

Praktikum Optische Nachrichtentechnik Versuch 2 Lumineszenz- und Laserdioden: Kennlinien und Spektren	Versuchsdatum:..... Semester:.....Gruppe:..... Teilnehmer:..... Email:.....
--	---

Inhalt und Ziel: Sie lernen den praktischen Umgang mit Lumineszenz- und Laserdioden und ihre Charakterisierung anhand der Aufnahme von Strom-Leistungskennlinien und Emissionsspektren. Sie erlernen aus Kennlinien und Spektren wichtige Eigenschaften dieser Bauelemente wie Emissionswellenlänge, Spektralbreite, (spektrale) Ausgangsleistung, Wirkungsgrad, Betriebs- und Schwellstrom zu ermitteln.

Darüber hinaus lernen Sie den Unterschied im Dämpfungsbelag von Einmodenfasern im Vergleich zu Mehrmodenfasern kennen. Dazu messen Sie die Dämpfung an Einmodenfasern und vergleichen die Ergebnisse mit den Messungen im ersten Laborversuch.

Einführung

In der Optischen Nachrichtentechnik werden folgende Lichtquellen

- Lumineszenzdioden (LED)
- Superlumineszenzdioden (SLD) und
- Laserdioden (LD)

verwendet. Sie bestehen aus **III-V-Halbleiterverbindungen** wie z.B. GaAs, InP, AlAs, GaAlAs, InGaAs, InGaAsP, InGaAlAs u.a..

Das grundlegende Funktionsprinzip dieser Halbleiterlichtquellen ist die sogenannte **Injektionslumineszenz**, d.h. in einem flussgepolten pn-Übergang erfolgt eine strahlende Rekombination von Elektronen und Löchern. Die Ladungsträger werden von außen über den **Injektionsstrom** zugeführt. Mit steigendem Injektionsstrom nimmt die Zahl der pro Zeiteinheit rekombinierenden Ladungsträger zu – also die Rekombinationsrate wächst an - und damit auch die Lichtleistung der Diode. Dies gilt allerdings nur bis zu einem von Aufbau und Material der Diode abhängigen Maximalstrom. Bei Überschreiten des Maximalstromes wird die Diode aufgrund thermischer Überlastung zerstört.

Strom-Lichtleistungskennlinie

Die Abhängigkeit der optischen Ausgangsleistung vom Injektionsstrom wird durch die Strom-Lichtleistungskennlinie wiedergegeben.

In Lumineszenzdioden beruht die Lichterzeugung überwiegend auf spontaner Rekombination und die Lichtleistung steigt deshalb über einen weiten Bereich linear mit dem Injektionsstrom an. Das ausgesendete Licht ist inkohärent.

In Superlumineszenzdioden überwiegen die spontanen Emissionsprozesse nur im Bereich kleiner Injektionsströme, bei höheren Strömen dagegen ist die stimulierte Rekombination vorherrschend. Entsprechend verläuft die Kennlinie zunächst sehr flach (im Bereich mit überwiegend spontaner Emission) und geht dann aber allmählich in einen Bereich (mit überwiegend spontaner Emission) mit

steilem Anstieg über. Das von Superlumineszenzdioden emittierte Licht ist - auch im Bereich der stimulierten Emission - aufgrund des fehlenden optischen Resonators inkohärent.

