

# Diodenlaser und mehr

Eine Plattform für die industrielle diodenlaserspektroskopische Sensorik im NIR und IR

Johannes Kunsch, Olching

*Die optische Analyse mit Diodenlasern steht vor dem Durchbruch. Besonders für Quantenkaskadenlaser erwarten Experten einen entscheidenden kommerziellen Schub. Dem Anwender dieser Strahlquellen stehen Zubehör-Elektronik, Treiber sowie Steuer- und Regelgeräte bereits zur Verfügung.*

Die diodenlaserspektroskopische Sensorik erwächst den Kinderschuhen. In diesem Jahr werden, laut Schätzungen, bereits etwa 5 bis 10 Prozent der verkauften Infrarotgassensoren und -analytoren nach diesem Prinzip arbeiten. Mindestens eine Verdopplung des Anteils innerhalb der nächsten fünf Jahre wird erwartet. Trotz dieses dynamischen Wachstums wird der Markt für spektroskopische Laserdioden mit einem voraussichtlichen Anteil von zirka 0,4 Prozent am Gesamtmarkt für Laserdioden, immer noch ein Nischenmarkt bleiben [1].

Natürlich beruht die Diodenlaserspektroskopie auf Bauteilen und Baugruppen, die für die Telekommunikation entwickelt wurden. So konzentriert sich derzeit ein Großteil des getätigten Umsatzes auf DFB- (Distributed-Feedback-) Laser, die entweder direkt im Bereich von Telekomwellenlängen arbeiten oder aber auf Grund der gesammelten Erfahrungen für andere Bereiche modifiziert wurden. Jedoch hat die Spektroskopie auch andere bedeutsame technische Entwicklungen entscheidend vorangetrieben. So ist der Single-Mode- (SM-) VCSEL-Diodenlaser von Avalon Photonics 1995 zuerst für die Sensorik (und hier speziell für den optischen Sauerstoffsensor) entwickelt und später zur Industriereife gebracht worden. Industriereife heißt in dem Fall, mindestens eine Lebensdauer zu erreichen, die drei bis fünf Jahren Dauerbetrieb entspricht. [2]

Im folgenden Artikel beleuchten wir einen Aspekt der spektroskopischen Pionierarbeit gesondert: Die Entwicklung einer kommerziellen Peripherie für die »hochgezüchteten« Diodenlaser im NIR und MIR. Durch das Angebot von Steuer- und Regelgeräten für spektroskopische Laser eröffnet Laser Components Geräte-

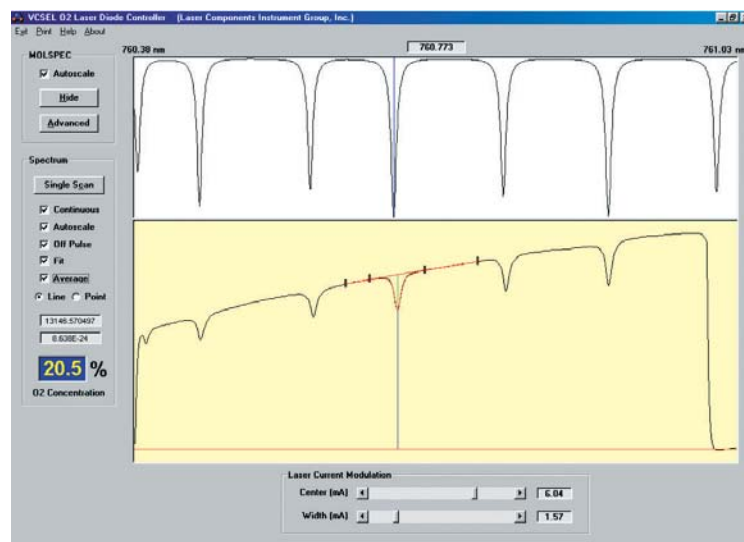


Bild 1. Das gelb hinterlegte Messsignal (unten) zeigt einen Beispielscan für Sauerstoff, bei dem zur Konzentrationsberechnung eine der Linien ausgewählt wurde. Die aus einer Datenbank synthetisch generierte Kurve (weißer Bereich) dient zur Liniendifferenzierung

herstellen die Möglichkeit, sich mehr auf die Applikation konzentrieren, die Systementwicklung zügig voran zu treiben und somit die eigenen Geräte schneller zur Marktreife zu führen. Basierend auf den vorgestellten Produkten werden sich zusätzliche Anwendungsfelder in der Medizintechnik, Prozessmesstechnik, Interferometrie und Umweltmesstechnik erschließen.

