

LIV-Messtechnik zur Laserdiodencharakterisierung: schnell und einfach

Steve Wright, Bernhard Neumann, Artifex Engineering e.K., Emden

Die zunehmende Nachfrage nach Hochleistungs-Laserdioden mit niedrigen Kosten pro Watt setzt Laserdiodenhersteller unter Druck, ihre Fertigung und den Prüfaufwand zu optimieren. Dabei hilft anwendungsspezifische LIV-Messtechnik mit hohem Durchsatz.

Laserdioden sind mittlerweile allgegenwärtig und selbst Laien bekannt. Vertraute Konsumprodukte wie CD- und DVD-Spieler, Lichteffekte in Diskotheken und demnächst Laser-Fernseher sind einige prominente Beispiele. Vermehrt werden Laserdioden jedoch in industriellen Anwendungen eingesetzt, die sehr hohe Leistungen erfordern. Im Bereich der Materialbearbeitung rütteln Hochleistungs-Laserdioden (high power laser diodes, HPLDs) an der Dominanz der bewährten CO₂- und Lampen-gepumpten Nd:YAG-Laser. In großem Stil werden HPLDs als Pump Laser für Faser- und Festkörperlaser (z.B. Nd:YAG) eingesetzt. Neuerdings werden sie aber auch als primäre Lichtquelle ("direct diode") für anspruchsvolle Anwendungen zur Marktreife entwickelt [1]. Voraussetzung für die hohe Effizienz und Lichtausbeute ist, dass der Lasermodulent-

wickler ausreichende Kenntnisse über die Eigenschaften der eingesetzten Laserbauteile besitzt. Eine genaue Charakterisierung ist also erforderlich. Ebenso geht der Fertigung einer Laserdiode eine intensive Entwicklungsphase voraus. Eine präzise und reproduzierbare Charakterisierung der erstellten Bauteile ist auch hier unerlässlich. Dabei spielt die LIV-Messung (Licht-Strom-Spannung) eine wichtige Rolle.

1 Was ist eine LIV Messung?

Mit LIV bezeichnet man die Messung der Laserleistung (L) und der Spannung (V) als Funktion des Stroms (I). Laserdioden sind optoelektronische Bauelemente, die kohärentes Licht abstrahlen, wenn ein elektrischer Strom durch die Diode fließt. Die emittierte Lichtintensität hängt vom eingetragenen Strom ab. Es bedarf stets eines

minimalen Schwellstroms, bevor kohärente Laser-Strahlung einsetzt. Unterhalb davon wird zwar Licht emittiert, dieses ist aber inkohärent – das Bauteil arbeitet als LED. Oberhalb des Schwellstroms steigt die optische Ausgangsleistung des Lasers linear proportional mit dem zusätzlich eingebrachten Strom an.

Somit ist die Kenntnis des Schwellstromwerts und der Steigung der Emissionskennlinie eine praktische Voraussetzung für die Auslegung der Laserdioden-Treiberelektronik. Da sich der Widerstand der Diode mit zunehmendem Strom ändert, stellen Laserdioden eine komplexere Last als rein ohmsche Widerstände dar. Detaillierte Kenntnisse über den Spannungsverlauf sind daher ebenfalls wichtig. Typische LIV-Messergebnisse zeigt **Bild 1**. In der linken Grafik ist die optische Leistung eines Hochleistungs-Laserdiodenbarrens