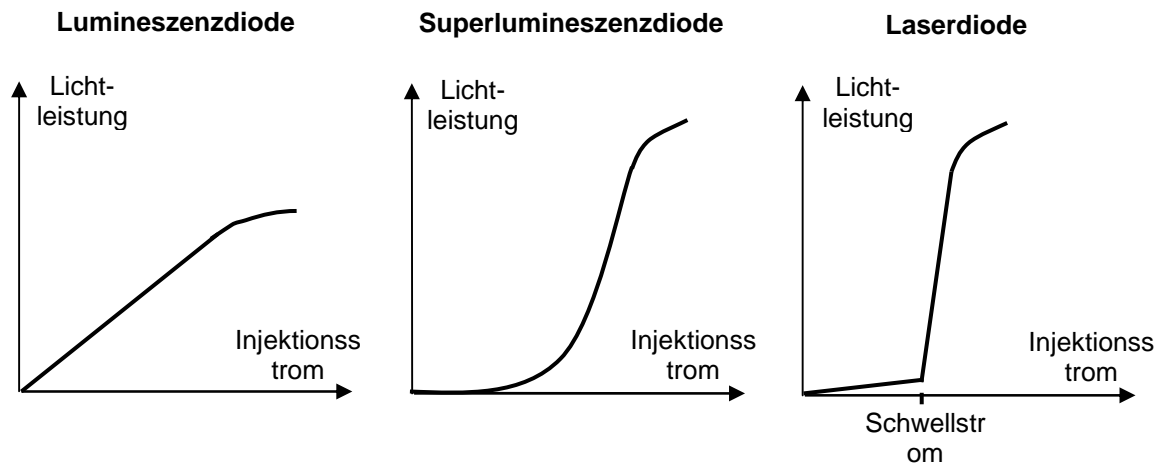


Abb. 1: Typische Strom-Lichtleistungskennlinien verschiedener Halbleiterlichtquellen

Laserdioden besitzen im Unterschied zu Lumineszenz- und Superlumineszenzdioden einen sogenannten optischen Resonator. In ihm sind nur bestimmte Longitudinalmoden ausbreitungsfähig - d.h. es erfolgt eine schmalbandige Filterung des erzeugten Lichts - und es koppelt das Licht teilweise in das aktive Medium zurück. Im Bereich kleiner Injektionsströme, in dem überwiegend spontane Emissionsprozesse stattfinden, hat der optische Resonator einen nur geringen Effekt, bei höheren Injektionsströmen jedoch, die starke Besetzungsinversionen erzeugen, überwiegen die stimulierten Emissionsprozesse und das in das aktive Medium zurückgekoppelte, gefilterte Licht erfährt eine kräftige Verstärkung, die sich als steiler Anstieg der Strom-Lichtleistungskennlinie bemerkbar macht.

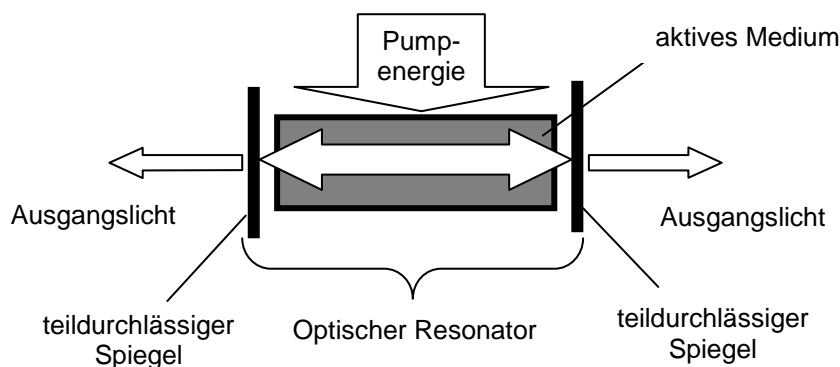


Abb. 2: Prinzipieller Aufbau einer Laserdiode

Der Übergang zwischen den Bereichen mit spontaner und stimulierter Emission ist deshalb bei Laserdioden sehr viel schärfer als bei Superlumineszenzdioden. Laserdiodenkennlinien weisen an dieser Stelle einen Knick auf.

Verschiedene Mechanismen dämpfen das Licht in einer Laserdiode, z.B. Absorptionsprozesse im aktiven Medium. Zur Überwindung dieser Verluste ist ein bestimmter minimaler Pumpstrom, der sogenannte Schwellstrom erforderlich. Unterhalb des Schwellstroms emittiert die Laserdiode inkohärentes Licht, im Laserbetrieb oberhalb des Schwellstromes strahlt sie hingegen kohärentes Licht ab.