## Diodenlaser-Absorptionsspektroskopie (TDLAS)

Die TDLAS ist ein hochauflösendes, nicht-dispersives spektrometrisches Verfahren: Der Diodenlaser als selektive Strahlquelle tastet einen charakteristischen Teil des zu untersuchenden Spektrums ab. Ein zusätzlicher Spektralapparat wird nicht benötigt. Die spektrale Abstimmung erfolgt mittels Stromänderung. Somit können

Messfrequenzen bis hin zu MHz und Auflösungen bis hin zu Sub-Milliwellenzahlen realisiert werden. Gemessen wird die transmittierte Strahlung.

Bild 1 zeigt einen Beispielscan für Sauerstoff. Die Konzentration der gesuchten Substanz wird über das Lambert-Beer Gesetz unter Kenntnis der Linienform berechnet. Mit dem TDLAS-Verfahren werden seit Jahrzehnten hervorragende wissenschaftliche Ergebnisse, etwa in der Spurenanalytik, erzielt. Das Verfahren ist selektiv, besitzt eine hohe

### HERSTELLER

Laser Components GmbH  
 82140 Olching,  
 Tel. 0 81 42 /28 64 -0,  
 Fax 0 81 42 /28 64 -11,  
[www.lasercomponents.com](http://www.lasercomponents.com)



Bild 2. Die Ansteuerplatine LC-V8 der Laser Components ermöglicht die individuelle Ansteuerung von acht Single Mode VCSEL

nen Koppelkondensator aufgeprägt werden. Damit ist es etwa möglich, Stromrampen gemäß Bild 1 zu erzeugen. Eine Einkanalvariante wird unter der Bezeichnung ›LC-V1‹ angeboten.

Die Applikationen in der Sensorik beruhen auf den Schlüsseleigenschaften:

- spektrale Reinheit,
- ohne Modensprünge,
- zeitlich stabiles, gaußförmiges Modenbild ohne Modenrauschen,
- geringer Stromverbrauch,
- hohe Abstimmbarkeit,
- große Kohärenzlänge.

Es können demnach nicht nur Gase spektral vermessen, sondern auch hochwertige Referenzstrahler und miniaturisierte Interferometer realisiert werden. Atomuhren werden optisch gepumpt, wodurch die Atomuhr am Handgelenk keine Fiktion mehr ist. Die Auslenkung von Cantilevern wird gemessen, dies ist bedeutsam in der Biotechnologie und bei Atomkraftmikroskopen. Es kann ein extrem feiner und zeitlich stabiler Punkt erzeugt werden, um Drehgeber und Laserlichtschranken präziser zu machen. Außerdem besteht die Möglichkeit, mittels Laserarrays Informationen auch simultan an mehreren Messstellen gleichzeitig zu gewinnen.

### Neue Plattform für Quantenkaskadenlaser (QCL)

Nach dem 3. QCL-Workshop im September 2002 im Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik in Freiburg war klar, dass der QCL gemäß dem Stand der Technik eine echte Perspektive für indus- ➤

Nachweisempfindlichkeit, ist kalibrierbar, erlaubt eine hohe Messrate beziehungsweise Zeitauflösung (etwa zyklenaufgelöst im Verbrennungsmotor), erlaubt Fernmessungen und einen hohen Dynamikbereich. Eine Vielzahl von Mole-

tern). Es ist in der Praxis jedoch nicht trivial, diese exzellenten Werte zu realisieren. Die Tücke liegt in der hohen Stromabstimmrate von 0,4 nm/mA (zirka 30-mal höher als bei DFB-Lasern). Jede Schwankung des Betriebsstroms führt zu einer starken Wellenlängenverschiebung. Anders gesagt: Die spektrale Breite des Single Mode VCSEL (und mit ihr die Kohärenzlänge) ist ein sehr empfindliches Maß für das Rauschen von Stromquellen. Basierend auf dieser Erkenntnis wurde die Achtfach-Stromansteuerung ›LC-V8‹ (Bild 2) für Kunden des Achtfach-Single-Mode-VCSEL-Arrays (Bild 3) entworfen.

