

Diodenlaser: die nächste Generation

Neue Diodenlasersysteme und Elektronikmodule helfen bei einer Vielzahl von Anwendungen.

Rudolf Neuhaus und Jürgen Stuhler

Laserdioden haben sich in weiten Bereichen als praktische, kompakte und hocheffiziente Lichtquellen durchgesetzt. Ihre Anwendungsgebiete reichen von der Materialbearbeitung und Medizintechnik bis in Massenmärkte wie optische Datenspeicherung, wo Laserdioden millionenfach zum Einsatz kommen. Immer häufiger – vor allem in der Physik – reichen hohe Leistung und Effizienz nicht mehr aus. Komplexe und hochauflösende Experimente setzen eine extrem genaue Kontrolle über die Diode und das von ihr emittierte Licht voraus.



Der neue Diodenlaser DL pro von TOPTICA beinhaltet viele Verbesserungen.

Stabil dank externem Gitter

Um die spektral breite Emission und Multimodigkeit einer Laserdiode in den Griff zu bekommen, lässt sie sich mit einem Gitter stabilisieren. Die bewährteste Realisierung der Gitterstabilisierung ist die Littrow-Konfiguration, bei der die Diode und ein außerhalb der Diode montiertes Beugungsgitter einen externen Resonator bilden (External Cavity Diode Laser, ECDL). Die 1. Ordnung des Gitters wird in die Diode zurück reflektiert, während die 0. Ordnung als Ausgangsstrahl dient (Abb. 1). Dieser Aufbau ermöglicht die höchsten Ausgangsleistungen von ECDLs. Das genial einfache Littrow-Hänsch-Design nutzt ein Festkörpergelenk für die Gitterbewegung, über das sich die Emissionswellenlänge des Lasers durchstimmen lässt. Dieses Design wurde vor über zwölf Jahren von der Firma TOPTICA Photonics AG aufgegriffen und im DL 100 perfektioniert. Auch nicht antireflexbeschichtete Laserdioden können damit in ihrem Verstärkungsbereich kontrolliert bei jeder Wellenlänge auf einer Mode lasen

und eine typische Linienbreite von deutlich unter 1 MHz erreichen. Die erreichbaren Wellenlängen hängen vom verfügbaren Halbleitermaterial ab und liegen zurzeit zwischen 372 und 1670 nm. Zum einwandfreien Betrieb eines durchstimmbaren Diodenlasers gehört eine stabile und rauscharme Treiberelektronik.

In klassischen Anwendungsgebieten gitterstabilisierter Diodenlaser, wo sie z. B. zum Fangen, Kühlen, Detektieren und Manipulieren von Atomen und Ionen dienen, müssen sie häufig über Stunden oder Tage auf der Resonanzfrequenz von Atomen oder Ionen

bleiben. Hierfür ist eine elektronische Stabilisierung erforderlich. Thermische Driften, Geräusche und Vibrationen von Pumpen oder Menschen im Labor stören den Laser. Leichte Stöße z. B. können die Stabilisierung beeinträchtigen oder vollständig unterbrechen. Eine verminderte Anfälligkeit gegenüber akustischen Störungen, Vibrationen und Temperaturänderungen ist daher besonders wünschenswert.

Andere Anwendungsgebiete dagegen erfordern es häufig, die Wellenlänge des Lasers zu verändern. So variiert die Wellenlänge im Allgemeinen bei der Untersuchung individueller Quanten-Dots oder bei der Arbeit mit Mikroresonatoren und photonischen Kristallen. Für die Charakterisierung von z. B. Kantenfiltern muss der Laser einfach weit durchgestimmt werden können. Das Littrow-Hänsch-Design ermöglicht zwar die Verstimmung, eine größere Wellenlängenänderung ist jedoch meist mit etwas Justage-Aufwand verbunden. Vor allem häufige Wechsel der Wellenlänge sollten einfach sein oder automatisiert geschehen.

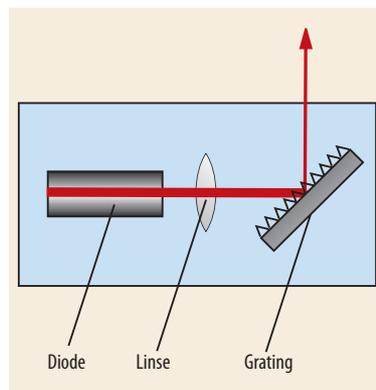


Abb. 1 Aufbau eines Diodenlasers mit externem Resonator im Littrow-Design.

