

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung, Motivation und Vorgehensweise	1
2. Stand der Technik in Forschung und Industrie	5
2.1. Grundlagen von Faser-Bragg-Gittern	7
2.2. Faser-Bragg-Gitter-basierte Sensorik	9
2.3. Faser-Bragg-Gitter-basierte Faserlaserresonatoren	10
2.4. Faser-Bragg-Gitter-basierte Laserdiodenresonatoren	12
2.5. Herstellung von Faser-Bragg-Gittern	12
2.6. Zusammenfassung und Defizite im Stand der Technik	16
3. Physikalische Grundlagen	17
3.1. Die Coupled-Wave-Theory – Theorie der gekoppelten Wellen	17
3.1.1. Der effektive Brechungsindex für Fasermoden	18
3.1.2. Ansatz der Theorie der gekoppelten Wellen	19
3.1.3. Die Zwei-Moden-Kopplung bei Faser-Bragg-Gittern	20
3.1.4. Spektrale Reflektivität von Faser-Bragg-Gittern in monomodi- gen Fasern	21
3.1.5. Reflektivität von Faser-Bragg-Gittern in hochmodigen Fasern	24
3.1.6. Fazit für das Vorhaben	25
3.2. Materialbearbeitung von Dielektrika mittels UKP-Laserstrahlung	26
3.2.1. Ionisationsmechanismen, Energiedeposition und -absorption	26
3.2.2. Klassifizierung der Brechungsindexmodifikationen in Glas	28
3.3. Herstellungsverfahren von Faser-Bragg-Gittern	30
3.3.1. Direkte Schreiverfahren	30
3.3.2. Indirekte Schreiverfahren	33
3.3.2.1. Phasenmasken-Interferometer I	33
3.3.2.2. Phasenmasken-Interferometer II	35
3.3.3. Temperaturbeständigkeit	36
4. Herstellung von Faser-Bragg-Gittern in hochmodigen Fasern	39
4.1. Entwicklung eines indirekten Schreiverfahrens für FBG in hochmo- digen Fasern	40
4.1.1. Ultrakurzpulslasersystem zum Schreiben der FBG	40
4.1.2. Auswahl der Phasenmaske	40
4.1.3. Intensitätsverteilung hinter der Phasenmaske	42
4.1.4. Experimenteller Aufbau	44
4.2. FBG-Schreibstrategie und Laserprozessparameter	49
4.2.1. Scannendes Schreiverfahren	49
4.2.2. Einfluss der Laserprozessparameter auf die Ausdehnung der Brechungsindexmodifikation	49

4.2.3.	Experimentelle Bestimmung der FBG-Reflektivität in Abhängigkeit von den Laserparameter	53
4.2.4.	Fazit für die Herstellung von FBG als wellenlängenselektive Rückkoppellemente für Hochleistungshalbleiter- und faserlaser	58
5.	Faser-Bragg-Gitter für die Frequenzstabilisierung hochmodiger Hochleistungslaserdioden und -faserlaser	59
5.1.	FBG zur Frequenzstabilisierung von Laserdioden	59
5.1.1.	Validierung: Laserdiodenfrequenzstabilisierung mittels MM-FBG	60
5.1.2.	Analyse der Emissionscharakteristik der Laserdiode bei spektraler Rückkopplung durch FBG	63
5.1.2.1.	Abhängigkeit der Frequenzstabilisierung vom Reflexionsgrad	63
5.1.2.2.	Einfluss des FBG auf die Polarisierung der Strahlung nach der Faser	63
5.1.2.3.	FBG-Reflex: Nahfeld, Leistung und Winkelabhängigkeit des Spektrums	66
5.1.2.4.	Temperaturabhängigkeit der Zentralwellenlänge und spektralen Halbwertsbreite	68
5.1.2.5.	Leistungsskalierung: FBG-Frequenzstabilisierung eines Multiemitter-Laserdiodenmoduls	70
5.1.2.6.	Im Vergleich: Frequenzstabilisierung mittels FBG und VBG	71
5.1.3.	Zusammenfassung der Frequenzstabilisierung von Hochleistungslaserdiodenlasern mittels MM-FBG	72
5.2.	FBG als faserintegrierte Resonatorspiegel für Faserlaser	74
5.2.1.	Validierung: MM-FBG in passiver Faser als Auskoppelspiegel eines Faserlasers	75
5.2.2.	Laboraufbau: MM-FBG in aktiver Faser als Auskoppelspiegel	77
5.2.3.	Industrietauglichkeit: MM-FBG in aktiver Faser als Auskoppelspiegel	82
5.2.4.	Vollständig faserintegrierter Resonator – MM-FBG als HR- und LR-Resonatorspiegel	84
5.2.5.	Zusammenfassung der MM-FBG als faserintegrierter Resonatorspiegel	86
6.	Zusammenfassung und Ausblick	89
6.1.	Zusammenfassung	89
6.2.	Ausblick	91
	Literaturverzeichnis	93
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	112
	TABELLENVERZEICHNIS	113

A. Anhang	A-115
A.1. Polarisationskontrastmikroskopie PKM	A-115
A.2. Reproduzierbarkeit der FBG-Reflektivität bei identischen Laserprozessparametern und Unsicherheit auf die Reflektivitätsbestimmung . .	A-116
A.3. Vergleich des linearen und rotationssymmetrischen FBG-Schreibverfahrens	A-117
A.4. Spektrale Intensität einer Laserdiode bei Frequenzstabilisierung für verschiedene Injektionsströme	A-118
A.5. Effizienz einer Anti-Reflexbeschichtung für Polarisationsstrahlteiler abhängig von der spektralen Bandbreite der Strahlung	A-119
A.6. Faserlaserresonator mit MM-FBG als Auskoppelspiegel im Faserkern .	A-120
A.7. Vergleich der spektralen Halbwertsbreite eines Faserlaserresonators mit MM-FBG und dichroitischem Spiegel als Auskoppелеlement . . .	A-120
A.8. Monolithischer Rechteckfaserlaser mit MM-FBG-Resonatorspiegeln .	A-121
A.9. Vorversuch zum monolithisch aufgebauten, multimodigen Faserlaserresonator	A-122