

Demonstrationsexperimente mit Laserdioden

Werner B. Schneider, Physikalisches Institut - Didaktik, Universität Erlangen- Nürnberg

Laserdioden zeichnen sich gegenüber herkömmlichen Gas-, Festkörper- oder Flüssigkeitslaser durch eine Reihe besonderer Eigenschaften aus, die sie auch für den Bereich der Lehre interessant werden lassen.

Ursprünglich sind Laserdioden (LD) für rein technische Anwendungen entwickelt worden und waren lange Zeit nur für Wellenlängen im infraroten Bereich des Spektrums erhältlich. Zu den wichtigsten Anwendungsgebieten dieser LD zählen: optische Nachrichtenübertragung, Mikrooptik (Sender und Verstärker), optische Speichermedien für Computer und Unterhaltungselektronik, Strichcodeleser, Laserdrucker und medizinische Geräte [1]. Als "Abfallprodukte" werden sie jedoch auch bereits seit ca. 10 Jahren vielfältig in der Forschung - vor allem im Bereich der Atomspektroskopie und der Quantenoptik [2], [3] - eingesetzt.

Mittlerweile ist die technische Entwicklung soweit fortgeschritten, daß relativ preisgünstige Laserdioden auch für den sichtbaren Spektralbereich (670, 650 und 630nm) erhältlich sind [4], was sie zu einer starken Konkurrenz für den bisher im Ausbildungsbereich vorherrschenden He-Ne-Laser werden läßt.

Unter anderem sind für diese Laserdioden folgende Merkmale besonders zu nennen:

- geringer Preis (unter 200,-DM),
- Einmoden- oder Mehrmoden-Betrieb
- Durchstimbarkeit in einem Wellenlängenbereich von jeweils ca. 20nm über die Temperatur (preisgünstige Peltiermodule) und den Diodenstrom;
- relativ hohe Ausgangsleistung (3 bis 15mW);
- geringer Aufwand für die Stromversorgung (typische Anschlußwerte: 2V, 100mA); die Stromversorgung läßt sich preisgünstig selbst aufbauen;
- einfach zu modulieren;
- kompakter Aufbau (Laserzeiger im Füllfederhalterformat).

Insgesamt sind Diodenlaser die heute am meisten verkauften Laser - mit steigender Tendenz. Die technische Entwicklung wird sicher bald noch zu Diodenlaser mit kürzeren Wellenlängen und höherer Ausgangsleistung führen, und es ist zu vermuten, daß in vielen Bereichen die heute eingesetzten, herkömmlichen Laser bald durch Diodenlaser ersetzt werden.

Das Ziel des Vortrags ist, wichtige technische Details vorzustellen und Anwendungsbeispiele anzugeben, die anregen sollen, selber mit diesen modernen Bauteilen zu experimentieren.

1. Allgemeine Daten

Technische Details über Laserdioden findet man in Produktbeschreibungen der Laserdiodenhersteller, die man bei den jeweiligen Lieferfirmen anfordern kann [1], [4].

Laserdioden werden in genormten Gehäuseformen geliefert, die Transistor- oder Operationsverstärkergehäusen (Durchmesser ca. 9mm, Höhe ca. 4mm) nachempfunden sind. Beim Einbau ist auf einen guten Wärmekontakt zum Gehäuse und eine gute Wärmeableitung zu achten. Laserdioden sind generell sehr empfindlich gegen elektrostatische Entladungen. Aus diesem Grund müssen unbedingt beim Umgang mit Laserdioden entsprechende Schutzvorkehrungen getroffen werden [1], [5]. Die kompakte Bauweise verführt dazu, den Diodenlaser nicht "ernst zu nehmen" und eher mal in die Nähe des Austrittsfensters zu blicken. Man muß jedoch hier die gleichen Vorsichtsmaßnahmen treffen wie bei herkömmlichen Lasern.

