

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Halbleiterlaser mit Vertikalresonator	2
1.2	Gliederung der Arbeit	3
<b>2</b>	<b>Halbleiterlaser mit Vertikalresonator</b>	<b>5</b>
2.1	Das AlGaAs-InGaAs Materialsystem	6
2.1.1	InGaAs-Quantenfilme	7
2.1.2	Brechungsindex von AlGaAs	9
2.2	Reflektoren für Vertikalresonator-Laserdioden	11
2.2.1	Bragg-Reflektoren	11
2.2.2	Bragg-Spiegel mit zusätzlicher Goldschicht	13
2.3	Laserresonator	14
2.3.1	Feldverteilung im optischen Resonator	14
2.3.2	Resonanzbedingung	16
2.3.3	Schwellstrom	18
<b>3</b>	<b>Halbleitertechnologie</b>	<b>20</b>
3.1	Schichtwachstum mit der Molekularstrahlepitaxie	20
3.2	Strukturierung der Proben	21
3.2.1	Standard-Photolithographie	21
3.2.2	Drei-Lagen-Photolackprozeß	21
3.2.3	Lift-off Prozeß	22
3.3	Protonenimplantation	23
<b>4</b>	<b>Protonenimplantierte Laserdioden</b>	<b>24</b>
4.1	Herstellung der Bauelemente	24
4.1.1	Epitaktischer Schichtaufbau	24
4.1.2	Laterale Strukturierung	25
4.2	Meßanordnung zur Laser-Charakterisierung	25
4.3	Ausgangscharakteristik	26
4.4	Aufgelötete Laserdioden	29

4.5	Laserdiodenarrays . . . . .	32
4.5.1	Aufbau und Struktur . . . . .	32
4.5.2	Ausgangscharakteristik . . . . .	33
4.6	Spontane Rekombinationslebensdauer . . . . .	34
4.6.1	Meßverfahren . . . . .	35
4.6.2	Meßergebnisse . . . . .	37
4.7	Transparenzstromdichte . . . . .	38
4.7.1	Versuchsaufbau . . . . .	39
4.7.2	Meßergebnisse . . . . .	40
4.8	Reflektivität der Bragg-Spiegel . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Emissionseigenschaften . . . . .</b>	<b>44</b>
5.1	Wellenführung der Moden . . . . .	44
5.1.1	Ladungsträgerverteilung . . . . .	45
5.1.2	Thermische Eigenschaften . . . . .	48
5.2	Laguerre-Gaußsche Moden . . . . .	52
5.3	ABCD-Matrizen . . . . .	54
5.3.1	ABCD-Matrizen wichtiger optischer Elemente . . . . .	55
5.3.2	Selbstkonsistente Lösung für die Resonatormoden . . . . .	56
5.4	Untersuchung der Emissionseigenschaften . . . . .	59
5.4.1	Emissionsspektren . . . . .	59
5.4.2	Fernfeld-Messungen . . . . .	61
5.5	Transversalmoden . . . . .	64
5.5.1	Emissionseigenschaften von höheren Transversalmoden . . . . .	65
5.5.2	Fernfeld-Messungen . . . . .	67
<b>6</b>	<b>Linienbreite . . . . .</b>	<b>71</b>
6.1	Theoretische Grundlagen . . . . .	71
6.2	Meßanordnung zur Bestimmung der Linienbreite . . . . .	76
6.2.1	Linienbreite der Grundmode . . . . .	77
6.2.2	Linienbreite höherer transversaler Moden . . . . .	79
6.3	Linienverbreiterungsfaktor . . . . .	81
6.3.1	Modulationsmethode zur Bestimmung des $\alpha$ -Faktors . . . . .	81
6.3.2	Meßergebnisse . . . . .	83

6.3.3	Bestimmung des $\alpha$ -Faktors aus der Linienbreite . . . . .	85
<b>7</b>	<b>Hochfrequenzeigenschaften</b> . . . . .	<b>87</b>
7.1	Theoretische Grundlagen . . . . .	87
7.1.1	Ratengleichungen . . . . .	89
7.1.2	Relatives Intensitätsrauschen . . . . .	92
7.2	Messung des Intensitätsrauschens . . . . .	94
7.2.1	RIN-Messungen . . . . .	94
7.2.2	Resonanzfrequenz und Dämpfungskonstante . . . . .	96
7.3	Kleinsignalmodulation . . . . .	98
7.3.1	Kleinsignalersatzschaltbild eines Lasermoduls . . . . .	98
7.3.2	Kleinsignalverhalten des Laserdiodenarrays . . . . .	100
7.3.3	Übersprechen . . . . .	101
7.4	Modulationsverhalten aufgelöteter Laser . . . . .	103
7.4.1	Kleinsignalmodulationscharakteristik . . . . .	103
7.4.2	Großsignalmodulationsverhalten . . . . .	105
7.5	Intrinsische Modulationsantwort . . . . .	107
7.5.1	Laserstruktur . . . . .	107
7.5.2	Versuchsaufbau zur Gewinnschaltung . . . . .	109
7.5.3	Meßergebnisse . . . . .	110
7.5.4	Erzeugung hoher Datenraten . . . . .	113
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Schlußbemerkung</b> . . . . .	<b>115</b>
<b>Anhang A:</b>	<b>Schichtaufbau der Laserdioden</b> . . . . .	<b>118</b>
<b>Anhang B:</b>	<b>Modifizierte Bessel- und Hankelfunktionen</b> . . . . .	<b>120</b>
<b>Anhang C:</b>	<b>Laguerresche Polynome</b> . . . . .	<b>121</b>
<b>Anhang D:</b>	<b>Entwicklung der Ausbreitungskonstante</b> . . . . .	<b>122</b>
	<b>Verzeichnis wichtiger Formelzeichen</b> . . . . .	<b>123</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	<b>129</b>