

Versuch 2: Diodenlaser

1 Motivation und Ziel des Versuchs

Laserdioden stellen optoelektronische Bauelemente dar, die durch einfaches Anlegen einer Betriebsspannung kohärentes Laserlicht emittieren. Die Bauformen und Leistungen reichen von miniaturisierten Laserdioden mit Ausdehnungen im Submillimeterbereich bis hin zu Hochleistungslaserdioden, die mehrere Watt optischer Leistung abstrahlen können. Vom nahen Infraroten bis hin zum roten Spektralbereich sind ausgereifte Laserdioden aus III-V-Halbleiterverbindungen (GaAs, GaAlAs, GaP, GaInAsP) kommerziell erhältlich. Ihr zahlenmäßig größtes Einsatzgebiet liegt in der kommerziellen Unterhaltungselektronik (CD/DVD-Player). Ein besonders attraktives Einsatzfeld von Laserdioden stellt die Informationsübertragung in optischen Fasern dar. Auf Grund der hohen Frequenz elektromagnetischer Wellen im optischen Bereich ist die erzielbare Informationsdichte um einige Größenordnungen höher als bei der Datenübertragung in metallischen Leitern.

Gegenstand aktueller Forschung ist die Erweiterung des zugänglichen Spektralbereiches durch Einsatz von II-VI-Halbleitern (Grün und Blau) und von Metallnitriden (z. B. GaN, GaInN; bis in den ultravioletten Bereich).

Die charakteristischen Eigenschaften einer Laserdiode sollen unter verschiedenen Betriebsbedingungen vermessen werden. Dazu wird die Laseremission für verschiedene Pumpströme und Temperaturen der Laserdiode sowohl spektral aufgelöst als auch spektral integriert aufgezeichnet. Aus den Messungen sollen anschließend die folgenden Größen bestimmt werden:

- die Resonatorlänge L
- die Zahl der optischen Perioden im Resonator m
- der Brechungsindex n als Funktion des Pumpstromes
- der Spektralbereich optischer Nettoverstärkung (Einhüllende der spektral aufgelösten Lasermode) und seine Verschiebung mit dem Pumpstrom
- die Verschiebung der Emissionswellenlänge (Wellenlänge maximaler optischer Ausgangsleistung) mit der Temperatur
- die spektral integrierte Ausgangsleistung als Funktion des Pumpstromes und der Temperatur
- der Schwellstrom und der Sättigungsstrom als Funktion der Temperatur

2 Erforderliche Vorkenntnisse

Halbleiter allgemein:

Bandstruktur von Halbleitern, direkte und indirekte Halbleiter, optische Übergänge, Dotierung, Leitungsmechanismus in p- und n-leitenden Halbleiter-Volumenmaterialien, Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit, pn-Übergang

Lichtfeld und Lasing:

Kohärenzbegriff, optische Resonatoren, speziell Fabry-Perot-Resonator, invertiertes optisches Medium, negativer Absorptionskoeffizient, stimulierte und spontane Emission

Aufbau und Physik einer Laserdiode:

Design: Homostruktur, Doppel-Heterostruktur, Quantenfilm-Laser, gewinngeführte Diodenlaser, optisches und elektrisches Confinement, Zusammenhang zwischen Brechungsindex und Energielücke bei

Halbleitern, optisch nichtlineare Effekte (z.B. Brechungsindexänderung durch injizierte Ladungsträger), Schwellstrom, Sättigungsstrom
 Technologie: (bei weiterführendem Interesse) Wachstumstechniken: Molekularstrahlepitaxie (MBE), Metall-Organische Gasphasenepitaxie (MOVPE bzw. MOCVD)

Grundlagen der Spektroskopie:

Gittermonochromator, Auflösungsvermögen des Gittermonochromators, Lichtdetektion mit Photodioden, Abbildungen mit dünnen Linsen, Strahlenoptik

3 Literatur

- Materialsammlung zum Versuch, beim Betreuer erhältlich
- F. K. Kneubüll u. M. W. Sigrist, *Laser*, Teubner, Stuttgart
- K. J. Ebeling, *Integrierte Optoelektronik*, Springer, Berlin
- H. Ibach u. H. Lüth, *Festkörperphysik*, Springer, Berlin
- J. Gutowski, *Skript: Festkörperphysik Teil 1 und 2*, Universität Bremen
- H. Sitter, *Molecular Beam Epitaxy*, Springer, Berlin
- G. A. Reider, *Photonik: eine Einführung in die Grundlagen*, Springer, Wien

4 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 1 skizziert. Die Laserdiode ist in einem Kühlgehäuse untergebracht. Über einen Peltier-Kühler kann die Diodentemperatur zwischen Raumtemperatur und ca. -10°C eingestellt werden. Die überschüssige Wärme an den Peltier-Elementen wird über das Kühlwasser abtransportiert. Um Kondensation von Luftfeuchtigkeit an der Laserdiode zu verhindern, wird diese mit einem geringen Stickstofffluß gespült.

!!Kein Betrieb der Temperaturregelung ohne Kühlung und Stickstoffspülung!!