2. Stromversorgung

Die Betriebsspannung beträgt ca. 2V bei einem Strom von 40 bis ca. 100mA. Die Ausgangsleistung kann über den LD-Strom eingestellt werden. Im LD-Gehäuse ist in der Regel noch eine Photodiode eingebaut über die die Ausgangsleistung gemessen werden kann. Ebenso läßt sich aus diesem Photostrom ein Regelsignal gewinnen, durch das mit Hilfe einer geeigneten Regelschaltung für den LD-Strom eine konstante Ausgangsleistung erreicht werden kann [1]. Der Strom durch die Laserdiode muß frei von Spannungsspitzen sein, außerdem sollte er von Null auf den gewünschten Wert "langsam" geregelt werden können. Wir verwendeten hierzu eine einfache Schaltung mit einem Dreipunktregler 7905 nach [6], mit der der Strom eingestellt und konstant gehalten werden kann. Eventuell eingestreute "schnelle" Störsignale werden durch parallel zur LD geschaltete Kondensatoren (Tantalelektrolytkondensator (ca. 10 μ F) und ein Keramik Kondensator (ca. 1nF)) kurzgeschlossen. Am sichersten ist, wenn man als Spannungsquelle einen passenden Akku verwendet und den Strom vor dem Ausschalten auf Null herunterregelt und beim Einschalten von dieser Reglerstellung ausgeht und erst dann langsam die Stromstärke auf den gewünschten Wert einstellt. Wir verwendeten eine Konstantstromquelle, da wir den Strom definiert einstellen und konstant halten wollten, um z.B. die Wellenlängenverschiebung in Abhängigkeit vom Diodenstrom untersuchen zu können. Will man eine Regelschaltung für eine konstante Ausgangsleistung verwenden, so muß man eine Strombegrenzung vorsehen. Andernfalls kann die Stromstärke unter Umständen den vorgegebenen Grenzwert überschreiten, was zu einer Zerstörung oder zu einer Änderung der Funktionsdaten der Diode führen kann.

3. Kenndaten

Der eigentliche "Laserkristall" ist quaderförmig (typisch 0,3x0,3x0,1mm) und verglichen mit einem He-Ne-Laser überraschend klein. Der aktive, für die Lasertätigkeit verantwortliche Teil ist nur 0,1 μ m x 0,3 μ m x 0,3mm groß. Die Resonatorspiegel sind in den meisten Fällen bereits auf dem Kristall angebracht und bestehen aus den Endflächen der aktiven Zone, deren Brechungsindex ca. 3,5 beträgt, so daß diese ein Reflexionsvermögen von ca. 35% besitzen, was bei der großen Verstärkungswirkung

der laseraktiven Zone ausreicht. Das kleine, rechteckige Austrittsfenster bedingt, daß der Laserstrahl aufgrund von Beugung einen für herkömmliche Laser großen Öffnungswinkel besitzt, der parallel zur Höhe ca. 20° bis 40° und parallel zur Breite ca. 5° - 15° beträgt. Mit einer kurzbrennweitigen Linse, am besten einer Zylinderlinse kann annähernd ein paralleler Laserstrahl erreicht werden. Wir verwendeten in unseren Versuchen eine Sammellinse mit einer Brennweite von 1,5cm, die zunächst unseren Anforderungen genügte.

Die in dem "kleinen" Resonatorvolumen möglichen longitudinalen Moden haben einen Abstand von ca. 0,1nm (300GHz). Transversale Moden können in der Regel in dem engen Kanal nicht anschwingen. Bei einigen ausgewiesenen Laserdioden kann über den LD-Strom und die Temperatur leicht Einmoden-Betrieb eingestellt werden. Die Linienbreite beträgt beim Einmoden-Betrieb und guter Temperaturstabilisierung einige GHz [2]. Über die Kohärenzlänge findet man in den Firmenschriften keine Angaben. Sie ist nach unseren Beobachtungen mindestens vergleichbar mit der eines He-Ne-Lasers. Beim Mehrmoden-Betrieb kann die Linienbreite bis zu 1nm betragen, die bei einem Gitter (ab 600 Striche/mm) in der ersten Beugungsordnung schon sichtbar wird.

4. Wellenlängenänderung

Der wesentliche Vorteil des Diodenlasers gegenüber dem He-Ne-Laser ist die Möglichkeit, die Wellenlänge über den relativ großen Bereich von 20nm durchstimmen zu können, was neue Demonstrationsexperimente ermöglicht..

Die Wellenlänge kann sowohl über die Temperatur als auch über den Diodenstrom durchgestimmt werden. Der maximale Durchstimmbereich ist bei dem möglichen Temperaturintervall größer als bei dem zulässigen Stromintervall. Über die Temperatur wird im wesentlichen die Resonatorlänge verändert, was eine Wellenlängenänderung von ca. 0,3nm/K bewirkt, durch den Strom beträgt sie ca. 0,01nm/mA. Da der Strom ab der Schwellstromstärke für Lasertätigkeit um ca. 40mA anwachsen darf, beträgt die hiermit erreichbare Änderung nur ca. 0,4nm. Die Temperatur kann mit Hilfe eines Peltierelements ohne größeren Aufwand im Bereich von -20 bis $+40^{\circ}\text{C}$ eingestellt werden, was einer Änderung um 18nm entspricht. Der Aufbau einer entsprechenden Anordnung ist in [2] und [3] beschrieben.

