

Diss. ETH Nr. 7162

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DER  
LICHTINTENSITÄTSSTATISTIK VON HALBLEITERLASERN

---

Abhandlung zur Erlangung des Titels  
eines Doktors der Technischen Wissenschaften

der

Eidgenössischen Technischen Hochschule  
Zürich

vorgelegt von:

Konrad F. Schmid  
Dipl. El.Ing. ETH  
geboren am 2.Februar 1946  
von Basel und Schlattingen TG

Angenommen auf Antrag von  
Prof.Dr.H.Melchior, Referent  
Prof.Dr.J.Massey, Korreferent

1982

## Zusammenfassung

### Experimentelle Untersuchung der Lichtintensitätsstatistik von Halbleiterlasern

---

Die Leistungsfähigkeit von optischen Kommunikationsstrecken mit hohen Bitraten wird durch Mode-Fluktuationen begrenzt.

Halbleiterlaser zeigen ausgeprägte Fluktuationen, sowohl der gesamten Strahlungsintensität, als auch der Intensität von einzelnen isolierten Moden des Emissionsspektrums. Die Fluktuationen der isolierten Einzelmoden übersteigen die Fluktuationen der Gesamtintensität um einige Größenordnungen.

In dieser Arbeit wurden Messungen der Photoelektronenverteilung des Gesamtrauschens wie auch des Rauschens von einzelnen isolierten Moden durchgeführt.

Dies erforderte den Design und Aufbau einer Anlage, die es erlaubte, die Photoelektronenverteilung mit Abtastraten von 460 MHz zu messen. Zentraler Teil dieser Anlage ist ein empfindlicher phasenlinearer Transimpedanzverstärker mit einer PIN-Diode.

In einer Analyse, die auf den Momenten der Verteilung basiert, wird der Zusammenhang zwischen der Intensitätsverteilung und der Verteilung der Photoelektronen aufgezeigt. Diese Resultate werden dazu verwendet, aus den Momenten der gemessenen Verteilung die Momente der Intensitätsverteilung zu erhalten. Die Messungen wurden an den folgenden fünf verschiedenen Lasertypen durchgeführt:

"Oxid-Stripe"-Laser, "V-Groove"-Laser, "Channeled-Substrate"-Laser, "Buried-Heterojunction"-Laser und "Transverse-Junction"-Laser. Während die ersten zwei dieser Laser in einem multi-longitudinalen Spektrum, aber in einem transversalen Mode emittieren, sind die letzteren drei sogenannten Single-Mode-Laser, die über der Schwelle fähig sind in einem longitudinalen und einem transversalen Mode zu emittieren.

Die Messungen der Verteilung der Gesamtintensität zeigen nur kleine Abweichungen vom idealen Gauss'schen Rauschen, während die Verteilungen der isolierten Einzelmoden erhebliche Abweichungen zeigen. Charakteristisch für die Fluktuationen der Einzelmoden ist, dass die Nebenmoden ein positives drittes Moment aufweisen; während der dominante Hauptmode ein negatives drittes Moment zeigt. Dies ist eine Folge davon, dass die Nebenmoden in Richtung auf höhere Intensitäten relativ frei fluktuieren können, während sie gegen kleine Intensitäten durch den Nullpunkt begrenzt sind. Umgekehrt gilt für den Hauptmode, dass er frei gegen kleine Intensitäten fluktuieren kann, während er gegen höhere Intensitäten durch die relativ fluktuationsarme Gesamtintensität begrenzt wird.

Die aus den Photoelektronenverteilungen bestimmten Momente der Intensitätsfluktuationen werden für die verschiedenen Laser in einem "Moment-Ratio-Plot" aufgetragen. Diese Charakterisierung auf Grund des dritten und vierten normierten Momentes erleichtert den Vergleich zwischen den Verteilungen. Eine Mehrzahl der gemessenen Verteilungen ist im "Moment-Ratio-Plot" in der Nähe der Gammalinie zu finden.

Den Momenten der Intensitätsfluktuationen werden anschliessend Verteilungen mit vier Parametern eingepasst. Für alle auftretenden Kombinationen der dritten und vierten normierten Momente genügen zwei Einpassverteilungen (Beta und Ray-Bessel). Diese eingepassten Verteilungen können mit guter Näherung als Verteilungen der Intensität betrachtet werden. Die resultierenden

Verteilungen werden anschliessend mit einem in der Literatur vorgeschlagenen Modell für die Verteilungen von Einzelmoden verglichen. Das Verhalten an der Laserschwelle, sowie das Verhalten bei zunehmender stimulierter Emission der gemessenen Verteilungen stimmt qualitativ mit dem vorgeschlagenen Modell überein, dieses ist jedoch noch zu wenig entwickelt um die gemessenen Verteilungen eines dominanten Modes zu beschreiben.

## Abstract

### Experimental Investigation of the Light Intensity Statistics of Semiconductor Diode Lasers

The performance of optical fiber communication systems with high data rates is severely limited by mode partition noise. Semiconductor diode lasers exhibit distinct fluctuations of the total light intensity as well as of the intensity of single isolated modes of the emission spectrum. The fluctuations of an isolated mode exceed the fluctuations of the total intensity by several orders of magnitude.

In this research, the photoelectron statistics for the total intensity and for the intensity of single isolated modes of several different semiconductor diode laser types were measured in detail. This required the design and realisation of a equipment capable of measuring the photoelectron distribution at sample rates of 460 MHz. The central part of this equipment is a sensitive linear-phase transimpedance amplifier with a PIN-diode. An analysis, based on moments, was made to determine the interrelationship of the intensity distribution and the photoelectron distribution.

The results of this analysis were used to convert the measured photoelectron distributions to the desired intensity distributions.

Measurements were carried out on the following five different diode laser types: Oxide stripe laser, V-groove laser, channelled substrate laser, buried heterojunction laser and transverse junction laser. The first two of these laser types have only one transversal mode but many longitudinal modes; the latter three types are so-called single mode lasers, that emit in only one transversal and one longitudinal mode when driven well above threshold.

The measured photoelectron distributions of the total intensity showed only small deviations from ideal Gaussian noise, whereas extreme deviations from Gaussian behaviour were shown by the photoelectron distributions of single isolated modes. If the emission pattern showed a dominating mode, this mode was characterised by a negative third moment whereas the side modes exhibited a positive third moment. This phenomenon was explained in terms of the strong noise modulation of the side modes. The side modes, because of their small mean intensities, can fluctuate primarily in the direction of higher intensities, whereas the main mode, which is restricted in its fluctuations, toward high intensities by the relative weak fluctuations of the total intensity, fluctuates primarily toward lower intensities.

The moments of the intensity distribution, derived from the measured photoelectron distributions, were presented in a momentratio plot. This characterisation, using the third and fourth moment exclusively, simplified the comparison of different distributions.

Most of the measured distributions lay in the vicinity of the gammaline in the momentratio plot. To reconstruct the intensity distribution, a suitable analytic distribution was fitted to the first four moments of the intensity. Two different distributions (Beta and Ray-Bessel) were employed. The resulting intensity distributions were compared to a model proposed in literature. The behaviour at threshold and the behaviour with increasing stimulated emission of the fitted distributions agreed qualitatively with the model. However, the model was not adequate to describe the measured distribution for lasers emitting in one dominating mode.