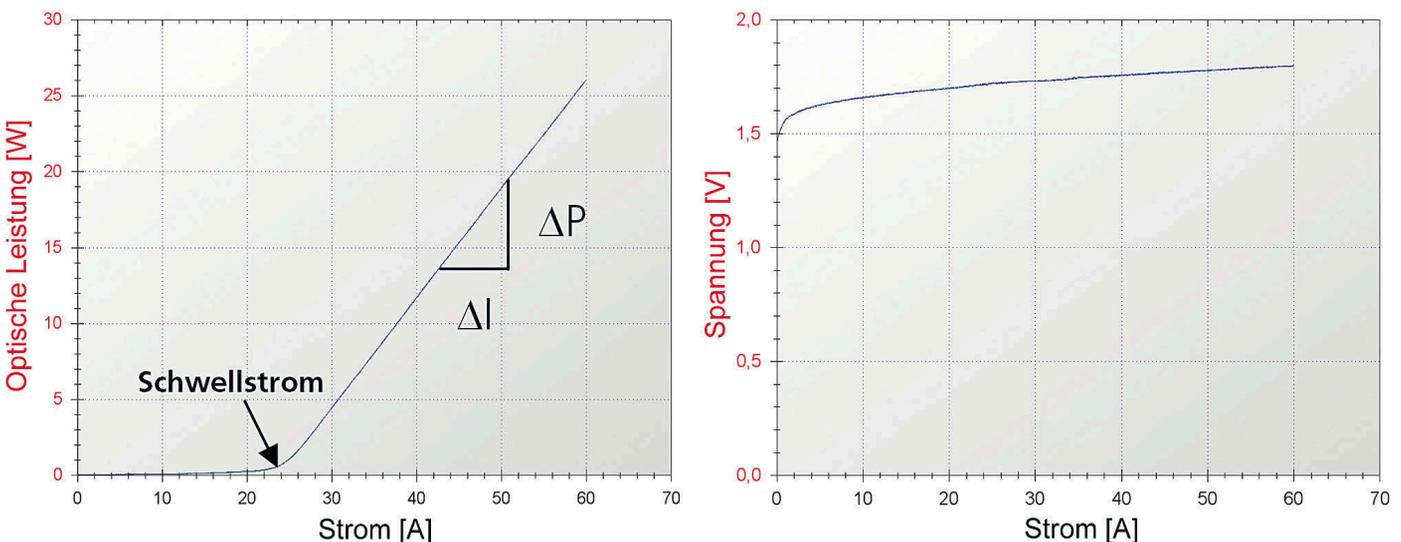


Bild 1: Beispiele für zwei LIV-Messkurven

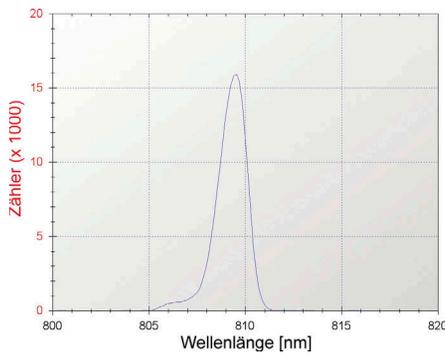


Bild 2: Spektrum eines Multimode-Diodenlasers

als Funktion des durchfließenden Stroms dargestellt. Der Übergang vom LED- zum Laserbetrieb findet in dem Kniebereich statt. Bei einem realen Laser ist dieser Übergang nicht beliebig scharf sondern abgerundet, wie hier auch zu erkennen ist. Die Auswertung dieser Krümmung ist erforderlich zur Bestimmung des Schwellstroms und der Steigungseffizienz η . Diese ist mathematisch gesehen – wie der Name andeutet – der Wert der Steigung im linearen Kurvenverlauf bei Laserbetrieb:

$$\eta = \Delta P / \Delta I \quad (Gl. 1)$$

Aus Bild 1 ist ersichtlich, dass eine Definition des Schwellstroms nicht ganz einfach ist. Es gibt verschiedene Algorithmen, die verbreitet eingesetzt werden, um den Schwellstrom zu bestimmen. Gängig und zuverlässig ist die Bestimmung über die zweite Ableitung [2]: an der Stelle des Schwellstroms erreicht diese Funktion ein ausgeprägtes lokales Maximum. Die Auswertung der Spannungs-kurve gibt weitere nützliche Information für die Auslegung der Stromtreiberelektronik in der Endanwendung des Lasers. Hier ist der differentielle

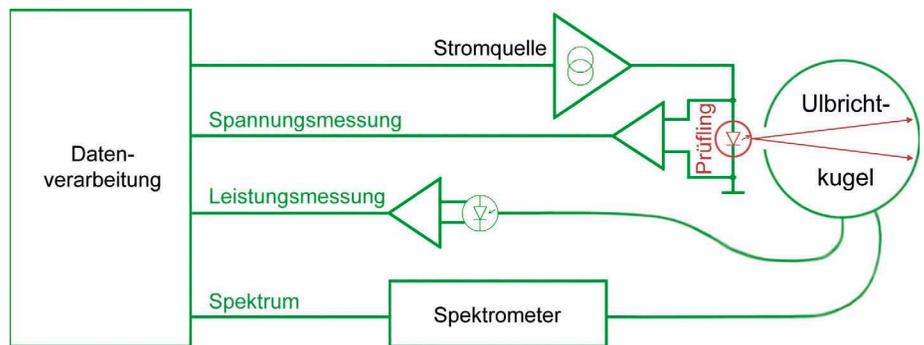


Bild 3: Blockschaltbild einer LIV-Messapparatur

Widerstand (= Steigung der dargestellten Kurve) und der Maximalwert der Spannung von Interesse.