Typische Schwellströme von Laserdioden liegen im Bereich von 1 bis 100mA.

Externer Wirkungsgrad (Gesamtwirkungsgrad)

Es gilt: $\eta_{\text{ext}} = \frac{\text{emitt. Photonen pro Zeiteinheit}}{\text{durch pn - Übergang fließende Ladungsträger pro Zeiteinheit}}$

$$= \frac{N_{\text{Phot.}}/\Delta t}{N_{\text{Ladtr.}}/\Delta t} = \frac{P_{\text{opt}}/hf}{I_F/q} = \frac{q \cdot P_{\text{opt}}}{hf I_F} = \frac{q}{hc} \lambda \frac{P_{\text{opt}}}{I_F}$$

$$\Rightarrow P_{\text{opt}} = \underbrace{\eta_{\text{ext}} \frac{hc}{q\lambda}}_{\text{Steigung } \frac{\Delta P_{\text{opt}}}{\Delta I_F}} \cdot I_F$$

Aus der Steigung dP/dI_F der Strom-Lichtleistungskennlinie kann der differentielle Quantenwirkungsgrad einer Diode bestimmt werden.

Emissionsspektrum

a) LED

LEDs zeigen im Vergleich zu Laserdioden relativ breite Emissionsspektren mit typischen Spektralbreiten im Bereich von 30-150nm (im Wellenlängenbereich von 400 -1300nm). Der Grund dafür ist, dass die Ladungsträger nicht nur exakt von der Leitungsbandunter- zur Valenzbandoberkante, sondern auch zwischen nicht direkt an den Bandkanten liegenden Energieniveaus rekombinieren. Dadurch werden im Halbleiter Photonen unterschiedlicher Energie erzeugt. Das Emissionsspektrum - die Verteilung der Photonen in Abhängigkeit von der Photonenenergie oder der Wellenlänge - ist durch die Besetzungsdichte der Bandzustände gegeben. Das Maximum des Spektrums liegt dicht oberhalb der Bandlückenenergie W_g .

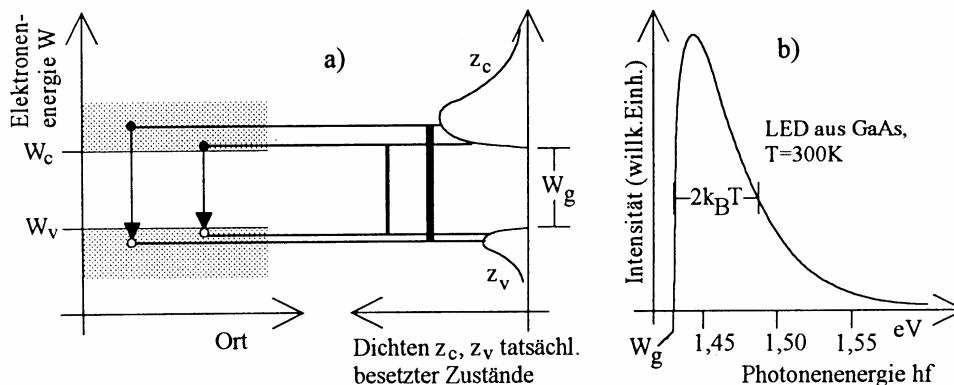


Abb. 3: a) Bändermodell und Zustandsdichte; b) LED-Emissionsspektrum (in Abhängigkeit von der Photonenenergie)

b) Laserdiode

Wie bei der LED legt auch bei der Laserdiode die Bandlücke des zur Herstellung verwendeten Halbleitermaterials in etwa die Lage des Maximums des Emissionsspektrums fest. Die Form des Spektrums wird aber sehr wesentlich durch den in der Laserdiode verwendeten optischen Resonator bestimmt. Zu den wichtigsten Resonatortypen zählen u.a. die Fabry-Perot- und Bragg-Resonatoren.

