



Irene Ecker (Autor)

**Molekularstrahlepitaxie GaAs-basierender
Mischungshalbleiter für 1300 nm-nahe
Laserdiodenemission**

Irene Ecker

**Molekularstrahlepitaxie GaAs-basierender
Mischungshalbleiter für 1300 nm-nahe
Laserdiodenemission**



Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2942>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziel und Gliederung der Arbeit	2
2	Halbleiterlaserdioden für den langwelligen Emissionsbereich	5
2.1	Theoretische Grundlagen	5
2.1.1	Füllfaktor	5
2.1.2	Schwellstromdichte	7
2.1.3	Differentieller Quantenwirkungsgrad	7
2.1.4	Temperaturabhängigkeit des Schwellstroms	8
2.2	Kanten- und oberflächenemittierende Halbleiterlaser	8
2.2.1	Langwellige Laserdioden mit Vertikalresonator	9
2.3	Aktive Materialien	10
2.3.1	Energiebandverlauf direkter Halbleiter	11
2.3.2	Zusammenspiel von Füllfaktor und Zustandsdichte	12
2.3.3	Gewinnkoeffizient	14
2.3.4	Materialspezifische Auswahlkriterien	18
2.3.5	Auswirkungen von Dotierstoffeinkbau	21
2.3.6	Einfluss der Quantentopfbreite	21
2.3.7	Einfluss der Quantentopfanzahl	22
2.4	Mehrschichtstrukturen	22
2.4.1	Analyse der optischen Eigenschaften von Mehrschichtstrukturen	23
2.4.2	Beschreibung von Bragg-Reflektoren	26
2.4.3	Auswahlkriterien für DBR-Materialien	28
2.5	Potentielle Halbleiterlasermaterialien	29
2.5.1	Konzepte auf Basis von InP	30
2.5.2	Konzepte auf Basis von GaAs	32
2.5.3	Überblick der aktuell verfolgten Ansätze zur Herstellung langwelliger VCSEL	43

3	Kristallwachstum mittels Molekularstrahlepitaxie	45
3.1	Grundlegende chemisch-physikalische Wachstumsmechanismen	45
3.2	Allgemeiner Aufbau der Anlage	47
3.2.1	Feststoff- und Gasquellen	48
3.3	Kontrolle des Wachstumsprozesses	55
3.3.1	Kalibration der Material- und Gasflüsse	55
3.3.2	Temperaturmessung mittels Pyrometrie	56
3.3.3	Hochenergetische Elektronenbeugung	56
3.3.4	Massenspektrometrie	58
3.4	Charakterisierungsmöglichkeiten der Kristallstrukturen	58
3.4.1	Bestimmung der Ladungsträgerdichte	58
3.4.2	Ermittlung der Schichtqualität und Bandlückenenergie mittels Photolumineszenz	61
3.4.3	Bestimmung der Gitterfehlانpassung und chemischen Zusammensetzung durch Röntgenbeugung	64
3.4.4	Ermittlung der wellenlängenabhängigen Reflektivität von Mehrschichtstrukturen	67
4	Wachstum von stickstoffhaltigen Halbleiterschichten	69
4.1	Wachstum basierend auf alternativen Stickstoffquellen	69
4.1.1	Charakterisierung von GaNAs mittels Photolumineszenz und Röntgenbeugung	70
4.1.2	Charakterisierung von GaInNAs mittels Photolumineszenz	71
4.1.3	Analyse des Stickstoffeinbaus in GaNAs und GaInNAs mittels Sekundärionenmassenspektroskopie	73
4.1.4	Resultate und Konsequenzen	75
4.2	Wachstum mit plasmaerzeugten Stickstoffradikalen	76
4.2.1	Aufbau und Funktionsweise der eingesetzten Plasmaquelle zur Erzeugung reaktiven Stickstoffs	77
4.2.2	Analyse von GaNAs-Schichten über Röntgendiffraktometrie	79
5	Wachstum von antimonhaltigen Halbleiterschichten	83
5.1	Wachstum mit Arsin	84
5.1.1	Photolumineszenz-Untersuchungen	85
5.1.2	Qualitätsüberprüfung mittels Röntgendiffraktometrie	88
5.2	Wachstum mit Feststoff-Arsen	89
5.2.1	Photolumineszenz-Untersuchungen	91

6	Kantenemittierende Laserdioden auf Basis von GaAsSb	99
6.1	Design der Laserdioden	99
6.2	Prozessierung von Breitstreifenlaserdioden	101
6.3	Messtechnik von Kantenemittern im Puls- und Dauerstrichbetrieb	101
6.4	Mit Gasquellen-MBE gewachsene Bauelemente	102
6.4.1	Wachstumsprozess	102
6.4.2	Charakterisierung	103
6.5	Mit Feststoffquellen-MBE gewachsene Bauelemente	110
6.5.1	Wachstumsprozess	110
6.5.2	Charakterisierung	111
7	GaAsSb-Halbleiterlaserdioden mit AlGaAs-Mehrschichtstrukturen	113
7.1	Vorstufen zur Entwicklung oberflächenemittierender Laserdioden	113
7.1.1	Epitaktisches Wachstum und Prozessierung	113
7.1.2	Bauelementcharakterisierung	114
7.2	Oberflächenemittierende Laserdioden mit externem Resonator	120
7.2.1	Epitaktisches Wachstum von GaAsSb-VECSEL-Strukturen	120
7.2.2	Prozessierung und Montage	123
7.2.3	Bauelementcharakterisierung	123
8	Zusammenfassung und Ausblick	127
A	Verzeichnis wichtiger Formelzeichen	131
B	Vorveröffentlichungen	135
	Literaturverzeichnis	137