

Dipl.-Ing. Rainer Michalzik, Ulm

Modellierung und Design von Laserdioden mit Vertikalresonator

Reihe **9**: Elektronik

Nr. **257**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Eigenschaften und Einsatzgebiete von Vertikalemittern	1
1.2	Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	3
2	Eindimensionale Beschreibung des Laserresonators	6
2.1	Die Auslegung der Schichtstruktur	6
2.1.1	Bragg-Reflektoren	8
2.1.2	Der relative Füllfaktor	10
2.1.3	Absorptionsverluste und effektive Resonatorlänge	11
2.1.4	Differentieller Quantenwirkungsgrad	14
2.1.5	Zahlenbeispiel	15
2.2	Berechnung nichtidealer Resonatorstrukturen	16
2.2.1	Die Transfer-Matrixmethode	16
2.2.2	Reflexionsspektren	19
2.2.3	Bestimmung der Laserresonanz	23
2.2.4	Energieflußdichte und differentieller Quantenwirkungsgrad	26
2.2.5	Inhomogen dotierte und gestufte Bragg-Reflektoren	29
2.2.6	Ausnutzung einer Spiegel-Metallisierung	31
2.2.7	Einfluß einer Resonatorerwärmung	33
3	Die aktive Zone aus InGaAs-GaAs	36
3.1	Das Bändermodell verspannter Quantenfilme	37
3.2	Modellierung der Bandstruktur im Quantenfilm	41
3.3	Der lineare optische Gewinnkoeffizient	44
3.3.1	Nichtlinearer Gewinn	47
3.3.2	Beispielhafte Gewinnberechnungen	48
3.4	Spontane Rekombinationsrate und Stromdichte	51

4	Stromfluß und Verlustleistungsdichte	56
4.1	Modellierung der Stromdichteverteilung	56
4.2	Stromdichteberechnungen	61
4.2.1	Implantierte Vertikallaser	61
4.2.2	Oxidierte Vertikallaser	64
4.3	Verlustleistungsdichte	67
4.4	Exemplarische Leistungsdichteverteilung	70
4.5	Grenzen des verwendeten Modells	71
5	Berechnung der Lasererwärmung	72
5.1	Stationäre Wärmefußgleichung	72
5.2	Temperaturprofil und thermischer Widerstand	74
5.3	Möglichkeiten der Laserkühlung	78
6	Transversale Modenstruktur	81
6.1	Transversalmodenanalyse mit BV-Diagrammen	82
6.1.1	Gewinngeführte Laserdioden	83
6.1.1.1	Komplexe BV-Diagramme	83
6.1.1.2	Schwell- und Phasenbedingungen	87
6.1.2	Indexgeführte Laserdioden	90
6.2	Berechnung lokaler Eigenwellen	92
6.2.1	Die radiale Transfer-Matrixmethode	92
6.2.2	Laser mit thermisch induzierter Indexführung	95
6.2.3	Wellenführung in oxidierten Vertikallasern	97
6.3	Dreidimensionale Modenausbreitung	101
6.3.1	Erweiterung der eindimensionalen Transfer-Matrixmethode	101
6.3.2	Beugungseffekte in Bragg-Reflektoren	104
6.3.3	Bragg-Reflektoren mit Indexführung	109
6.3.4	Selbstkonsistente Transversalmodenbestimmung	110
7	Selbstkonsistentes Lasermodell	114
7.1	Flußdiagramm des Lasermodells	114
7.2	Modellierung der aktiven Zone	118
7.3	Ausgangskennlinien implantierter Vertikallaser	121
7.3.1	Einfluß von Verlustparametern und Trägerdiffusion	121
7.3.2	Resonanzverstimmung und räumliches Lochbrennen	124
7.3.3	Effekte höherer Transversalmoden	126

7.3.4	Resonatorgüte und Einmodigkeitsgrenze	129
7.3.5	Variation des aktiven Durchmessers	130
7.3.6	Laser mit reduzierter Verlustleistung	131
7.4	Oxidierte Vertikallaser	133
7.4.1	Einfluß des Laserdurchmessers	134
7.4.2	Abschwächung der Indexführung	136
7.4.3	Ringkontakt und verminderte Trägerdiffusion	137
8	Zusammenfassung und Ausblick	141
A	Der Brechungsindex von AlGaAs	148
B	Das maximale Reflexionsvermögen von Bragg-Spiegeln	151
C	Verwendete Materialparameter	152
D	Energieniveaus eines symmetrischen Quantenfilms	154
E	Die Linienverbreiterungsfunktion	156
F	Berücksichtigung ungebundener Energiezustände	160
G	Überlappungsintegrale für Eigenwellen in zylindrischen Wellenleitern	168
H	Effektive Diffusionskonstante und Einstein-Relation für Quantenfilme	169
I	Intensitätsüberhöhung im Resonator einer Vertikallaserdiode	171
J	Symbolik und Formelzeichen	173
K	Vorveröffentlichungen	179
	Literaturverzeichnis	182