

Diss. ETH Nr. 7368

BEITRAEGE ZUR EXPERIMENTELLEN UND MODELLMAESSIGEN
BESCHREIBUNG DES 1/f-RAUSCHENS VON AlGaAs-
HETEROSTRUKTUR-DIODENLASERN

A B H A N D L U N G
zur Erlangung des Titels eines
DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von
Georges Tenchio
Dipl.El.Ing. ETH
geboren am 4. Juli 1946
von Basel und Verdabbio (GR)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. H. Melchior, Referent
Prof. Dr. W. Guggenbühl, Korreferent

1984

Zusammenfassung

Halbleiter-Diodenlaser zeigen ausgeprägte Fluktuationen sowohl in der Lichtintensität als auch in der über der Diode anstehenden Speisespannung. Neben Resonanzphänomenen im Mikrowellengebiet und dem charakteristischen Rauschmaximum beim Einsatz der kohärenten Lichtemission ist ein kontinuierlicher Anstieg des Rauschens mit sinkender Frequenz festzustellen. Die Ursachen dieser dem $1/f$ -Gesetz folgenden Rauschleistung sind noch weitgehend ungeklärt.

In dieser Arbeit wird gezeigt, dass die an Halbleiter-Laserdioden festgestellten Rauschphänomene im niederfrequenten Gebiet weitgehend modellmässig erfasst und mit Hinweis auf material- und konstruktionsbedingte Eigenschaften gedeutet werden können.

Nach einer Einführung in das Gebiet der Laserdiode und in die Natur des $1/f$ -Rauschens im ersten Teil dieser Arbeit, werden in einem zweiten Teil die statischen und dynamischen Eigenschaften verschiedener kommerzieller Laserdioden experimentell untersucht und unter Berücksichtigung der verschiedenen Strukturen miteinander verglichen.

Es hat sich herausgestellt, dass die Metall-Halbleiter-Kontakte, vor allem bei Diodenlasern mit höherem Schwellenstrom, das gesamte Spannungsrauschverhalten zu beherrschen vermögen. Im dritten Teil dieser Arbeit wird anhand spezieller Test-

strukturen das Rauschverhalten der Kontakte und der Bahngelände untersucht. Dabei geht klar hervor, dass ein Bahn- oder Volumenrauschen im Sinne der empirischen Formel von Hooge existiert. In praktischen Fällen hebt sich die Rauschleistung jedoch oft erst bei höheren Stromdichten und bei entsprechend niedriger Messfrequenz vom thermischen Rauschen ab. Die Metall-Halbleiter-Übergänge reagieren hingegen sehr empfindlich auf Störungen wie zum Beispiel Oxidreste oder intermetallische Verbindungen. Obwohl im Kontaktwiderstand oft kein wesentlicher Unterschied festgestellt werden kann, wächst das Rauschen infolge solcher Störungen um Größenordnungen an. Es wird eine Methode aufgezeigt, um das reine Kontaktrauschen an realen Laserdioden experimentell zu erfassen.

Aufbauend auf das Modell von McCumber wird im vierten Kapitel zunächst das statische Verhalten, sowie das optische und elektrische Rauschen von Diodenlasern im weissen Frequenzgebiet simuliert. Durch Einfügen von geeigneten Rauschquellen wird das Modell für die Analyse des $1/f$ -Rauschens erweitert. Das Modell wurde für "single-mode"-Laserdioden entwickelt und zeigt eine gute Übereinstimmung für Dioden, die sich entsprechend ideal verhalten. Dank der Modularität des Modells ist es möglich, spezifische Eigenschaften von realen Laserdioden durch Einfügen von Zusatzfunktionen, die in direkter Analogie zur Physik stehen, nachzubilden.

Das Modell vergegenwärtigt, dass das Photonenrauschen stets

einen gleichartigen, charakteristischen Verlauf aufzeigt, ob die niederfrequenten Trägerfluktuationen über die Pumprate eingebracht werden oder ob Trägerfallen im Laservolumen für die Modulation verantwortlich zeichnen. Die elektrischen Fluktuationen weisen auf zwei verschiedene Rauschcharakteristiken hin: Dioden mit dominantem Kontaktrauschen und Dioden mit dominantem Quantenrauschen.

Die Simulation ergibt eine phasenrichtige Korrelation zwischen Lichtintensitätsrauschen und Spannungsrauschen. Insbesondere wird der charakteristische Phasensprung in der Nähe der Schwelle in Übereinstimmung mit den Messungen deutlich wiedergegeben.

Die quantitative Abschätzung der Auswirkungen verschiedener $1/f$ -Rauschquellen lässt praktische Schlüsse ziehen, welche Maßnahmen zur aktiven und passiven Reduktion des $1/f$ -Rauschens herangezogen werden können. Im fünften Kapitel werden in diesem Sinne Hinweise zur Erweiterung des Einsatzgebietes von Laserdioden gegeben. Die Erkenntnis des $1/f$ -Rauschverhaltens kann aber auch zur zerstörungsfreien Qualitätsüberwachung der Metall-Halbleiter-Kontakt herangezogen werden.