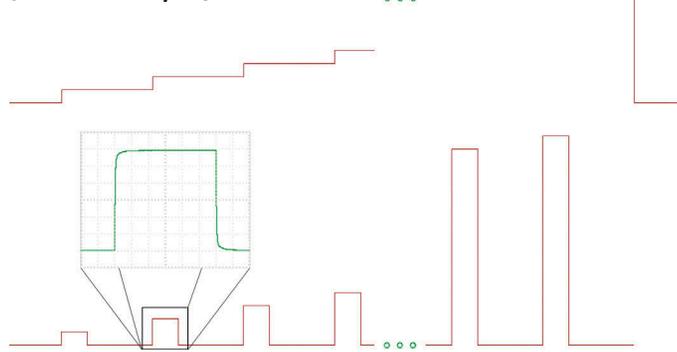
Zweckmäßigerweise wird oft auch das Wellenlängenspektrum der Strahlung (**Bild 2**) gleichzeitig mit den LIV-Kurven gemessen. Aus dieser Messung werden auch Informationen über die Wellenlängenverteilung und die Modenstruktur des Lasers gewonnen.

Um eine LIV-Messung durchzuführen, wird der Laser mittels einer digital gesteuerten Stromquelle betrieben. Somit kann eine synchronisierte Messung der optischen Leistung und der Spannung bei jedem Stromwert aus einer stetig steigenden Stromtreppe aufgenommen werden.

Bild 3 zeigt ein Blockschaltbild eines solchen Messaufbaus, und **Bild 4** gibt eine schematische Darstellung des Stromverlaufs für kontinuierliche und quasi-kontinuierliche (CW und QCW) sowie für gepulste Messungen.

Wichtig für die Genauigkeit ist, dass die Messdaten nur im stetigen Bereich der Leistungs- und Spannungssignale durchgeführt wird, und nicht während der Transienten. Um einen zeitlich möglichst großen Messbereich zu erhalten, sollten demnach die Strompulse steile Flanken ohne Überschwinger besitzen.

Bild 4: Schematischer Stromverlauf einer LIV-Messung, oben für CW, unten für gepulste Dioden (mit Messbeispiel)



2 Wer braucht LIV?

Die Charakterisierung von Laserdioden durch LIV-Messung findet in verschiedenen Bereichen statt. Bei der Weiterentwicklung von Laserdioden werden Messergebnisse fertiger Laser eingesetzt, um die Epitaxieverfahren und das Resonatordesign zu analysieren sowie um die Effektivität der thermischen Kontaktierung zu prüfen. Die Herstellungsverfahren und das Resonatordesign [3,4] beeinflussen den Schwellstrom und die Steigungseffizienz des Endprodukts (Bild 1). Somit

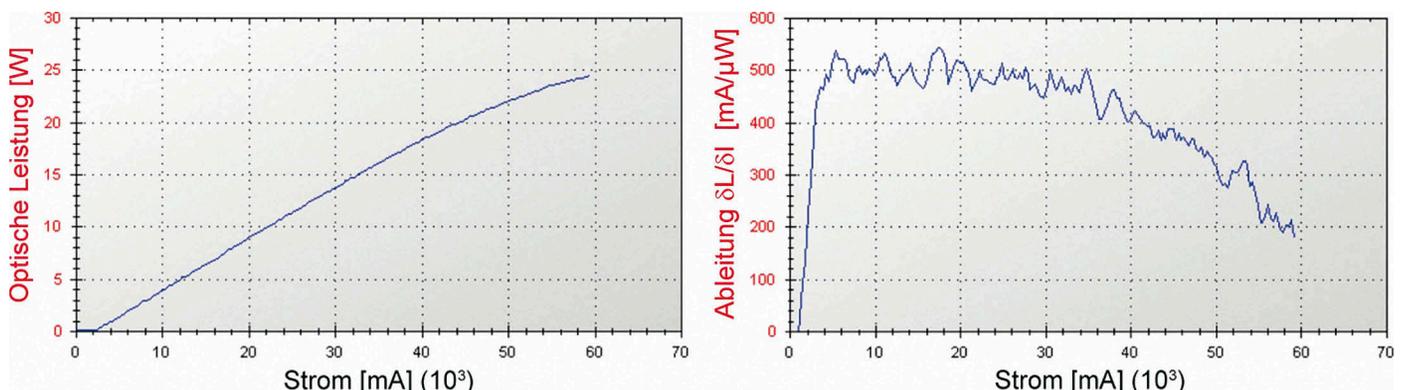


Bild 5: Abnahme der Lasereffizienz durch Überhitzung des Lasersubstrats

können über LIV-Messungen die Design-erfolge überprüft werden.