Die Rauschwerte sind optimiert. Es wird eine Kohärenzlänge von zirka 8 m erreicht. Sollte dies nicht ausreichen, können noch rauschärmere Versionen kundenspezifisch gefertigt werden. Die Handhabung ist einfach, der User muss nur eine (auch unregelmäßige) Spannung von 15 V bereitstellen. Eine AC-Modulation bis zu 10 kHz kann extern über ei-



Bild 3. Das Laserarray Specdilias-V-763-MTE besteht aus zwei Reihen á vier Single Mode VCSEL und ist auf einem Peltierelement aufgebaut

külen ist auf diese Art und Weise selektiv und hochgenau spektroskopierbar, entsprechend breit sind die Anwendungsfelder. Die Literaturstellen [3] und [4] geben einen guten Überblick über die TDLAS, unter [5] wird die Plasmadiagnostik als eine Schlüsselapplikation näher beschrieben.

### Single Mode VCSEL ansteuern mit den LC-V1- / LC-V8-Boards

Ein guter Single Mode (SM) VCSEL der Specdilias-V-Serie hat eine Bandbreite von unter 30 MHz (oder in Kohärenzlängen umgerechnet von mehreren zehn Me-



Bild 4. Der Genpulse ermöglicht einen komfortablen und einfachen Betrieb von QCLs der Quanta-Serie

trielle Anwendungen hat. Serienreife Konzepte, basierend auf dem Pulsbetrieb, wurden präsentiert. [6] Die Messungen im MIR-Bereich erlauben – gegenüber dem NIR – eine Spektroskopie der Molekülgrundschwingungen [7]. Eine industriereife Technologie ist somit hoch interessant und birgt ein großes Potenzial. Demzufolge analysierte Laser Components den Stand der Technik und leitete die folgenden Anforderungen für die Laseransteuerungen ab:

- Strom- und Temperatursteuerung müssen integriert sein,
- der Laser muss hermetisch dicht verpackt werden,
- der Aufbau soll mit Standardbauteilen realisiert werden,
- das Peltierelement muss sich im Gehäuse befinden,
- die Umgebung darf, trotz der in Nanosekunden zu schaltenden hohen Ströme (bis zu 8 A), nicht elektromagnetisch verunreinigt werden.



Bild 5. Der Laser Specdilias-Q-MTE der Quanta-Serie ist mit einem Peltierelement samt Thermistor ausgestattet und hermetisch verschlossen

Der Prototyp des ›Gempulse‹ (Bild 4) wurde erstmals im Januar 2003 auf der Photonics West einem größeren Publikum vorgestellt. Gempulse stellt eine Plattform für Quantenkaskadenlaser dar, wobei Chips von verschiedenen Herstellern zum ›Quanta‹-Laser konfektioniert werden (Bild 5).

Der Quanta-Laser wird in den Laserkopf eingebaut und lässt sich mit der komfortablen Gempulse-Ansteuerung einfach betreiben. Die Laserintegration erfolgt werksseitig, ein Laserwechsel kann aber auch vom User selbst in etwa 15 Minuten erfolgen. Der Laserkopf ist miniaturisiert und benötigt von außen nur Versorgungs- und Steuersignale. Damit ist es

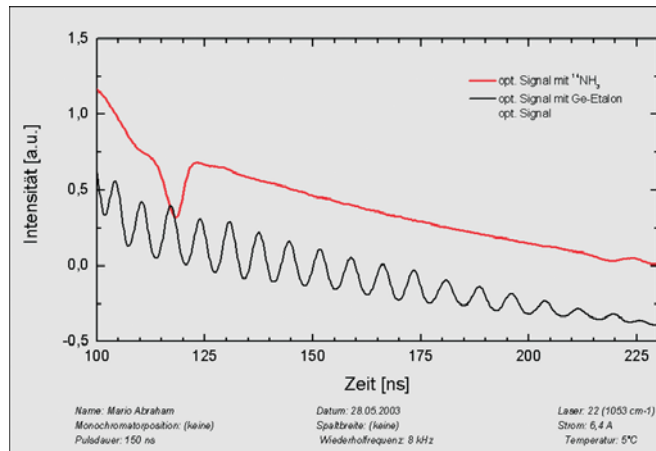


Bild 6. Gemessene Pulsform eines Specdilias-Q-1054-MTE mit zirka 150 ns Pulsdauer. Die Pulsung bewirkt eine Durchstimmung der Laserfrequenz von etwa einer Wellenzahl. Die rote Linie zeigt das optische Signal nach Durchstrahlen einer mit Ammoniak gefüllten Gasküvette. Die schwarze Kurve zeigt das optische Signal ohne Gasküvette, aber mit Etalon im Strahlengang

möglich, in einem nächsten Schritt den ›Gempulse OEM‹ mit definierten Schnittstellen je nach Wunsch des betreffenden Kunden zu fertigen.

