

Digitale Bedienkonzepte halten Einzug ins Laserlabor

Nachdem in den späten Siebzigerjahren des letzten Jahrhunderts Halbleiterdioden kommerziell zur Verfügung standen, wurden die ersten Diodenlaser entwickelt. Diese spielen heutzutage eine immer größere Rolle, beispielsweise für Anwendungen in der Materialbearbeitung, der Biomedizin oder in der Prozesskontrolle. Speziell schmalbandige Diodenlaser dienen aber auch als hochpräzise Lichtquellen im Feld der kalten Atome und Ionen, in der Quanteninformationstechnologie oder in der Präzisionsspektroskopie zur Untersuchung der internen Struktur der Atome und zur genauen Bestimmung fundamentaler Naturkonstanten. Ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet sind optische Atomuhren, die eine hochpräzise Zeitmessung erlauben ¹⁾.

Schmalbandige, durchstimmbare Diodenlaser

Viele dieser Anwendungen beruhen auf der Anregung eines atomaren Übergangs, d. h. ein Laserphoton wird absorbiert, wenn seine Wellenlänge genau auf den Energieunterschied der beteiligten atomaren Niveaus abgestimmt ist. Um geeignete Photonen bereitzustellen, werden durchstimmbare Diodenlaser mit schmalen Linienbreiten und geeigneter Wellenlänge benötigt. Dazu wird

eine Laserdiode in einem externen Resonator zusammen mit einem frequenzselektiven Element (einem optischen Gitter) eingebaut. Dies reduziert die Linienbreite und erlaubt es, den Laser über einen gewissen Frequenzbereich

zu verstimmen und somit die Laserfrequenz auf den atomaren Übergang abzugleichen. Heutzutage lassen sich mit gitterstabilisierten Diodenlasern (External Cavity Diode Lasers, ECDLs) Wellenlängen von 190 nm bis 3000 nm entweder direkt, oder durch effiziente Frequenzverdopplung bzw. Frequenzvervierfachung erzeugen.

In den letzten Jahren wurden gitterstabilisierte Diodenlaser opto-mechanisch immer weiter verbessert. Toptica Diodenlaser der »pro«-Reihe beispielsweise bieten durch ein durchdachtes Design und moderne Fertigungstechniken einen großen Durchstimmbereich und eine schmale Linienbreite bei gleichzeitig ausgezeichneter Stabilität gegenüber Vibrationen und Änderungen der Umgebungsbedingungen.

Lasersteuerung auf Fingerzeig

Mit dem DLC pro folgt nun der nächste Schritt: eine neue Generation von Steuerelektronik-Geräten (Abb. 1). Der digitale Laser-Controller ergänzt die ausgezeichneten opto-mechanischen Eigenschaften der Laserköpfe durch ein



modernes digitales Bedienkonzept und liefert gleichzeitig verbesserte Rauschwerte für anspruchsvolle Experimente. Darüber hinaus stellt das Gerät noch weitere Vorzüge der »digitalen Welt« zur Verfügung, wie Computer- und Netzwerksteuerung oder die Speicherung von Systemparametern.

Neben klassischen haptischen Bedienelementen, die gegebenenfalls auch eine »Blindbedienung« erlauben, ist das neue Gerät zusätzlich mit einem Touch-Screen ausgerüstet. Dieser erlaubt es, Signale und Feedback aus dem Experiment graphisch darzustellen und übernimmt auch die Funktion eines Oszilloskops. Dadurch lässt sich der Laser be-