Die thermische Kontaktierung des Laser-substrats zur Wärmesenke (Submount) ist ein wesentliches Thema in der Laserentwicklung – insbesondere für HPLDs [5,6]. Auch hier sind LIV-Messergebnisse hilfreich, daher werden die Laser bei verschiedenen Pulsdauern und Tastverhältnissen¹ geprüft. Bei unzureichender Kühlung des Laserchips kommt es zu einer deutlichen Abnahme der Steigung der Leistungs-Strom-Kurve, insbesondere bei höheren Strömen (**Bild 5**).

In der Laserdioden-Produktion gilt es, die Ausbeute zu optimieren, um die Fertigungskosten zu minimieren. Dazu ist eine frühzeitige LIV-Prüfung der Laserchips unerlässlich. Die Dioden werden in der Fertigungsphase bereits geprüft, sobald sie zum ersten Mal laserfähig sind. Dadurch lassen sich kostenintensive Fertigungsschritte wie Bonding, thermische Kontaktierung, Linsenmontage und Packaging an defekten Laserchips vermeiden.

Nach Aussortieren der defekten Dioden werden die „guten“ Laserchips zum Endprodukt weiterverarbeitet und in der Regel noch einmal mittels LIV auf ihre Funktionsfähigkeit geprüft, bevor sie in die relative lange Phase des Burn-in übernommen werden. Danach erfolgt eine letzte LIV-Charakterisierung zur Qualitätssicherung und ggf. um Daten für ein mitzulieferndes Bauteilprotokoll zu erstellen. Ein Fertigungsablaufplan für HPLDs mit sinnvollen Zeitpunkten für LIV-Prüfungen ist in **Bild 6** dargestellt.

Wegen der häufigen Messungen in automatisierten Produktionsprozessen sollte eine fertigungsgaugliche LIV-Messapparatur wie in **Bild 7** kompakt und sehr schnell sein. Zu sehen ist ein kompaktes Komplettsystem, das zum Einbau in Fertigungsmaschinen sowie für den Laboreinsatz geeignet ist. Der Treiberstrom fließt durch die Kontaktplatine und die Federkontakte (goldfarben) in die zu prüfenden Laserdioden (nicht abgebildet). Diese Art der Kontaktierung eignet sich für Laserchips, Laserbarren und Chip-on-Submount. Das

¹ Verhältnis der Pulsdauer zur Gesamtzeit



Bild 7: LIV-Messapparatur für den Einsatz in der Fertigung

emittierte Licht wird mit einer Ulbrichtkugel (im Bildvordergrund) gesammelt und über eine Lichtleitfaser (orange) zur Messeinheit geführt.

Ein dediziertes System erlaubt autarke Messungen ohne nennenswerten Zeitverlust zwischen den einzelnen Prüfvorgängen. Somit sind nur die gewählten Pulsdauern und Tastverhältnisse für den Zeitbedarf der gesamten Charakterisierung ausschlaggebend. Beispielsweise wird ein Laserchip während einer Inspektion auf Barrenebene bei 500 ns Pulsdauer und 0,1% Tastverhältnis mit 1000 Stromstufen in 500 ms komplett vermessen. Diese Messdauer ist deutlich kürzer als die Zeit, die zum Kontaktieren des Lasers erforderlich ist – also ausreichend schnell für eine 100%-Prüfung während der Fertigung.

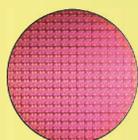
Zur Qualitätssicherung wird die optischen Leistung quantitativ und ihre erste Ableitung qualitativ ausgewertet. Für gute Laserdioden werden saubere, gerade Leistungskurven mit relativ scharfem Übergang zwischen LED- und Laserbetrieb gefordert, wie z.B. in **Bild 8**, hier mit folgenden Parametern: Peak-Wellenlänge 809,6 nm (FWHM 1,8 nm), Steigung 0,7 W/A, Schwellstrom 24,45 A und Reihenwiderstand 2,32 mOhm. Der Schwellstrom und die Steigungswerte müssen natürlich innerhalb der jeweiligen Laserspezifikation liegen.