Fabry-Perot-Resonator

Ein Fabry-Perot-Resonator kann aus zwei teildurchlässigen plan-parallelen Spiegeln aufgebaut werden. Aufgrund der Vielfachreflexionen zwischen den Spiegeln ergeben sich - bedingt durch Interferenzeffekte - stehende Wellen im Resonator, die als **longitudinale (Laser-Resonator-)Moden** (s. Abb.4) bezeichnet werden. Für die longitudinalen Moden gilt die Bedingung (konstruktive Interferenz, Filterwirkung)

$$m \lambda / 2 = L$$

m: Modenzahl

$\lambda = \lambda_0 / n$ Wellenlänge im Resonator

n: Brechzahl des Mediums zwischen den Spiegeln

L: Resonatorlänge

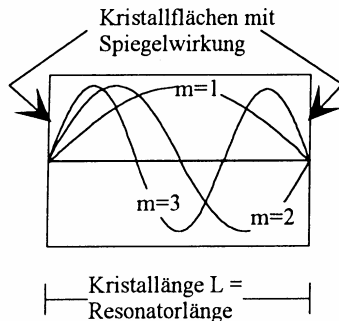


Abb. 4: Moden im Fabry-Perot-Resonator

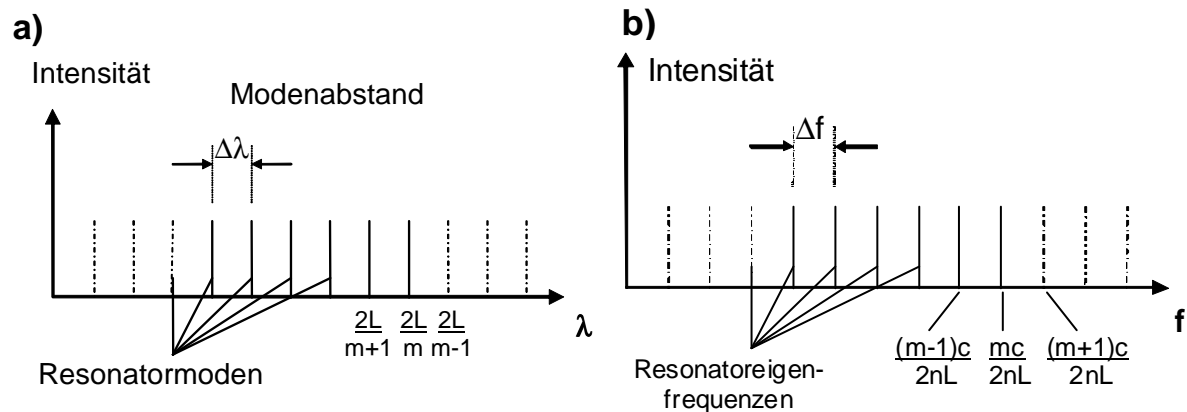


Abb. 5: Resonatormoden und Modenabstand:

a) in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ ; b) in Abhängigkeit von der Frequenz f

In einer Laserdiode kann nur Licht mit einer Wellenlänge (Frequenz) aus dem Bereich des Emissionsspektrums der aktiven Laserschicht verstärkt werden. Von den Resonatormoden, die in diesem Wellenlängenbereich liegen, können allerdings nur die Moden anschwingen oder verstärkt werden, die im

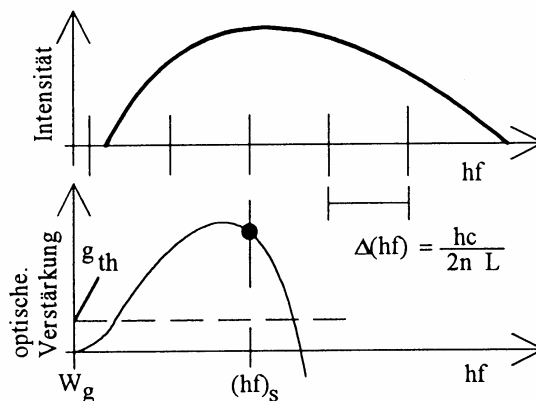


Abb. 6: Lage der Resonatormoden im Bereich des Emissionsspektrums (Lichtintensität über Photonen-Energie, links oben) und der optischen Verstärkung v (links unten)

Bereich der optischen Verstärkungskurve mit der Verstärkung $v > g_{th} = 1$ liegen. Dies ergibt die typische Linienstruktur von Vielmoden-Laserdioden.

