

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Ziel der Arbeit	1
1.2	Aufbau der Arbeit	3
1.3	Einordnung in den Stand der Wissenschaft und Technik	4
2	Theoretischer Hintergrund	7
2.1	Wechselwirkung von Licht mit Materie	7
2.1.1	Brechungsindex, Dispersion und Absorption von Licht in Medien	8
2.1.2	Reflexion, Brechung und Beugung von Licht	9
2.1.3	Wellenleitung in dielektrischen Medien	10
2.2	Eigenschaften photonischer Kristalle und deren Anwendung	11
2.2.1	Mathematische Beschreibung photonischer Kristalle	12
2.2.2	Ein-, Zwei- und Drei-dimensionale photonische Kristalle	15
2.2.3	Resonanz geführter Moden	18
2.3	Hintergrund zu ultrakurz gepulster Laserstrahlung	20
2.3.1	Erzeugung von zeitlich geformten ultrakurzen Laserpulsen	21
2.3.2	Wechselwirkung von ultrakurzen Laserpulsen mit Dielektrika	23
2.4	Optische Systeme	28
2.4.1	Eigenschaften optischer Komponenten zur Strahlführung	28
2.4.2	Abbildung mit Gauß-Strahlen	30
3	Einblick in die verwendeten Technologien und Methoden	33
3.1	Angewandte Technologien zur Herstellung dielektrischer photonischer Kristalle	33
3.1.1	Verfahren zur Deposition dielektrischer und metallischer Dünnsschichten	33
3.1.2	Verfahren zur Herstellung dielektrischer photonischer Kristalle	36
3.2	Angewandte Technologien zur Charakterisierung dielektrischer photonischer Kristalle	42
3.2.1	Analyseverfahren der Strukturprofile	42
3.2.2	Spektrale Analysemethode dielektrischer photonischer Kristalle	44
4	Experimentelle Vorgehensweisen zur Herstellung und Analyse photonischer Kristallstrukturen	47
4.1	Zielstrukturdesign	47
4.2	Strukturierungsverfahren mittels geformten ultrakurzen Laserpulsen	48

4.3	Strukturierungsverfahren mittels Elektronenstrahllithografie	52
4.3.1	Negativer Elektronenlack zur Strukturerzeugung	52
4.3.2	Positiver Elektronenlack zur Strukturerzeugung	54
4.4	Strukturierungsverfahren mittels Ionenfeinstrahllanlage	59
4.5	Präparation zur Querschnittsanalyse mittels Ionenfeinstrahllanlage	60
5	Ergebnisdarstellung der Strukturierung mittels geformten Femtosekundenlaserpulsen	63
5.1	Ablationsverhalten von Quarzglas	63
5.2	Ablationsverhalten von Saphir	73
5.3	Ergebnis zur Bestimmung der Bandlückenenergien der dielektrischen Dünnschichten	78
5.4	Ablationsverhalten von dielektrischen Dünnschichten auf Quarzglas	81
5.4.1	Siliziumdioxid	83
5.4.2	Siliziumnitrid	87
5.4.3	Aluminiumoxid	89
5.4.4	Niobpentoxid	89
6	Ergebnisdarstellung der Strukturierung mittels Elektronenstrahllithografie	93
6.1	Strukturerzeugung mittels Negativlack	93
6.2	Strukturerzeugung mittels Positivlack	94
6.2.1	Bestimmung der geeigneten Dosis für die ESL	94
6.2.2	Deposition und Strukturierung der Ätzschutzmaske	96
6.2.3	Strukturierung des Quarz-Substrats mittels RIE	98
7	Ergebnisdarstellung der Strukturierung mittels Ionenfeinstrahllanlage	109
7.1	Strukturieren durch „Loch brennen“	109
7.2	Strukturieren durch Ionenstrahllithografie	112
8	Diskussion und Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse der Strukturierungsmethoden	119
8.1	Diskussion und Zusammenfassung zum Ablationsverhalten der Laserstrukturierung	119
8.1.1	Ablation von Quarz	119
8.1.2	Ablation von Saphir	121
8.1.3	Ablation von Dünnschichten unter Berücksichtigung der ermittelten Bandlückenenergie	123
8.2	Diskussion und Zusammenfassung zur Strukturierung mittels Elektronenstrahllithografie und reaktivem Ionenätzen	127
8.2.1	Auswahl des Elektronenlacks für die ESL	127
8.2.2	Deposition und Strukturierung der Ätzschutzmaske	127
8.2.3	Strukturierung mittels reaktivem Ionenätzen	128

8.3	Diskussion und Zusammenfassung zur Strukturierung mittels Ionenfeinstrahl-anlage	133
8.3.1	Methode „Loch brennen“	133
8.3.2	Methode Ionenstrahlolithografie	133
8.4	Vergleich der Strukturierungsmethoden	135
9	Design, Aufbau und Optimierung der Charakterisierungsmessplätze in Transmission und Reflexion	139
9.1	Design und Aufbau des Transmissionsmessplatzes	139
9.1.1	Anforderungen an den Transmissionsaufbau	139
9.1.2	Umsetzung der Anforderungen und Auswahl der Komponenten	140
9.2	Optimierung des Reflexionsmessplatzes	145
9.3	Vorgehensweisen und Messmethodik	148
9.3.1	Bestimmung des Durchmessers der fokussierten Lichtleistung an der Probenoberfläche	148
9.3.2	Vorgehensweise zur Charakterisierung des Transmissionsmessplatzes .	150
9.3.3	Vorgehensweise zur Charakterisierung des Reflexionsmessplatzes . .	151
10	Darstellung der erzielten Ergebnisse der Charakterisierungsmessplätze	153
10.1	Charakterisierung und Ergebnisdarstellung der Messungen in Transmission .	154
10.1.1	Bestimmung der Spotgröße in Transmission	154
10.1.2	Transmissionsmessung eines Fabry-Pérot-Filters	160
10.2	Charakterisierung und Ergebnisdarstellung der Messungen in Reflexion . . .	161
10.2.1	Bestimmung der Spotgröße in Reflexion	162
10.2.2	Reflexionsmessung eines polarisationsselektiven 2D-photonischen Kristalls	166
10.3	Diskussion zum Messplatz	172
10.3.1	Bestimmung der Spotgröße in Transmission	172
10.3.2	Bestimmung der Spotgröße in Reflexion:	173
10.3.3	Spektrales Verhalten des polarisationsselektiven photonischen Kristalls	174
11	Zusammenfassung	183
	Literaturverzeichnis	187
A	Anhang zu Anlagenparametern und Prozessschritten für die Depositions- und Strukturierungsmethoden	i
B	Anhang zu den Ergebnissen der Laserstrukturierung	v
	Abkürzungsverzeichnis	vii
	Publikationen	ix