Auf der Messe Laser 2003 wurden Gempulse und Quanta erstmals in ›Single Mode Qualität‹, also mit dem ersten Prototypen der künftigen Specdilias-Q Serie, der breiten Öffentlichkeit vorgestellt (Bild 6). Die Resonanz darauf war sehr gut.

Applikationen der Quanta-Laser sind nicht nur in den traditionellen Bereichen der Emissions- und Immissionsüberwachung zu suchen, wo nunmehr durch die zeitnahe Messung aktiv in den Prozess eingegriffen werden kann. Kinetiken werden zugänglich, egal ob es sich um Lastspitzen in einem Verbrennungsmotor oder die Optimierung von Plasmaprozessen handelt. Mediziner träumen davon, künftig eine Vielzahl von Erkrankungen schnell, sicher und in einem sehr frühen Stadium über Atemgasanalyse zu erkennen. Bei Asthma ist dies, dank eines in den USA entwickelten Geräts, bereits heute möglich. Die Produktqualität von Lebensmitteln kann durch exakte Bestimmung des Reifegrades optimiert werden.

## Fazit und Ausblick

Die Entwicklung der Gempulse- / Quanta-Familie ist sehr dynamisch. Bald werden wir über neue Varianten berichten können. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass in den nächsten 18 bis 24 Monaten ein erster kommerzieller Schub für die QCL-Anwendung in der analytischen Messtechnik erwartet wird.

Laser Components bietet ab sofort einen neuen, sehr wichtigen und bisher weltweit einmaligen Service an: Auf Grund der traditionellen, stabilen haus-eigenen Produktion von IV-VI-Diodenlasern ist es möglich, Machbarkeitsexperimente bei jeder beliebigen Wellenlänge im MIR kurzfristig im Labor zu realisieren und so Spezifikationen und Anforderungen vorab zu prüfen. Das Motto lautet: ›Eine theoretische Abschätzung ist gut, eine Messung ist besser.‹ Alle erforderlichen Qualifikationen sind bei Laser Components vorhanden. Der Autor steht dafür als Ansprechpartner zur Verfügung.

Gempulse, Quanta und Specdilias sind eingetragene Markennamen der Laser Components GmbH. <<

■ Dipl.-Phys. **Johannes Kunsch** ist Bereichsleiter IR-Detektoren und Diodenlaser bei Laser Components in Olching.

## Literatur

- 1 J. Kunsch, Commercial Aspects of TDLAS, 4th International Conference on Tunable Diode Laser Spectroscopy, July 14-18, Zermatt, Switzerland
- 2 M. Moser, T. Eberle, M. Brunner, Reliability of Single Mode VCSELs, Vorträge der GMM Fachtagung „Optische und elektronische Verbindungstechnik 2003 in München-Unterhaching“, GMM Fachbericht Band 41, S.47-51, VDE Verlag Berlin-Offenbach (2003)
- 3 M. Tacke, F. Wienhold, R. Grisar, H. Fischer and F.-J. Lübken, Laser Absorption Spectroscopy, Air Monitoring by Tunable Mid-infrared Diode, in Encyclopedia of Analytical Chemistry by R.A. Meyers (Ed.), 2033-2065, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2000
- 4 P. Werle, High Sensitivity Gas Analysis by mid and near Infrared Diode Lasers, 5th International Symposium on Gas Analysis by Tunable Diode Lasers, VDI Berichte, Band 1366, 1-16 (1998)
- 5 J. Röpcke, L. Mechold, M. Käning, J. Anders, F.G. Wienhold, D. Nelson and M. Zahniser, IRMA: A tunable infrared multicomponent acquisition system for plasma diagnostics, Rev. of Sci. Instrum. 71, 3706-3710 (2000)
- 6 J. Kunsch, Quantenkaskadenlaser: Technologie und Anwendungen, Photonik 6/2002, 54-56.
- 7 J. Kunsch, L. Mechold, Darf's auch mal im Mittleren Infrarot sein?, Physik Journal 2 Nr.6, 80-81 (2003)