

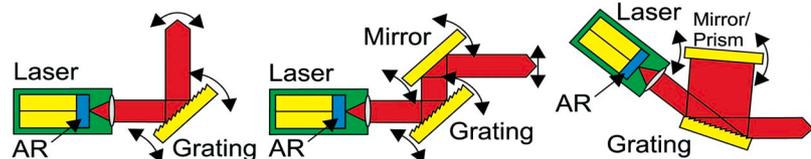
# Diodenlaser mit externem Resonator und entspiegelter 'blauer' Laserdiode

**042** Lars Hildebrandt, Richard Knispel, Joachim R. Sacher, Sacher Lasertechnik, Marburg

Im Vergleich zu herkömmlichen Lasern zeichnen sich Laserdioden durch ihre geringe Größe, ihre Zuverlässigkeit und die einfache Bedienbarkeit aus [1]. Allerdings lässt die Durchstimmbarkeit vieler am Markt erhältlicher Standard-Laserdioden oft zu wünschen übrig. Diodenlaser mit externem Resonator (ECDLs, External Cavity Diode Lasers) stellen eine interessante Alternative dar.

## 1 Einführung

Typische (single mode) Standard-Laserdioden haben eine Linienbreite von einigen zehn bis zu einigen hundert MHz. Die Emissionswellenlänge eines solchen Halbleiterlasers kann mit Hilfe von Strom- und Temperaturänderungen durchgestimmt werden. Derzeit sind kostengünstige Laserdioden, welche bei Zimmertemperatur emittieren, bei 380 nm bis 430 nm, 625 nm bis 1100 nm sowie bei 1250 nm bis 1700 nm erhältlich. Für den Einsatz einer Laserdiode in einem externen Resonator muss die Frontfacette in der Regel mit ei-



**Bild 1:** Diodenlaser in Littrow-Anordnung ohne (links) und mit (Mitte) Strahlkorrekturspiegel sowie in Littman-Anordnung (rechts)

ner Antireflexionsschicht beschichtet werden, wodurch die Eigenmoden der Laserdiode unterdrückt werden. Die Endflächen der Laserdiode haben durch den Brechungsindexunterschied von Halbleiter und Luft typischerweise eine Reflektivität von 30 % bis 40 %. Mehrere dielektrische Schichten sorgen dann für eine Restreflektivität von typisch  $R < 0,02$  %.

## 2 Aufbau eines Diodenlasers mit externem Resonator

In **Bild 1** ist der Diodenlaser in externem Resonator in sog. Littrow-Anordnung schematisch dargestellt [2]. Das Licht aus der antireflexionsbeschichteten Frontfacette trifft kollimiert und in streifendem Einfall auf ein holographisches Gitter hoher Strichzahl. Die erste Beugungsordnung des Gitters wird in die Diode zurückreflektiert. Das Gitter bildet zusammen mit der Rückfacette der Diode den Resonator. Die nullte Beugungsordnung des Gitters wird als Nutzstrahl des Resonators ausgekoppelt. Durch Drehung des Gitters kann die Laserwellenlänge durchgestimmt werden. Hierbei erfährt der Laserstrahl eine Winkeländerung oder nach Einbau eines Strahlkorrekturspiegels einen Parallelversatz. Eine zweite Konstruktion ist der ex-

Wellenlänge	Littrow-cw-Leistung	Littman-cw-Leistung
400 – 420 nm	15 – 25 mW	3 – 8 mW
625 – 700 nm	8 – 15 mW	2 – 5 mW
730 – 1100 nm	50 – 200 mW	10 – 40 mW
1230 – 1660 nm	5 – 15 mW	2 – 5 mW

**Tabelle 1:** Erreichbare cw-Leistung des externen Resonators

terne Resonator in Littman-Anordnung (s. **Bild 1**) [3]. Der Ausgangsstrahl der Laserdiode, deren Frontfacette antireflexionsbeschichtet ist, trifft auch hier auf ein Gitter. Die erste Beugungsordnung des Gitters wird auf eine Reflexionsoptik (Spiegel oder Prisma) gebracht und von dieser über das Gitter in die Diode zurückgeworfen. Hier bilden die Spiegeloptik und die Rückfacette der Diode den Resonator - die nullte Beugungsordnung dient wieder als Nutzstrahl. Durch Drehungen der Spiegeloptik kann die Laserwellenlänge durchgestimmt werden.