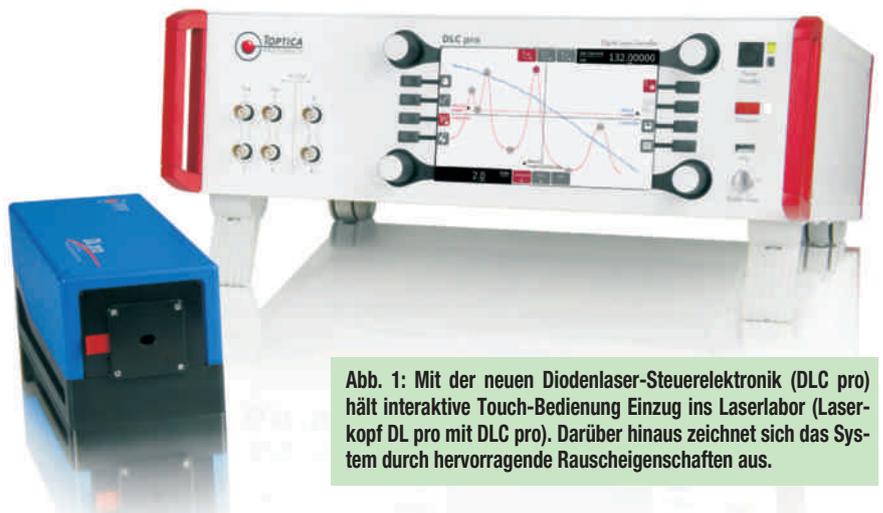


Abb. 1: Mit der neuen Diodenlaser-Stuerelektronik (DLC pro) hält interaktive Touch-Bedienung Einzug ins Laserlabor (Laserkopf DL pro mit DLC pro). Darüber hinaus zeichnet sich das System durch hervorragende Rauscheigenschaften aus.

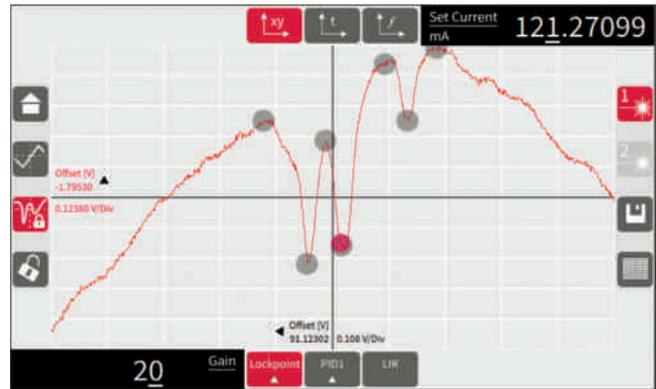
Die Autorin



Dr. Marion Lang ist Director Marketing der Toptica Photonics AG, Gräfelfing bei München.



Abb. 2: Am Touch-Display können Messdaten angezeigt und wichtige Parameter wie Scanoffset, Scanamplitude oder Lock-Parameter interaktiv ein-



gestellt werden. Geeignete Merkmale zur Stabilisierung des Lasers ermittelt das System automatisch und markiert sie durch Kreise im Spektrum.

sonders intuitiv steuern – beispielsweise können Scanamplitude und Scan-offset durch einfache Touch-Gesten verändert werden.

Der DLC pro verfügt über einen Strom- und Temperatur-Controller für die Laserdiode sowie über einen Piezo-Controller, der das Gitter im ECDL steuert. Die Kommunikation mit den Controllern übernimmt ein FPGA Main Controller, der auch die Scansignale zur modensprungfreien Durchstimmung oder zur Modulation der Laserfrequenz liefert.

Die Steuerelektronik ist in der Lage, Eingangssignale, beispielsweise Feedback aus dem Experiment, weiterzuverarbeiten. Das Spektroskopie-Signal einer mit Rubidium gefüllten Gaszelle lässt sich so beispielsweise direkt auf dem Gerät darstellen. Die Steuerelektronik verfügt zudem über einen digitalen Lock-In-Verstärker und zwei digitale Proportional-Integral-Differential-Regler, um den mit Abstand häufigsten Einsatzbereich, das aktive Stabilisieren der Laserfrequenz auf ein Spektroskopie-Signal, revolutionär zu vereinfachen. Dadurch kann der DLC pro direkt geeignete Lock-Punkte (z. B. Flanke, oder Minimum/Maximum) in einem Spektrum ermitteln (dargestellt durch Kreise im Spektrum); und der Anwender kann die Laserfrequenz ganz intuitiv per Touch-Geste auf eines dieser Merkmale schieben (Abb. 2). Antippen eines dieser Punkte selektiert das Merkmal, ein weiterer Klick startet die Frequenzstabilisierung des Lasers.

Dafür wird der Scan automatisch beendet und der Laser auf das ausgewählte spektrale Merkmal aktiv stabilisiert.

Alle Funktionen stehen auch für eine Fernsteuerung über eine mitgelieferte PC-Software zur Verfügung. Dies ermöglicht eine Lasersteuerung aus der Ferne, z. B. über USB oder Ethernet. Dabei kann das eigentliche Experiment auch tausende Kilometer weit entfernt stattfinden.

