.4.6.	Ausblick	260
3.5.	<i>Anwendungen der Laser in Biologie und Medizin</i>	260
3.5.1.	Einführung	260
3.5.2.	Lasereinsatz in der biologisch-medizinischen Grundlagenforschung und in der medizinischen Diagnostik	261
3.5.2.1.	Spektroskopische Methoden in der chemischen und biologisch-medizinischen Forschung	261
3.5.2.2.	Spektraluntersuchungen in der klinischen Biochemie	265
3.5.2.3.	Spezielle Methoden der Diagnostik mit Lasern	266
3.5.3.	Lasereinsatz in der medizinischen Therapie	267
3.5.3.1.	Einführung	267
3.5.3.2.	Thermische Laserchirurgie	268
3.5.3.3.	Nichtthermische Lasermikrochirurgie	274
3.5.3.4.	Fotochemotherapie von Tumoren	275
3.5.3.5.	Sicherheitstechnische Aspekte	276
3.5.3.6.	Ausblick	276
3.6.	<i>Lasergesteuerte Kernfusion</i>	277
3.6.1.	Einführung	277
3.6.2.	Prinzip der lasergesteuerten Kernfusion und Anforderungen an das Lasersystem	278
3.6.3.	Wechselwirkung Laserstrahlung – Plasma	280
3.6.4.	Ausblick	282

LT

4.	Anwendungen der Laser in der Technik	284
4.1.	<i>Materialbearbeitung</i>	284
4.1.1.	Einführung	284
4.1.2.	Wechselwirkung Laserstrahlung – Werkstoff	286
4.1.3.	Laser für die Materialbearbeitung	290
4.1.4.	Schweißen mit Lasern	297
4.1.5.	Trennen und Bohren mit Lasern	305
4.1.5.1.	Abtragende Bearbeitung mit gepulster Laserstrahlung	305
4.1.5.2.	Trennen mit kontinuierlicher Laserstrahlung	308
4.1.6.	Spezielle Technologien	313
4.1.6.1.	Laserbearbeitung dünner Metallschichten	313
4.1.6.2.	Bearbeitung von Halbleitern	315
4.1.6.3.	Wärmebehandeln (Härten)	316
4.1.6.4.	Umschmelzveredeln	317
4.1.6.5.	Gravieren und Beschriften	320
4.1.6.6.	Ausblick	320
4.2.	<i>Metrologie</i>	321
4.2.1.	Fluchtung und Steuerung	321
4.2.1.1.	Aufbau der Lasergeräte (Baulaser)	323
4.2.1.2.	Lasernivelliere	330
4.2.1.3.	Lasertheodolite	331
4.2.1.4.	Rotations- und Lotlaser	333