## 3 Eigenschaften des Diodenlasers mit externem Resonator

Littrow- und Littman-Diodenlaser zeichnen sich jeweils durch Eigenschaften aus, die sie für unterschiedliche Anwendungen prädestinieren. Der Diodenlaser in Littrow-Anordnung ist besonders einfach zu justieren, günstig zu realisieren und bietet außerdem höhere Ausgangsleistungen als der Littman-Diodenlaser (s. **Tabelle 1**). Der

Hauptnachteil der in **Bild 1** gezeigten Konstruktion ist ein sich beim Durchstimmen bewegender Strahl. Hauptanwendung dieses Lasertyps sind z.B. Raman-Spektroskopie und optisches Pumpen von Atomen oder Molekülen, wobei schmale Linienbreiten, genaue Einstellbarkeit der Wellenlänge und hohe Ausgangsleistung gefordert sind, ein Durchstimmen der einmal eingestellten Laserwellenlänge aber nicht routinemässig vorgesehen ist. Soll dagegen die Wellenlänge über weite Bereiche durchgestimmt werden, und darf sich der Ausgangsstrahl dabei nicht bewegen, so ist die Littman-Anordnung zu bevorzugen, da hier die Wellenlängendurchstimmung durch Spiegeldrehung erfolgt und das Gitter und damit auch der Nutzstrahl dabei nicht bewegt wird. In beiden Anordnungen wird ein piezoelektrisches Element verwendet, mit dem die Wellenlänge um etwa 1 nm durchgestimmt werden kann. **Tabelle 1** zeigt eine Übersicht der erreichbaren cw-Leistungen.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Entspiegelte 'blaue' Laserdioden

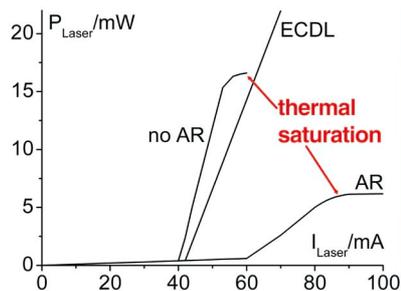
Laserdioden im blauen Spektralbereich für Datenspeicheranwendungen, die ein geeignetes Strahlprofil sowie Lebensdauern von

über 5000 h besitzen, sind seit kurzer Zeit kommerziell verfügbar. Um solche Laserdioden in einem externen Resonator einsetzen zu können, hat Sacher Lasertechnik Anti-Reflektions-Beschichtungen speziell für diese 'blauen' Laserdioden entwickelt.

Die Facetten der Laserdioden besitzen auch hier eine Reflektivität von ca. 30 bis 40 %. Selbst bei guter Rückkopplung vom Gitter stören ohne Entspiegelung drei Resonatoren den Monomode-Betrieb des gesamten Lasersystems [4].

**Bild 2** zeigt die drei Resonatoren im externen Resonator. Die Resonatoren werden gebildet durch 1) das reflektierende Element und die Rückfacette der Laserdiode, 2) beide Facetten, 3) die Frontfacette und das reflektierende Element.

Die Entspiegelung der 'blauen' Laserdioden wurde durch mehrere dielektrische Schichten erreicht, wobei eine Restreflektivität  $R$  von unter 0,5 % erzielt werden konnte [5]. Auf diese Weise verschwinden die beiden störenden Resonatoren 2 und 3 in Bild 2. Wie erfolgreich dieses Verfahren ist, zeigt **Bild 3**. Die Kennlinie der unbeschichtete Laserdiode zeigt einen Schwellstrom von 40 mA und eine Sättigung bei über 52 mA, was eine maximale Leistung von weniger als 15 mW zur Folge hat.

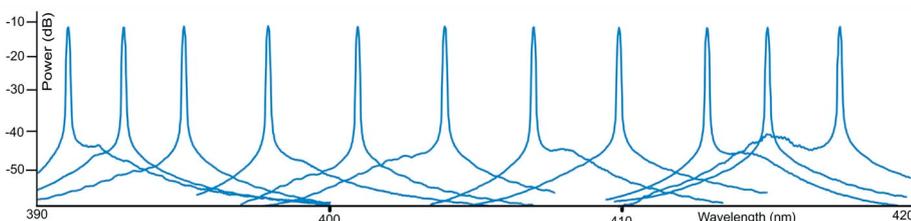


**Bild 3:** Kennlinien derselben Laserdiode, unbeschichtet, entspiegelt und in Littrow-Anordnung (TEC 100)

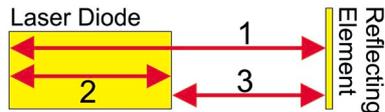
Da dieser ECDL keine Sättigung zeigt, können bei einem Laserstrom von 80 mA bis zu 30 mW Leistung erzielt werden, was allerdings zu einer Verkürzung der Lebensdauer der Laserdiode gemäß  $\exp(E_A/kT)$  führen kann.