Der Nachweis der Wellenlängenänderung kann man in einem Zweistrahl-Blockinterferometer nach [6] aus Float- oder Plexiglasplatten oder einem Stichtgitter (ab ca. 600 Striche/mm) nachgewiesen werden. Mit einem Blockinterferometer ($d=4\text{cm}$) ist bereits zu erkennen, daß die Wellenlängenänderung nicht kontinuierlich erfolgt und daß nach ca. 0,3nm jeweils ein Modensprung auftritt. Genauere Untersuchungen erfordern hier jedoch moderne Interferometer, wie sie z.B. in [7] beschrieben sind.

5. Experimente

Mit den Laserdioden lassen sich natürlich die üblichen optischen Versuche zur Interferenz und Beugung ebenso gut demonstrieren wie mit einem He-Ne-Laser. Der Aufwand ist allerdings wesentlich kleiner. Besonders eindrucksvoll ist, diese Experi-

mente in Form eines Freihandexperiments mit dem füllfederhaltergroßen "Laser Pointer" [5], sozusagen mit einem Laser aus der Hosentasche, durchzuführen. Versuche zum Nachweis der Wellenlängenverschiebung erfolgen am besten mit dem unter 4) erwähnten, besonders preisgünstigen Blockinterferometer. Die Möglichkeit, die Wellenlänge über den relativ großen Bereich von 20nm durchstimmen zu können, gestattet den Aufbau von einfachen Demonstrationsexperimente zur modernen Laserspektroskopie. Wir planen hierzu Experimente zunächst zur Resonanzfluoreszenz am Beispiel des Joddampfes und zur Laser-Ionisationsspektroskopie [2]. Weitere Anwendungsbeispiele findet man z.B. in [7].

Darüber hinaus ist auf einen interessanten Aspekt hinzuweisen. Mit den Laserdioden sind zur Zeit noch eine Reihe von Untersuchungen möglich sind, die über das normale Demonstrationsexperiment hinausgehen und "echte" Forschung darstellen können. So gesehen ist der Diodenlaser ein sehr "soziales" Forschungsgerät. Es ermöglicht mit einfachsten Mitteln in hochaktuelle Forschungsgebiete einzusteigen. Diese Chance bekommt man nicht oft geboten.

6. Literatur- und Bezugsquellenverzeichnis

- [1] Produktbeschreibungen der Firmen: Sharp, Hitachi, Toshiba, Philips (Anschriften siehe Bezugsquellen)
- [2] J. Lawrenz and K. Niemax, "A semiconductor diode laser spectrometer for laser spectrochemistry", *Spectrochimica Acta* 448 (1989) S. 155-164
- [3] C. E. Wieman and Leo Holberg, "Using diode lasers for atomic physics", *Rev. Sci. Instrum.* 62 (1991) S. 1 - 20
- [5] Bezugsquellen Laserdioden:
Toshiba: TOLD 9200 (670nm, Mehrmoden-Betrieb, 4mW, ca. 120,-DM) oder TOLD 9211 (670nm, Einmoden-Betrieb möglich, 3mW, ca. 180,-DM)
Lieferfirma: Glyn GmbH, Am Wörtzgarten 8, 6270 Idstein;
Philips: CQL84-D (635nm, Einmoden-Betrieb möglich, 3mW, ca. 650,-DM) oder CQL80-D (670nm, Mehrmoden-Betrieb, 5mW, ca. 130,-DM);
Lieferfirma: Laser Components GmbH, Postfach 265, 8038 Grobenzell;
Laserzeiger: Laser Pointer, Bausatz Best. Nr. 10311, ca. 200,-DM;
Lieferfirma: ELV GmbH, Postfach 1008 2950 Leer;
Peltierelemente: AMS Elektronik, Albrechtstr. 14, 8000 München 19 oder Conrad Elektronik, Postfach, 8452 Hirschau
- [5] D. Nährmann, "Das große Werkbuch Elektronik", Franzis Verlag, München 1984 (4.Auflage) und 1989 (5. Auflage)
- [6] G. Koppelman, N. Hensel, "Nachweis von Axial-Moden in einem He-Ne-Laser", Tagungsband Didaktik der Physik, Hrsg. W. Kuhn, Gießen 1986
- [7] W. Demtröder, "Laserspektroskopie", SpringerVerlag, Heidelberg 1991