
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Geschichte der Kurzzeittechnik	3
	Literatur	10
3	Theoretische Grundlagen	11
3.1	Methoden der Erzeugung	13
3.1.1	Aktives Modenkoppeln	17
3.1.2	Passives Modenkoppeln	18
3.1.3	Phasen-Modulation	20
3.1.4	Code-Pulse-Modelocking	20
3.1.5	Synchrones Pumpen	21
3.1.6	Hybride Modenkoppel-Techniken	24
3.1.7	„Moving Mirror“-Modenkoppeln	24
3.1.8	Feedback Controlled Modelocking	25
3.1.9	Optische Kompressionstechniken	25
3.2	Ausbreitungseigenschaften von ultrakurzen Impulsen	29
3.3	Nichtlineare optische Effekte	32
3.3.1	Frequenzverdopplung	35
3.3.2	Frequenzverdreifachung	37
3.3.3	Selbstfokussierung	39
3.3.4	Selbstphasenmodulation	40
3.3.5	Vierwellen-Mischen	40
3.3.6	Raman-induzierter Kerreffekt	42
3.3.7	Mehrfotonenprozesse	43
3.4	Techniken zur Messung von Femtosekundenereignissen	44
3.4.1	Anrege- und Nachweistechiken	44
3.4.2	Anrege-Entleere-Nachweistechik	46
3.4.3	Fotonenecho	47
3.4.4	Z-Scan-Methode	48

3.4.5	Transiente Absorption	49
3.4.6	Kontinuierlich arbeitende Lasersysteme	50
3.4.7	Lichtauswertetechniken in zeitaufgelösten Messungen	51
	Literatur	53
4	Klassifizierung von Femtosekundenlasern	55
5	Ultrakurzzeitlasertypen	57
5.1	Festkörperlaser	59
5.1.1	Der Titan-Saphir-Laser	60
5.1.2	Der Nd:YAG-Laser	66
5.1.3	Der Rubinlaser	68
5.1.4	Der Cr:LiSAF-Laser	70
5.1.5	Der Cr:YAG-Laser	70
5.1.6	Der Cr:Forsterit-Laser	71
5.1.7	Der Pr:YLF-Laser	72
5.1.8	Modengekoppelte Faserlaser	72
5.2	Gaslaser	74
5.2.1	Der Argonionenlaser	75
5.3	Flüssigkeitslaser	77
5.3.1	Der Farbstofflaser	77
5.3.2	Distributed Feedback Dye Laser	81
5.4	Der Freie-Elektronen-Laser	82
5.5	Fortgeschrittene Ultrakurzzeit-Faserlaser	84
5.6	Femtosekundenlaser – moderne Trends	87
5.7	Augenzentrum Pforzheim: Femtosekundenlaser	88
5.8	Attosekundenlaser	89
	Literatur	91
6	Charakterisierung von Femtosekundenpulsen	93
6.1	Pulsspektrum	93
6.2	Messung der Pulsdauer	94
6.2.1	Autokorrelation	95
6.2.2	Kreuzkorrelation	100
6.2.3	FROG	103
6.2.4	Stroboskopie	104
6.2.5	Die Streackkamera	105
6.3	Pulsformung	106
6.3.1	Pulsformung durch spektrale Filter	108
6.3.2	Null-Dispersions-Kompressor	108
6.3.3	Flüssigkristall-Modulatoren	109
6.3.4	Diskrete Pulsformung	112

6.3.5	Grenze der Pulsformung	114
6.3.6	Adaptive Pulsformung	115
	Literatur	116
7	Femtosekundenoptiken und -instrumente	117
7.1	Femtosekundenoptiken	117
7.1.1	Spiegel	118
7.1.2	Interferenzfilter	118
7.1.3	Das Lyot-Filter	119
7.1.4	Das $\lambda/4$ -Plättchen	120
7.1.5	Brewster-Polarisatoren	120
7.1.6	Glan-Thompson-Prisma	121
7.1.7	Pellin-Broca-Prisma	121
7.1.8	Die Keramikapertur	121
7.1.9	Die Dünnschichtpolarisatoren	122
7.1.10	Die Pockelszelle	122
7.1.11	Die Kerrzelle	122
7.1.12	Der Faraday-Modulator	123
7.1.13	Akustooptischer Modulator	123
7.1.14	Nichtlineare Optik	124
7.1.15	Adaptive Optik	125
7.1.16	Attosekundenoptik	126
7.2	Femtosekundeninstrumente	129
7.2.1	Verstärkersysteme	129
7.2.2	Optisch parametrischer Oszillator/Verstärker	135
7.2.3	Strecker und Kompressor	137
7.2.4	Der Cavity-Dumper	138
7.2.5	Monochromatoren	139
7.2.6	Mikroskope	140
7.2.7	Fabry-Perot-Interferometer	142
7.2.8	Gires-Tournois-Interferometer	143
7.2.9	Michelson-Interferometer	144
7.2.10	Femtosekunden Sagnac Interferometrie	145
	Literatur	145
8	Anwendungen von Femtosekundenlasern	147
8.1	Femtowissenschaft	147
8.2	Femtochemie	149
8.3	Femtobiologie	176
8.4	Femto-Welt	187
8.5	Attophysik	188
8.6	Attowissenschaft	192

8.7	Medizin	194
8.8	Optische Kohärenztomografie	202
8.9	Pharmazie	205
8.10	Spektroskopie	206
8.11	Materialforschung	211
8.12	Materialbearbeitung	213
8.13	Verbrennungsforschung	215
8.14	Telekommunikationstechnik	216
8.15	Nanotechnologie	222
8.16	Umwelttechnik und Meteorologie	224
8.17	Kalter Abtrag von Korrosionen	226
8.18	Messtechnik	227
8.19	Optoelektronik	228
8.20	Datenverarbeitung	230
8.21	Femtonik	232
8.22	Clusterphysik	233
8.23	Oberflächen- und Grenzflächenphysik	235
8.24	Plasmaphysik	237
8.25	Industrielle Anwendungen	238
8.26	Sensorik und optischer Frequenzkamm	239
8.27	Hybrid-Mopa-Technologie	241
8.28	Anwendungen in der integrierten Optik	242
8.29	Tribologische Anwendungen	243
8.30	Physik der kondensierten Materie	244
8.31	Biomedizin	245
8.32	Kalte kontrollierte Ensembles	246
8.33	Innovationsschub durch hochenergetische Femtosekundenlaser	247
8.34	Hologramm	249
8.35	Winzige Strukturen mittels Femtosekundenlaser	250
8.36	Hochleistungsforschungsanlage	251
8.37	Laser knipst ums Eck	251
8.38	Die Femtos kommen!	252
	Literatur	253
9	Ausgewählte Beispiele	257
	Literatur	267
10	Ausblick	269
	Glossar	271
	Sachverzeichnis	289