### 4.2 Entspiegelte 'blaue' Laserdioden in externen Resonatoren

Dieselben Laserdioden wurden vor und nach der Entspiegelung in Littrow- und Littman-Anordnung getestet. Bei der Littrow-Anordnung ergab sich eine kleine Verbesserung hinsichtlich der modensprungfreien Durchstimmbarkeit von über 25 GHz im Gegensatz zu etwa 15 GHz ohne Beschichtung. Hauptsächlich konnte jedoch eine Verbesserung im allgemeinen Verhalten des Lasers erzielt werden. Bei der unbeschichteten Diode stellte sich die Einstellung des Gitters als sehr schwierig heraus und auch nach der Justierung trat in weiten Bereichen erneut Multimode-Betrieb auf. Dies wurde zuvor bereits bei unbeschichteten Laserdioden bei einer Wellenlänge von 780 nm beobachtet [6].

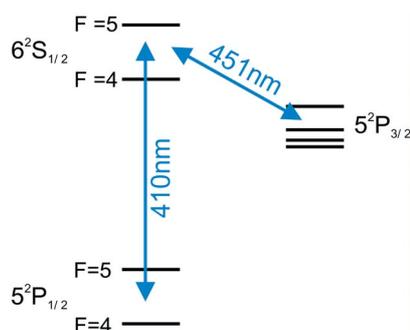


**Bild 4:** Zusammenstellung der typische Emissionsspektren von mehreren entspiegelten, 'blauen' Laserdioden in externen Resonatoren



**Bild 2:** Die drei Resonatoren einer unbeschichteten Laserdiode im externen Resonator

Bei der Verwendung von entspiegelten Laserdioden trat der Multimode-Betrieb kaum noch auf. Die erzielbare Leistung konnte von 15 auf mehr als 20 mW erhöht werden und der Grobdurchstimmungsbereich konnte auf kleinere Wellenlängen ausgedehnt werden, wie z.B. 395,5 bis 399 nm anstatt 397 bis 398,5 nm ohne Entspiegelung. Durch geringfügige Abkühlung oder Temperaturerhöhung kann der Durchstimmbereich um weitere  $\pm 1$  nm erweitert werden.

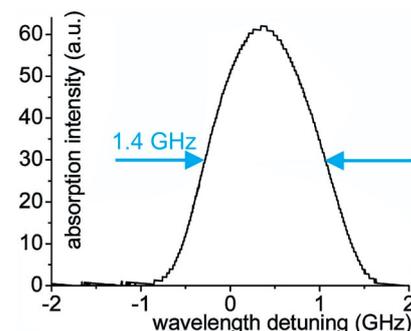


**Bild 5:** Ausschnitt des Indium-Thermoschemas bei 410 nm

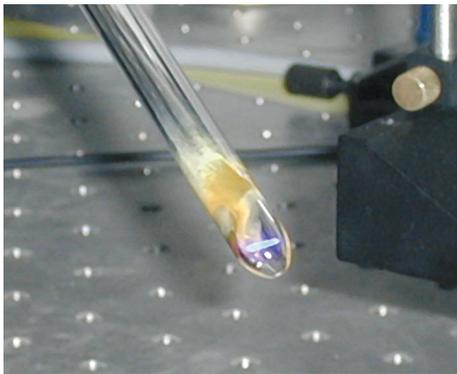
freie Durchstimmbarkeit von über 25 GHz. Hinsichtlich der Grobdurchstimmbarkeit sind die Littman- und Littrow-Anordnung vergleichbar. Aufgrund der Länge der Laserchips (1 mm) ist bei der Littman-Anordnung kein größerer modensprungfreier Durchstimmungsbereich zu erwarten, als bei der Littrow-Anordnung. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist, dass mit der Littman-Anordnung problemlos in eine 6- $\mu\text{m}$ -Singlemode-faser eingekoppelt werden kann. Bild 4 zeigt eine Übersicht der mit verschiedenen 'blauen' Lasern erzielbaren Wellenlängen.

