

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Anwendungen und Perspektiven . . . . .	4
1.2	Ziele dieser Arbeit und Gliederung . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Grundlagen abstimmbarer und Oberflächen-emittierender Laser</b>	<b>7</b>
2.1	Fabry-Pérot-Resonatoren und ihre Abstimmung . . . . .	9
2.1.1	Abstimmung der Resonanzwellenlänge . . . . .	11
2.1.2	Bragg-Spiegel und effektive Eindringtiefe . . . . .	12
2.2	Resonatorgeometrie und Modenverhalten . . . . .	17
2.2.1	Gaußstrahl und Faserkopplung . . . . .	17
2.2.2	Transversalmoden höherer Ordnung und ihre Aufspaltung . . . . .	19
2.3	Grundlegende Eigenschaften Oberflächen-emittierender Laser . . . . .	22
2.3.1	Bauelementstruktur . . . . .	22
2.3.2	Verlustmechanismen und Umlaufbedingung . . . . .	23
2.3.3	Ratengleichungen und Ausgangsleistung . . . . .	24
2.3.4	Füllfaktor (Confinement-Faktor) . . . . .	25
2.4	Erweiterte Eigenschaften Oberflächen-emittierender Laser . . . . .	26
2.4.1	Dynamik und Modulationsverhalten . . . . .	26
2.4.2	Relatives Intensitätsrauschen (RIN) . . . . .	28
2.4.3	Polarisation . . . . .	28
2.4.4	Nichtlineare Effekte . . . . .	30
2.4.5	Linienbreite und Verbreiterung . . . . .	31
2.4.6	Linienverbreiterungsfaktor $\alpha_H$ . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Entwurf mikromechanisch abstimmbarer VCSEL</b>	<b>35</b>
3.1	Bauelementstruktur und Konfigurationen . . . . .	36
3.1.1	Resonante Konfiguration mit gekoppelten Resonatoren (SCC) . . . . .	37
3.1.2	Konfiguration mit entkoppelten Resonatoren (EC) . . . . .	39
3.1.3	Neben-resonante Konfiguration (ACC) . . . . .	40
3.2	Aktiver Halbleiter-Resonator (Halb-VCSEL) . . . . .	40
3.2.1	Halbleiter-Resonator und aktive Zone (Basisstruktur) . . . . .	40
3.2.2	Tunnelkontakt und Überwachung . . . . .	41
3.2.3	Wellenführung . . . . .	43
3.2.4	Unterseitiger dielektrischer Bragg-Spiegel . . . . .	44
3.2.5	Spektrale Gewinnverteilung . . . . .	46

3.2.6	Laterale Gewinnverteilung . . . . .	48
3.3	Dimensionierung abstimmbarer VCSEL . . . . .	50
3.3.1	Übersicht der Laserparameter . . . . .	52
<b>4</b>	<b>Mikromechanik und Aufbautechnik</b>	<b>53</b>
4.1	Technologie der Mikromechanik . . . . .	53
4.1.1	Ausgangsmaterial . . . . .	54
4.1.2	Prozessschritte . . . . .	56
4.2	Biegeverhalten und statische Auslenkung . . . . .	57
4.3	Dynamik der Mikromechanik . . . . .	60
4.4	Mechanische Verspannung dielektrischer DBR . . . . .	64
4.5	Aufbau- und Verbindungstechnik . . . . .	67
4.5.1	Packaging und Klebstoff-Bondtechnik . . . . .	68
4.5.2	Hochfrequenz-Aufbauten . . . . .	70
4.6	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	71
<b>5</b>	<b>Charakterisierung und Ergebnisse</b>	<b>73</b>
5.1	MEMS-VCSEL mit hoher Ausgangsleistung . . . . .	74
5.1.1	Temperaturverhalten . . . . .	77
5.2	Weit abstimmbare MEMS-VCSEL . . . . .	78
5.3	Fernfeld . . . . .	79
5.3.1	Messaufbau . . . . .	80
5.3.2	Ergebnisse . . . . .	81
5.3.3	Kontrolle der Transversalmoden . . . . .	85
5.4	Kleinsignal-Modulation (AM) . . . . .	88
5.4.1	Optimierung . . . . .	90
5.5	Relatives Intensitätsrauschen (RIN) . . . . .	92
5.6	Polarisation . . . . .	96
5.6.1	Nichtlineare Effekte . . . . .	100
5.7	Linienbreite . . . . .	101
5.7.1	Verzögertes Selbst-Heterodyn-Messverfahren . . . . .	103
5.7.2	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	104
5.8	Linienverbreiterungsfaktor $\alpha_H$ . . . . .	109
5.9	Abstimmgeschwindigkeit und Schaltzeiten . . . . .	112
5.10	Zuverlässigkeit und Lebensdauer . . . . .	115
5.11	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	117
<b>6</b>	<b>Modenverhalten im Vergleich von Experiment und Modellierung</b>	<b>119</b>
6.1	Elektromagnetische VCSEL Modellierung . . . . .	120
6.2	Modellierung des MEMS-VCSELs . . . . .	122
6.2.1	Sphärischer MEMS-DBR und langer Luftspalt . . . . .	125
6.2.2	Modenaufspaltung und Einfluss des Rückspiegels . . . . .	126
6.2.3	Entwicklungskoeffizienten und Modenfelder . . . . .	128
6.3	Vergleich von Simulation (VELM) und Messung . . . . .	130
6.3.1	Abstimmcharakteristik und Schwellgewinn . . . . .	131

6.3.2	Gewinnunterschied und Nebenmodenunterdrückung . . . . .	135
6.4	Optimierung des Singlemode-Verhalten . . . . .	137
6.5	Geometrische Anisotropie und Polarisation . . . . .	138
6.6	Justagetoleranz . . . . .	141
6.7	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	142
<b>7</b>	<b>Sensoranwendungen</b>	<b>145</b>
7.1	Absorptionsspektroskopie zur Gassensorik . . . . .	145
7.1.1	TDLAS-Messprinzip . . . . .	146
7.1.2	Experimenteller Aufbau . . . . .	147
7.1.3	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	151
7.1.4	Messung von Verbrennungsprozessen . . . . .	155
7.1.5	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	157
7.2	Faser-Bragg-Gitter (FBG)-Sensoren . . . . .	159
7.2.1	FBG-Messprinzip . . . . .	159
7.2.2	FBG-Abfrageeinheit mit abstimmbarem VCSEL . . . . .	162
7.2.3	Dehnungsmessung mit FBGs . . . . .	164
7.2.4	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	166
7.3	Weitere Anwendungen . . . . .	167
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>169</b>
8.1	Ausblick . . . . .	170
<b>A</b>	<b>Brechungsindizes im Materialsystem InGaAlAs/InP</b>	<b>173</b>
<b>B</b>	<b>Übersicht DBR- und VCSEL-Wafer</b>	<b>177</b>
<b>C</b>	<b>Übersicht der verwendeten Masken</b>	<b>181</b>
<b>D</b>	<b>MEMS-Prozess</b>	<b>185</b>
<b>E</b>	<b>Fernfeld-Messplatz</b>	<b>187</b>
E.1	LabView-Ansteuerung . . . . .	187
E.2	Matlab-Programm zur Auswertung . . . . .	189
<b>F</b>	<b>Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen</b>	<b>191</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>199</b>
	<b>Eigene Veröffentlichungen</b>	<b>215</b>
	<b>Lebenslauf</b>	<b>221</b>

