

1. Einleitung

Oberflächenemittierende Halbleiterlaser mit vertikaler Resonatoranordnung („Vertical Cavity Surface Emitting Laser“, kurz VCSEL bzw. VC-Laser genannt) zeichnen sich im Hinblick auf die Ziele der Photonik gegenüber konventionellen kantenemittierenden Halbleiterlasern durch verschiedene prinzipielle Vorteile aus (u.a. geringe Strahldivergenz, hocheffiziente Ankopplung an Monomodefasern, longitudinale Monomodigkeit, hohe Schnelligkeit, Charakterisierbarkeit auf der Halbleiterscheibe, geringe Herstellungskosten, individuelle Ansteuerung in zweidimensionalen Matrizen). Zu Beginn des Projektzeitraums war die Entwicklung von VCSELs auf AlGaAs/GaAs-Basis für den Wellenlängenbereich um $1\mu\text{m}$ weltweit bereits weit fortgeschritten. Es war aber noch nicht gelungen, für die optische Nachrichtenübertragung bei $1.3\mu\text{m}$ und $1.5\mu\text{m}$ geeignete VCSELs herzustellen, die stabil im Dauerstrichbetrieb arbeiteten. Weltweit wurden verschiedenste Lösungsvarianten ausprobiert. In diese Bemühungen ordneten sich unsere Arbeiten innerhalb des Photonik II – Programms ein.

2. Projektablauf

2.1. Aufgabenstellung

Unser Vorhaben stand in enger Wechselbeziehung zu dem Projekt 01 BP 443/7, „Langwellige Laserdioden mit Vertikalresonator“ an der Universität Ulm und ergänzte dieses in wichtigen Punkten. Dort bestand die Absicht, eine Technologie zu finden und zu entwickeln, welche es erlaubt, langwellige VCSEL herzustellen, die bei Raumtemperatur im cw-Betrieb arbeiten. Es sollte versucht werden, dieses Ziel mit einem völlig neuartigen System zug- und druckverspannter Mehrfach-Quantenfilme (MQW) auf GaAs-Substrat zu erreichen. Erst falls das nicht zum Erfolg führt, sollte mit dem konventionellen InP-System gearbeitet werden. Die spezifischen Ziele unseres Teilvorhabens waren die experimentell gestützte theoretische Modellierung wesentlicher physikalischer Prozesse im Laser bis hin zur numerischen Simulation und Optimierung von LW-VCSEL. Schwerpunkte waren die folgenden drei Punkte:

- Theoretische Modellierung der elektrischen, optischen und thermischen Eigenschaften der verschiedenen Laservarianten im cw-Betrieb für die Unterstützung des Design und der Optimierung der Ulmer Bauelemente.
- Experimentelle Stützung der Modelle durch Messung von Modellparametern und experimentelle Verifikation von Modellierungsergebnissen. Dabei sollte weitgehend auf Messungen aus Ulm zurückgegriffen werden, aber auch im eigenen Labor experimentelle Untersuchungen an Proben aus Ulm durchgeführt werden.
- Aufklärung der für die Ladungsträgerdynamik wesentlichen physikalischen Prozesse an Proben aus Ulm durch Einsatz hochentwickelter Methoden der Ultrakurzzeitspektroskopie und Überführung der Erkenntnisse in ein konsistentes dynamisches Modell.

2.2. Wissenschaftlicher Stand auf dem aufgebaut wurde

Zu Beginn der Arbeiten gab es in der Gruppe bereits langjährige Erfahrungen sowohl in der Modellierung von Halbleiterlasern als auch bei der experimentellen Erforschung entsprechender Materialien und Strukturen. Speziell zu Vertikal-Resonator Laserdioden war Dr. Joachim Piprek der Erfahrungsträger. Er hatte für Photonik I – Projekte des FBH Berlin und des HHI Berlin eine Simulations-Prozedur zur Optimierung der Vertikalstruktur von kurzwelligen VCSEL erarbeitet und angewendet. Einige Teilmotive dieser Prozedur konnten als Ausgangspunkt für die Modellierung langwelliger VCSEL genutzt werden.

2.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde in 2 Etappen zu 2 und 1.5 Jahren konzipiert. Nach der ersten Etappe sollten die verschiedenen Teilmotive für den cw-Betrieb der Laser erstellt, anhand erster Proben aus Ulm experi-