### 4.3 Anwendungsbeispiel: Indium-Atom-Absorption- und Fluoreszenzspektroskopie

Hauptanwendungsgebiete für diese Lasersysteme sind z.B. die Atom-Absorptions-Spektroskopie (AAS) [7], Fluoreszenz-Spektroskopie oder Atom-Lithographie, für die kostengünstige Laser im blauen Spektralbereich benötigt werden. Mit einem einfachen Aufbau konnten wir sowohl die Fluoreszenz als auch Lichtabsorption detektieren. Der Strahl eines TEC 500 Littman-Lasers mit einer Wellenlänge von 410 nm wird durch eine mit Indium gefüllte Vakuum-Absorptionszelle geleitet und trifft auf den Silizium-Detektor. Um so viel wie möglich von dem Element zu verdampfen, wird die Zelle auf über 1300 K erhitzt. **Bild 5** zeigt einen Ausschnitt des Thermoschemas von Indium. Der  $6^2S_{1/2}$ -Energiezustand des verdampften Indiums konnte vom  $5^2S_{1/2}$  Grundzustand durch Absorption von Laserlicht mit einer Wellenlänge von 410 nm erreicht werden. **Bild 6** zeigt das Absorptionsprofil mit einer Linienbreite von etwa 1,4 GHz (FWHM). Die angeregten Atome zeigen danach Fluoreszenz mit einer Wel-



**Bild 6:** Absorptionsprofil von Indium bei 410 nm



**Bild 7:** Indiumzelle mit blauer Fluoreszenz

410 nm) herauszustellen, die in dieser Form einmalig ist. Solche entspiegelte 'blaue' Laserdioden wurden nicht nur erfolgreich in Littrow- und Littman-ECDLs eingesetzt, sondern es konnten bereits industrietaugliche und modensprungfrei durchstimmbare Lasersysteme für die Spektroskopie demonstriert werden.

#### Literaturhinweise:

- [1] C.E. Wieman, L. Hollberg: Using diode lasers for atomic physics. Rev. Sci. Instrum. 62 (1), pp. 1-19, 1991.
- [2] T.W. Hänsch: Repetively Pulsed Tuneable Dye Laser for High Resolution Spectroscopy. Appl. Optics, Vol. 11, No. 4, pp. 895-898, 1972.

lenlänge von 451 bzw. 410 nm. **Bild 7** zeigt die erhitzte Indiumzelle mit blauer Fluoreszenz.

#### 5 Zusammenfassung

Als wirkliche Besonderheit ist an dieser Stelle die entspiegelte Laserdiode mit Emission im blauen Spektralbereich (um

- [3] M.G. Littman, H.J. Metcalf: Spectrally narrow pulsed dye laser without beam expander. Applied Optics, Vol. 17, No. 14, pp. 2224-2227, 1978.
- [4] J.R. Sacher, D. Baums, P. Panknin, W. Elsässer, E.O. Göbel: Intensity instabilities of semiconductor lasers under current modulation, external light injection, and delayed feedback. Physical Review A, Vol. 45, No. 3, pp. 1893-1905, 1992.
- [5] D.J. Lonsdale, A.P. Willis, T.A. King: Extended tuning and single-mode operation of an anti-reflection-coated InGaN violet laser diode in a Littrow cavity. Meas. Sci. Technol. 13 (2002) 488-493
- [6] L. Hildebrandt, R. Knispel, J. Sacher: Kompakte External-Cavity-Dioden-Laser für die industrielle Messtechnik. tm – Technisches Messen 68 pp. 374-379, 2001.
- [7] K.B. MacAdam, A. Steinbach, C. Wieman: A narrow-band tuneable diode laser system with grating feedback, and a saturated absorption spectrometer for Cs and Rb. Am. J. Phys. 60 (12), pp. 1098-1111, 1992.

#### Ansprechpartner:

Lars Hildebrandt  
 Leiter LaserSysteme  
 Sacher Lasertechnik GmbH  
 Hannah Arendt Str. 3-7  
 35037 Marburg  
 Tel. 06421/305-290  
 Fax 06421/305-299  
 eMail: contact@sacher.de  
 Internet: www.sacher.de



ANZEIGE(N)