Bei der Umsetzung des digitalen Konzepts wurde insbesondere darauf geachtet, die technischen Eigenschaften wie Rausch- und Driftwerte gegenüber einem analogen Vergleichssystem zu verbessern. Dadurch konnte das Stromrauschen und damit die Frequenzrauschdichte der Laserfrequenz deutlich verbessert werden. Der DL pro kann seine ausgezeichneten opto-mechanischen

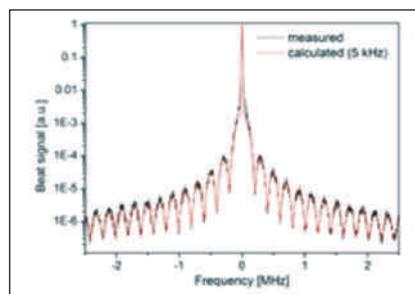


Abb. 3: Die neue Elektronik besitzt signifikant verbesserte Rausch- und Driftwerte; was zu einer deutlich reduzierten Linienbreite des Lasers (ohne Frequenzstabilisierung) führt. Eine Selbstheterodyne Linienbreitenmessung eines DLC DL pro bei 1200 nm zeigt eine schnelle Linienbreite (5 μ s) von nur 5 kHz.

Qualitäten nun voll ausspielen, und die Linienbreite im freilaufenden Betrieb wird deutlich reduziert (Abb. 3). Im dargestellten Fall eines DL pro bei 1200 nm konnte mit dem DLC pro eine schnelle Linienbreite von 5 kHz erzielt werden. Auch die Langzeitstabilität der Laserfrequenz, die sich u. a. durch den Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Driften der Temperatur-, Piezo- und Stromcontroller ergibt, wird deutlich verbessert.

Anwendungsbeispiele »Slow Light« und LIDAR

Von den herausragenden technischen Eigenschaften der neuen digitalen Steuerelektronik werden insbesondere Anwendungen mit mehreren Lasern profitieren. Hierbei ist es entscheidend, dass jeder einzelne Laser eine hohe Stabilität besitzt und weder eine starke Drift noch Modensprünge aufweist. Ihr wahres Potenzial zeigt die neue Elektronik aber bei Experimenten, die Laser mit Linienbreiten im Hertz bis sub-Hertz Bereich über lange Zeit stabilisieren, beispielsweise bei optischen Atomuhren ²⁾. Die Rauscharmut der Elektronik vereinfacht es, die Laser auf Hz-Linienbreiten zu stabilisieren, während die geringen Driften zu extrem hohen Modensprungstabilitäten führen.

Die Vorteile in Bedienkonzept und Stabilität des Lasers lassen sich eindrücklich in einem »slow light«-Experiment darstellen – hierbei lässt sich die Licht-

geschwindigkeit mit einem »Fingerzeig« verändern.

In den letzten 15 Jahren hat sich »Langsames Licht« zu einem spannenden Forschungsgebiet entwickelt, welches unterschiedlichste Anwendungsmöglichkeiten verspricht – beispielsweise für Puffer in der Telekommunikation, optische Speicher oder das Timing von LIDAR-Mehrkanalsystemen ³⁻⁵. Die Gruppengeschwindigkeit v_g (=Vakuumlichtgeschwindigkeit c / Gruppenindex n_g) kann durch verschiedene Mechanismen beeinflusst werden, mit denen bereits Gruppenindices von $n_g > 100$ erreicht wurden.

Abbildung 4 zeigt einen Aufbau zur Änderung der Lichtgeschwindigkeit basierend auf einem DLC DL pro (780 nm)

einer der Rubidium-Resonanzlinien verschieben und die Gruppengeschwindigkeit des Lichts drastisch reduzieren. In der Nähe der Resonanzen reagiert der Aufbau extrem empfindlich gegenüber einer Änderung der Laserfrequenz. Dank der hervorragenden Stabilitätseigenschaften des DLC DL pro bleibt die einmal eingestellte Laserfrequenz und damit auch die ermittelte Gruppengeschwindigkeit selbst unter Messebedingungen (live demonstriert auf der Photonics West 2014) extrem stabil.

Neben bequemer und moderner Handhabung im Labor bietet die digitale Steuerelektronik auch eine einfache Fernbedienung, z. B. von Computern aus einem Steuerzentrum. In Verbindung mit der ausgezeichneten Langzeit-

ein entferntes Ziel zu ermitteln. In den meisten Fällen wird dazu ein gepulster Laser verwendet, der häufig von einem schmalbandigen ECDL-Laser geseeded wird. Hierfür wird der Diodenlaser auf ein Fabry-Perot Interferometer oder Atomübergänge frequenzstabilisiert. Mit der neuen digitalen Steuerelektronik kann dieser Laser von jedem beliebigen Ort aus kontrolliert werden.