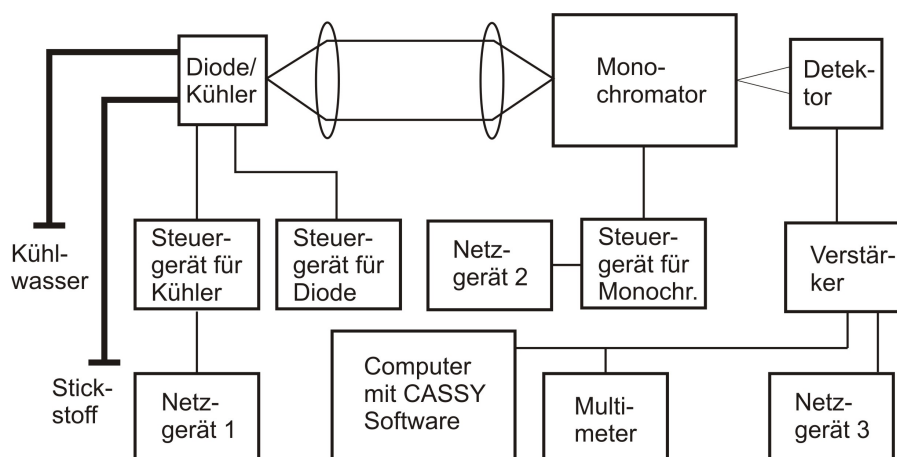


Abb.1: Schematischer Versuchsaufbau zur Untersuchung von Diodenlasern

Der Pumpstrom der Laserdiode kann über ein eigenes Steuergerät bis zum Maximalstrom von 55 mA stufenlos eingestellt werden. Die Austrittsfläche des Lasers wird auf den Eintrittspalt des Monochromators abgebildet. Am Ausgangspalt des Monochromators kann eine in Sperrichtung vorgespannte

Photodiode montiert werden, mit der das Licht detektiert wird. Der Spannungsabfall des Diodenstromes wird über ein Interface vom Computer erfasst und mittels des Computerprogramms CASSY graphisch dargestellt.

5 Versuchsdurchführung

Die gesamte emittierte Leistung der verwendeten Diode ist zwar kleiner als die einer Glühlampe, doch können in kleinen Foci hohe Intensitäten auftreten (= Flächenleistungsdichten). *!!Ein direkter Einfall des Laserstrahles oder eines nur schwach divergenten Reflexes in ihr Auge kann irreversible Schäden hervorrufen. Informieren sie sich über Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Lasern!!*

Studieren Sie die im Praktikum befindlichen Handbücher der Geräte bitte sorgfältig. Insbesondere der Monochromator ist nicht ausreichend selbsterklärend. Beachten Sie, dass alle mechanischen Komponenten des Monochromators nur über einen Mikrocomputer gesteuert werden, nicht per Hand.

Im einzelnen sollen die folgenden Meßdaten aufgenommen werden:

1. Für eine feste Temperatur, z. B. 15°C , wird die Laseremission spektral aufgelöst gemessen. Bitte denken Sie daran, die Temperaturregelung niemals ohne Kühlung und Stickstoffspülung zu betreiben. Variieren Sie den Pumpstrom im zugänglichen Bereich, der sich von Strömen kurz oberhalb der Laserschwelle bis zum Maximalstrom erstreckt (siehe Datenblatt Laserdiode). Beachten Sie, daß die Modenstruktur der Laseremission nur bei einem ausreichenden Auflösungsvermögen des Monochromators (Spaltfunktion!) aufgelöst wird.
2. Für einen festen Pumpstrom, z. B. 45 mA, werden Spektren für verschiedene Temperaturen spektral aufgelöst aufgezeichnet. Nutzen Sie dabei den ganzen verfügbaren Temperaturbereich aus. Die Kühlungsrate läßt sich über den Peltier-Gleichstrom einstellen.
3. Messen Sie die spektral integrierte optische Leistung der Laserdiode in Abhängigkeit vom Pumpstrom und von der Temperatur. Für diese spektral integrierten Messungen wird die Austrittsfläche des Lasers direkt auf die von einem neutralen Dichtefilter (Graufilter) mit dem Schwächungsfaktor 0,0001 geschützte Photodiode abgebildet (nicht in der Zeichnung zu sehen). Die Aufnahme der Spannung der Photodiode erfolgt dabei durch ein Multimeter.

6 Hinweise zur Auswertung

Orientieren Sie sich bei der Auswertung an den unter Punkt 1 der Anleitung aufgelisteten Versuchszielen. Ermitteln Sie die dort genannten Bestimmungsgrößen und stellen Sie, wo möglich, die Ergebnisse graphisch dar. Interpretieren Sie Ihre Resultate physikalisch.

Zur Resonatorlänge: Unter Verwendung der Resonanzbedingung eines Fabry-Perot-Resonators läßt sich die Resonatorlänge L der Laserdiode bestimmen. Vernachlässigen Sie dazu vorerst die schwache Wellenlängenabhängigkeit des Brechungsindex im betrachteten Wellenlängenintervall und setzen Sie $n = 3,50$. Mit dem gleichen Ansatz läßt sich auch die Länge des Resonators m in Einheiten der Wellenlänge bestimmen.

Zum Brechungsindex: Die Verschiebung der Moden mit dem Pumpstrom läßt sich als leichte Änderung des Brechungsindex mit dem Pumpstrom interpretieren. Bestimmen Sie einen pumpstromabhängigen Brechungsindex für eine feste Wellenlänge aus dieser Verschiebung. Interpretieren Sie diese Änderung des Brechungsindex physikalisch.