

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Aufbau von Vertikalresonator-Laserdioden .....	1
1.2 Gliederung der Arbeit .....	3
<b>2 Grundlagen oberflächenemittierender Laser</b> .....	<b>5</b>
2.1 Das AlGaAs-InGaAs-Materialsystem .....	5
2.1.1 Bandlückenenergie und Gitterkonstante .....	5
2.1.2 Brechungsindex von AlGaAs .....	7
2.2 Aktive InGaAs-Quantenfilme .....	7
2.2.1 Bandabstand bei Verspannung .....	10
2.2.2 Effektive Massen .....	11
2.2.3 Energieniveaus im Quantenfilm .....	12
2.2.4 Optische Verstärkung .....	13
2.3 Reflektoren für Vertikalresonator-Laser .....	14
2.3.1 Analyse von Vielschichtstrukturen .....	14
2.3.2 Bragg-Reflektoren .....	15
2.3.3 Beugungsbegrenztes Reflexionsvermögen .....	17
2.3.4 Zusätzlicher Goldreflektor .....	19
2.3.5 Metallreflektoren für Vertikalresonator-Laser .....	20
2.4 Laserresonator .....	20
2.4.1 Resonanzbedingung .....	21
2.4.2 Äußere Störung des Resonators .....	22
2.4.3 Optisches Stehwellenfeld .....	23
2.4.4 Schwellstromdichte .....	26
2.4.5 Berechnung der optischen Ausgangsleistung .....	27
<b>3 Halbleitertechnologie</b> .....	<b>30</b>
3.1 Molekularstrahlepitaxie .....	30
3.2 Photolithographie .....	31
3.2.1 Photolack als Ätzmaske .....	31
3.2.2 Photolithographie für Lift-off-Prozesse .....	32
3.2.3 Drei-Lagen-Photolackprozeß .....	33
3.3 Protonen-Implantation .....	33
3.4 Naßchemisches Ätzen .....	36
3.4.1 Ätzen von AlGaAs-Schichten .....	36
3.4.2 Tiefenkontrolliertes Ätzen .....	39

3.4.3 Einfluß äußerer Parameter .....	43
3.4.4 Ätzen von Vielschichtstrukturen .....	44
3.4.5 Selektives Ätzen .....	45
3.5 Disordering .....	47
<b>4. Geätzte Laserstrukturen .....</b>	<b>49</b>
4.1 Meßanordnung zur Laser-Charakterisierung .....	49
4.2 Mesageätzte Laserdioden .....	50
4.2.1 Selektiv geätzte aktive Zone .....	51
4.2.2 Oberflächenpassivierung .....	53
4.2.3 Strombündelung im unteren Reflektor .....	54
4.3 Laserdioden mit Mikroresonator .....	55
<b>5 Wellenlängenabstimmbare Vertikalresonator-Laserdioden .....</b>	<b>58</b>
5.1 Herstellung des Bauelementes .....	59
5.1.1 Epitaktischer Schichtaufbau .....	59
5.1.2 Laterale Strukturierung .....	60
5.1.3 Bragg-Reflektor-Mesa Herstellung .....	62
5.2 Emissionscharakteristik .....	63
5.3 Thermische Eigenschaften .....	65
5.3.1 Einfluß auf Lasercharakteristik .....	66
5.3.2 Berechnung der Temperaturverteilung .....	67
5.4 Wellenlängenabstimmung .....	70
5.4.1 Statischer Betrieb .....	70
5.4.2 Dynamisches Verhalten .....	72
5.4.3 Wellenlängenstabilisierung .....	74
<b>6 Invertierte npn-Vertikalresonator-Laserdioden .....</b>	<b>75</b>
6.1 Laserdioden mit substratseitiger Emission .....	75
6.1.1 Lateralstrukturierung .....	75
6.1.2 Ausgangscharakteristik .....	77
6.1.3 Polarisierung der Ausgangsstrahlung .....	78
6.1.4 Ortsabhängige Emissionswellenlänge .....	79
6.2 Laserdioden mit zweiseitiger Lichtauskopplung .....	80
6.2.1 Herstellungsprozeß .....	80
6.2.2 Zweiseitige optische Ausgangskennlinien .....	82
6.2.3 Emissionsspektren .....	84
6.2.4 Fernfeld-Messungen .....	85
6.2.5 Berechnung des Modendurchmessers .....	86

6.2.6 Höhere Transversalmoden .....	88
6.3 Analyse der optischen Leistungscharakteristik .....	89
6.3.1 Modulation des Spiegelreflektivität .....	90
6.3.2 Verhältnis von epitaxie- zu substratseitiger Emission .....	92
6.3.3 Analyse des Schwellstroms .....	93
6.3.4 Berechnung der effektiven Absorption .....	95
6.3.5 Effektiver interner Quantenwirkungsgrad .....	96
6.3.6 Maximierung der Ausgangsleistung .....	97
6.4 Rückkopplung mit externem Reflektor .....	98
6.4.1 Rückkopplung mit kurzem Resonator .....	98
6.4.2 Rückkopplung mit langem Resonator .....	101
6.4.3 Emissionswellenlänge bei Rückkopplung .....	103
6.4.4 Schwache Rückkopplung .....	107
6.4.5 Rückwirkungsempfindlichkeit .....	108
6.4.6 Modenabstand bei schwacher Rückkopplung .....	110
6.4.7 Polarisationskontrolle mit Rückkopplung .....	111
6.5 Kopplung von Vertikalresonator-Laserdioden .....	112
6.5.1 Laser-Etalon-Kopplung .....	113
6.5.2 Phasenstarre Kopplung .....	114
6.5.3 Ausgangsleistung gekoppelter Laser .....	116
6.6 Einkopplung in Glasfasern .....	117
6.6.1 Kopplungseffizienz .....	118
6.6.2 Justiertoleranzen .....	121
6.6.3 Optisches Sende- und Empfangsmodul .....	124
<b>7 Wellenlängenselektiver Photodetektor .....</b>	<b>125</b>
7.1 Quantenwirkungsgrad .....	125
7.2 Photodetektor mit substratseitiger Lichteinkopplung .....	128
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>130</b>
<b>Anhang A: Brechungsindex von AlGaAs .....</b>	<b>133</b>
<b>Anhang B: Reflexionsfaktor eines Fabry-Perot-Resonators .....</b>	<b>134</b>
<b>Anhang C: Finesse eines Fabry-Perot-Resonators .....</b>	<b>136</b>
<b>Anhang D: Halbleiterschichten der Laserdioden .....</b>	<b>138</b>
<b>Anhang E: Parameter für Photolithographieprozesse .....</b>	<b>140</b>
<b>Anhang F: Polieren von GaAs-Substraten .....</b>	<b>141</b>
<b>Verzeichnis der Formelzeichen .....</b>	<b>142</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>146</b>