Die nächste Generation

Alle diese Verbesserungswünsche wurden im neuen gitterstabilisierten Diodenlaser „DL pro“ der Firma TOPTICA erfüllt. Er basiert weiter auf dem bewährten Littrow-Resonator, jedoch wurde dessen mechanische Realisierung völlig anders ausgelegt. Die getrennte Grob- und Feindurchstimmung erlauben es, das Gitter so präzise zu führen, dass auch größere Wellenlängenänderungen einfach durch Drehen einer Schraube möglich sind. Die modensprungfreie Feindurchstimmung ist mit einem raffinierten System aus Festkörpergelenken realisiert, die vorgespannt, deutlich steifer und damit unempfindlicher gegen äußere Störungen sind. Gleichzeitig erlauben sie eine Drehung des Gitters um den theoretisch idealen Drehpunkt, der außerhalb der Mechanik liegt. Damit gelang es, die modensprungfreie Durchstimmung mehr als zu verdoppeln. Geeignete Materialwahl und Geometrie haben den Einfluss thermischer Schwankungen um etwa einen Faktor 10 reduziert. Der Laser bleibt länger monomodig und ist einfacher zu stabilisieren. Die Mechanik erlaubt weiterhin einen Diodentausch, der für zeitkritische Experimente gegebenenfalls vor Ort durchführbar ist.

Stabilisierungs-Elektronik

Ein häufig vernachlässigter weil zeitraubender Teil des Lasersystems ist die zugehörige Elektronik, insbesondere spezielle Regler zur Stabilisierung der Laserfrequenz. Die wichtigsten Wünsche sind hier eine höhere Stabilität sowie eine weitere Reduzierung der Laserlinienbreite. Die geringere Linienbreite ermöglicht Spektroskopie mit höherer Auflösung und gestattet Anwendungen in der Metrologie sowie im Quanten-Computing, z. B. die Manipulation elektronischer Zustände in Atomen und Ionen. Eine rauscharme Stromquelle ist die Basis, um beide Wünsche zu erfüllen.

Bei der Stabilisierungs-Elektronik gibt es z.B. bei der Firma TOP-

TICA zwei neue Entwicklungen: Sowohl der FALC 110 als auch das DigiLock 110 sind Module für TOP-TICAs rauscharmes Elektronik-System SYS DC 110. Beide Module haben mehrere Ausgangskanäle und eine große Bandbreite für einen stabileren „Lock“. Während die Analogelektronik FALC 110 auf die Stabilisierung von Diodenlasern spezialisiert ist, lässt sich das DigiLock mit seiner Computersteuerung extrem vielseitig einsetzen. Es basiert auf flexibler FPGA-Hardware (Field Programmable Gate Array), welche die eigentliche Stabilisierung übernimmt, während die umfangreiche Software steuert und analysiert. Die Analysefunktionen unterstützen bei der Optimierung der Lockparameter, während auch weniger erfahrene Benutzer den Laser im „Auto-Lock“-Modus steuern und per „Click & Lock“ einfach stabilisieren können (Abb. 2). Beide Module schaffen es, die Laser-Linienbreite erheblich zu reduzieren.

Linienbreite

Der FALC 110 ermöglicht durch individuelle Anpassung auf das Lasersystem Linienbreiten, die fast nicht mehr vom Laser, sondern hauptsächlich von der Drift und Güte der Referenz abhängig sind. So ist es Janis Alnis aus der Arbeitsgruppe von Theodor Hänsch am MPQ gelungen, einen Diodenlaser mit dem FALC auf unter 1 Hz

Linienbreite zu stabilisieren [1]. Der Laser wird verstärkt, zweimal frequenzverdoppelt, und für die 1S-2S-Spektroskopie an atomarem Wasserstoff verwendet [2].

In manchen Anwendungen ist eine zu schmale Linienbreite allerdings hinderlich. Ein Beispiel ist die Hyperpolarisierung von Helium-3 für die Magnetresonanztomografie. Das Helium-3 wird eingeatmet und als harmloses Kontrastmittel verwendet [3]. Für diesen Fall hat TOPTICA den LCC (Laser Coherence Control) entwickelt. Dieses Gerät erlaubt es, die Linienbreite auf Werte bis über mehrere GHz kontrolliert zu vergrößern. Somit ist es möglich, die Linienbreite z. B. an das Absorptionsprofil des Heliums anzupassen und damit die Effizienz des optischen Pumpens zu maximieren. Eine andere Anwendung für vergrößerte Linienbreiten ist die Unterdrückung der stimulierten Brillouin-Streuung in Hochleistungs-Faserverstärkern. Mit größeren Linienbreiten lassen sich deutlich höhere Ausgangsleistungen erreichen. Die vorgestellten Techniken ermöglichen nicht nur Linienbreiten, sondern auch Kohärenzlängen, die neun Größenordnungen abdecken.

- [1] J. Alnis et al., arXiv:0801.4199v1
- [2] N. Kolachevsky et al., Phys. Rev. A 73, 021801R (2006)
- [3] W. Schreiber, R. Surkau, Phys. Blätter März 1999, S. 45



Abb. 2 Die Steuer- software für das DigiLock 110. Alle Parameter übersichtlich im Griff. Einfache Bedienung durch „Click & Lock“.