4.2.1.5.	Empfänger zur Laserstrahlortung	337
4.2.1.6.	Anwendungsgebiete	339
4.2.2.	Längenmessung	357
4.2.2.1.	Meterdefinition und ihre Realisierung	358
4.2.2.2.	Nationale Normale der Maßeinheit der Länge	360
4.2.2.3.	Industrielle Laserinterferometer	362
4.2.2.4.	Hochauflösende Laserinterferometer	363
4.2.2.5.	Modulation der Laserstrahlung	363
4.2.2.6.	Laufzeitmessung von Lichtsignalen	367
4.2.2.7.	Beugung	368
4.2.2.8.	Abtastverfahren	369
4.2.3.	Geschwindigkeitsmessung	370
4.2.3.1.	Messung von Winkelgeschwindigkeiten	370
4.2.3.2.	Messung translatorischer Geschwindigkeiten	372
4.3.	<i>Optische Informationsübertragung</i>	375
4.3.1.	Einführung	375
4.3.2.	Übertragungsmedien	376
4.3.2.1.	Übertragung durch die Erdatmosphäre	376
4.3.2.2.	Linsenleiter	378
4.3.2.3.	Optische Wellenleiter	379
4.3.3.	Sendelichtquellen	384
4.3.4.	Modulation	387
4.3.5.	Empfänger	388
4.3.6.	Repeater	389
4.3.7.	Übertragungssysteme	390
4.4.	<i>Holografie</i>	396
4.4.1.	Grundlagen	396
4.4.2.	Hologrammtypen	399
4.4.3.	Anwendungen	400
4.4.3.1.	Hologramminterferometrie	400
4.4.3.2.	Holografisch-optische Speicherung	403
4.4.3.3.	Optische Informationsverarbeitung	405
4.5.	<i>Weitere Anwendungen</i>	406
4.5.1.	Digital-optische Speicherung	406
4.5.1.1.	Notwendigkeit einer digital-optischen Speicherung von Informationen	406
4.5.1.2.	Read-only-Verfahren	406
4.5.1.3.	Optischer Lesekopf zum Auslesen von Audioplatten	408
4.5.1.4.	Write-once-Verfahren	410
4.5.1.5.	Digital-optische Einspeicherung von Informationen in magneto-optische Schichten	411
4.5.2.	Faseroptische Sensoren	412
4.5.3.	Pikosekunden-Optoelektronik	414
4.5.4.	Integrierte Optik	416
4.5.4.1.	Einführung	416
4.5.4.2.	Lichtausbreitung in ebenen dielektrischen Wellenleitern	417
4.5.4.3.	Elemente in wellenleitenden Strukturen	420
4.5.4.4.	Beispiele für realisierte Systeme	422
4.5.4.5.	Materialien und Herstellungsverfahren	425
4.5.4.6.	Ausblick	427
4.5.5.	Laserdrucker	427
4.5.6.	Laser in der Rechentechnik	428

4.5.7.	Laser in der Fotografie	429
4.5.8.	Laser zur Abtastung und Identifikation	429
4.5.9.	Laser als Meßmittel	430

AL

5.	Arbeitsschutz bei Laserarbeiten	431
5.1.	<i>Gefährdungen bei Laserarbeiten</i>	431
5.1.1.	Laserspezifische Gefährdungen	431
5.1.1.1.	Gefährdungen des Auges	432
5.1.1.2.	Gefährdungen der Haut	434
5.1.2.	Laserunspezifische Gefährdungen	435
5.2.	<i>Schutzmaßnahmen</i>	435
5.2.1.	Begriffsbestimmungen	436
5.2.2.	Klassifikation von Lasergeräten	438
5.2.3.	Grenzwerte für die Exposition durch Laserstrahlung	441
5.2.4.	Quantitative Betrachtung konkreter Betriebsbedingungen	444
5.2.5.	Spezielle Maßnahmen für den Augenschutz	447
5.2.6.	Allgemeine Schutzmaßnahmen	451

NS

6.	Nachweis elektromagnetischer Strahlung	455
6.1.	<i>Grundlagen und Begriffe</i>	455
6.1.1.	Strahlungsgrößen	455
6.1.2.	Kennzeichnung der Strahlungsquellen	458
6.1.3.	Strahlungsarten	459
6.2.	<i>Nachweismethoden</i>	459
6.2.1.	Kalorimetrische Nachweismethoden	459
6.2.2.	Fotoelektrische Nachweismethoden	462
6.2.3.	Fotochemische Nachweismethoden	462
6.2.4.	Nichtlineare optische Effekte (NLO-Effekte)	464
6.3.	<i>Eigenschaften und Kenngrößen der Strahlungsempfänger</i>	464
6.4.	<i>Empfänger und Meßtechniken für den Nachweis von cw- und Impulsstrahlung</i>	469
6.4.1.	Thermische und IR-Fotoempfänger	469
6.4.2.	Detektoren mit äußerem Fotoeffekt	474
6.4.3.	Meßtechniken hoher Zeitauflösung	481
6.4.4.	Meßtechniken hoher Nachweisempfindlichkeit	485
6.5.	<i>Bilderfassender Nachweis</i>	487
6.5.1.	Bildaufnahmeröhren	487
6.5.2.	Festkörper-Bildempfänger	490
6.5.3.	Optische Vielkanalanalyse (OVA)	491

Lv

Literaturverzeichnis	493
----------------------------	-----

Sv

Sachwortverzeichnis	521
---------------------------	-----

Vorschriften und Standards	528
----------------------------------	-----