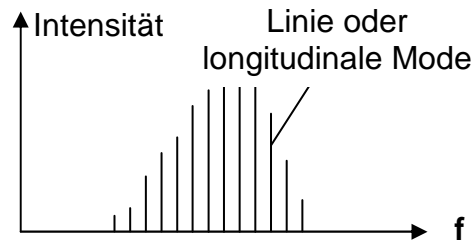


Abb. 7: Laserdioden – Emissionslinienspektrum (Lichtintensität hier über der Frequenz)

Testfragen

1. Erläutern Sie den pn-Übergang!
2. Beschreiben Sie die Injektionslumineszenz im Bändermodell!
3. Erklären Sie die Entstehung und spektrale Verteilung der Lasermodes (jeweils im passenden Wellen- oder Photonenmodell)!
4. Wie wird der Arbeitspunkt einer Laserdiode bzw. einer LED für den Betrieb als optische Sender eingestellt?
5. Wie misst man das Emissionsspektrum eines optischen Senders?

Versuchsdurchführung und -auswertung

1. Messung der Strom-Lichtleistungs-Kennlinien

- a) Messen Sie die Strom-Lichtleistungskennlinien einer LED und einer Laserdiode.

Bitte beachten Sie

- Die Laserdiode darf nicht berührt werden (Gefahr der Zerstörung durch Stromspitzen)
- Der jeweils maximale Strom ist auf der Diode bzw. dem Treiber angegeben; vor allem bei Lasern unbedingt einhalten!

- b) Stellen Sie Ihre Messergebnisse in Exceltabellen dar und geben Sie Leistungen sowohl in dBm als auch in Watt an.
- c) Ermitteln Sie aus den Messungen die differentiellen Quantenwirkungsgrade der Halbleiterlichtquellen und die Schwellströme der Laserdioden.
- d) Zeichnen Sie die Strom-Lichtleistungskennlinien. Die Diagramme sollen die unter c) ermittelten Werte enthalten.

2. Messung der Emissionsspektren verschiedener Halbleiterlichtquellen

- a) Untersuchen Sie das Emissionsspektrum einer LED und einer Laserdiode.
Lesen Sie zuvor die Bedienungsanleitung zu den Messsystemen!

- b) Stellen Sie beide Spektren in jeweils einem Diagramm dar und stellen Sie beide Spektren in einem gemeinsamen Diagramm dar.
- c) Ermitteln Sie die Halbwertsbreiten der Spektren.

3. Messung des Dämpfungsbelages einer Einmodenfaser

- a) Messen Sie die Dämpfung einer Singelmodefaser bei den Wellenlängen: 1310nm und 1550nm nach der Einfügemethode.
Führen Sie je Wellenlänge zwei Messungen durch.
- b) Berechnen Sie den Dämpfungsbelag in [dB/km] und vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit den Literaturwerten. (Hinweis: Berücksichtigen Sie, dass je Steckverbindung 0,5db an Zusatzdämpfung einzurechnen sind)
- c) Vergleichen Sie außerdem Ihre Ergebnisse mit den Messungen der Multimode- und POF Fasern im Versuch 1. Um welchen Faktor ist die Dämpfung der Singelmodefaser kleiner als die der anderen Fasertypen?
- d) Berechnen Sie, welche Entfernung man mit Ihrer Singelmodefaser bei 1550nm überbrücken könnte, wenn der Sender eine Leistung von 1mW in die Faser einstrahlt und der Empfänger einen Mindestsignalpegel von -30dBm erwartet.
Wie groß wäre bei gleichen Bedingungen die überbrückbare Entfernung bei einer Multimoddefaser im 850nm Fenster?

Stand 03/2010