Fit für die Zukunft

Die neue digitale Lasersteuerung für durchstimmbare Diodenlaser ermöglicht es, das Potential der Laser voll auszuschöpfen. Gleichzeitig ist sie auch ein großer Schritt in Richtung zukunftsweisende Technologien. Neue Funktionen und Konfigurationen benötigen keine Änderungen der Hardware mehr, sondern können bequem als Software- bzw. Firmware-Updates realisiert werden. Im Laufe des Jahres werden auch nachverstärkte (TA pro) und frequenzkonvertierte Diodenlaser (SHG/FHG pro) mit der neuen Technologie verfügbar sein. Die neue Steuerelektronik öffnet die Tür für die Möglichkeiten, welche die digitale Zukunft bringt.

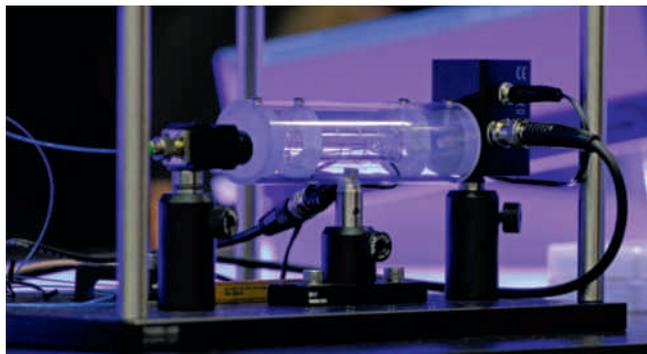
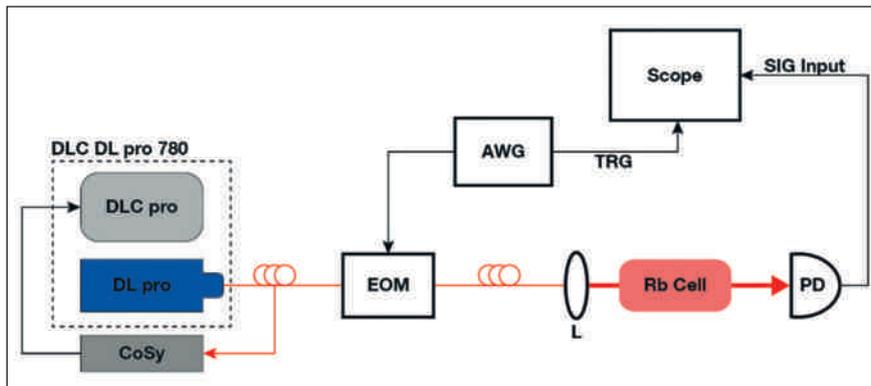


Abb. 4: Dieser Messaufbau zur Erzeugung von »langsamerem Licht« ist ein Anwendungsbeispiel für den DLC DL pro. Das Experiment war auf der Photonics West 2014 live zu sehen.

und einer Rubidium-Gaszelle. In diesem Experiment werden kurze Pulse erzeugt, die die Rb-Gaszelle durchqueren an deren Ende sie mit einer Photodiode detektiert werden. In unmittelbarer Nähe der Rb-Resonanzlinien ändert sich die Dispersion stark und damit auch die Gruppengeschwindigkeit der Pulse. Am Touch-Display lässt sich durch »Fingerzeig« die Laserfrequenz entlang

stabilität werden so hochpräzise Laseranwendungen an schwer zugänglichen Orten möglich. Ein Beispiel hierfür sind LIDAR (Light Detection And Ranging) Untersuchungen der Temperatur, Zusammensetzung und Bewegung verschiedener atmosphärischer Schichten in der Arktis ⁶. LIDAR analysiert rückgestreutes Licht, um daraus Eigenschaften wie Abstand, Temperatur und andere Information über

KONTAKT

Toptica Photonics AG www.toptica.com

Literatur

1. Diddams, S. A., Bergquist, J. C., Jefferts, S. R. & Oates, C. W. Standards of Time and Frequency at the Outset of the 21st Century. *Science* 306, 1318–1324 (2004).
2. Lang, M. It's time for new clocks. *Phys. Best* 22–24 (2012).
3. Bigelow, M. S., Lepeshkin, N. N. & Boyd, R. W. Superluminal and Slow Light Propagation in a Room-Temperature Solid. *Science* 301, 200–202 (2003).
4. Slow light now and then. *Nat. Photonics* 2, 454–455 (2008).
5. Shi, Z., Boyd, R. W., Camacho, R. M., Vudya-asetu, P. K. & Howell, J. C. Slow-Light Fourier Transform Interferometer. *Phys. Rev. Lett.* 99, 240801 (2007).
6. Lautenbach, J. & Höffner, J. Scanning iron temperature lidar for mesopause temperature observation. *Appl. Opt.* 43, 4559–4563 (2004).