Gerade die Auswertung der ersten Ableitung der optischen Leistung ist sehr hilfreich bei der Fehlersuche. Selbst wenig ausgeprägte Knickstellen („Kinks“) in der Leistungskurve werden in der ersten Ableitung deutlich sichtbar (s. **Bild 9**). Solche Einbrüche weisen in der Regel auf Dioden mit Fehlstellen im Kristall hin, die zu plötzlichen Änderungen in der Modenstruktur („mode hopping“) und zu einem frühzeitigen Ausfall der Laserdiode führen können [7]. Nicht nur kinks sind in der ersten Ableitung leichter zu erkennen, sondern auch ein beginnender Abfall der Steigung wie in Bild 5, was auf eine thermische Belastung des Lasers hinweist. Oberhalb des Schwellstroms sollte die Ableitung wie in Bild 8 auf einem nahezu konstanten Wert bleiben.

3 Zusammenfassung

Die LIV-Charakterisierung einer Laserdiode ist ein vielfältiges Werkzeug zur Beurteilung der Bauteilqualität. Einsatzbereiche der LIV-Messtechnik erstrecken sich daher von der Entwicklung der Diodenstruktur auf Wafer- über die Fertigungsüberwachung bis in die Qualitätssicherung des fertigen Produkts. Anwendungsspezifische Messgeräte eignen sich für alle Lasertypen und Bauformen von nackten Chips und Barren bis zum fertigen Pro-

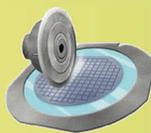
Bild 6: Fertigungsablauf für HPLDs mit Zeitpunkten der LIV-Charakterisierung



Wafer mit Diodenlasern



Wafer auf Blue Tape



Schneiden & Vereinzeln



Stapeln



Beschichten



Entstapeln

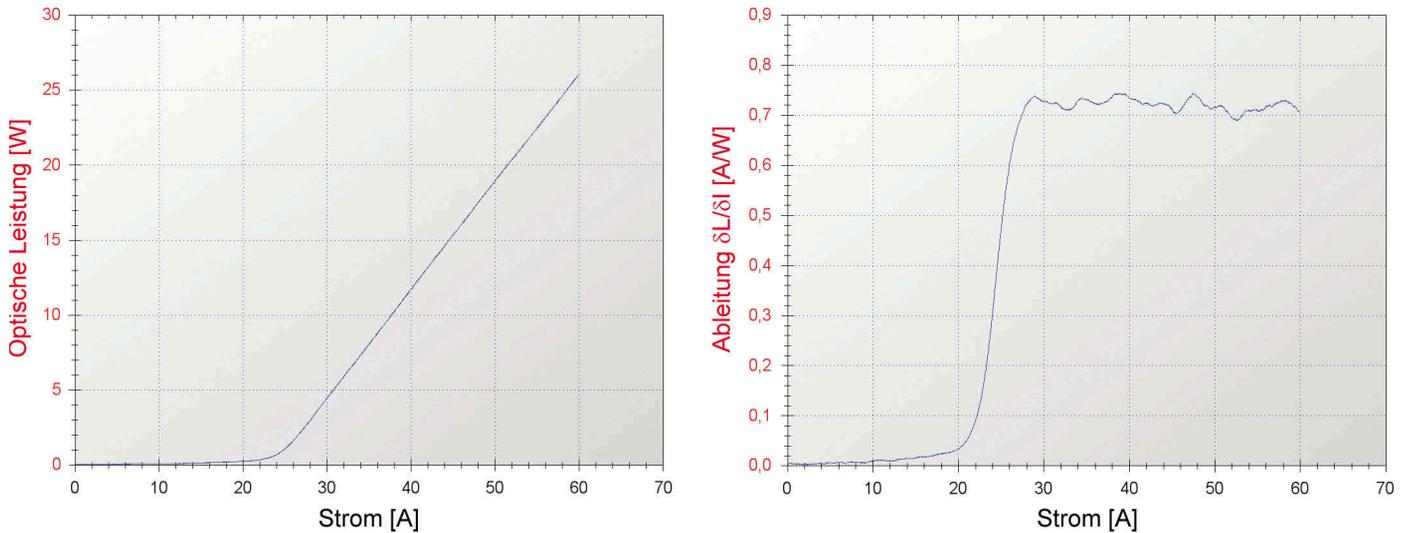


Bild 8: LIV-Kurven einer guten Laserdiode

dukt und für alle Leistungsbereiche mit Strombedarf von einigen 10 mA bis hin zu HPLDs mit mehreren 100 A.

Literaturhinweise:

- [1] D. Havrilla, R. Brockmann, S. Strohmaier, M. Holzer, *Dramatic advances in direct diode lasers*, Proc. SPIE 7583, High Power Diode Laser Technology and Applications VIII, 75830B (2010)
- [2] Bellcore Standard, *Introduction to Reliability of Laser Diodes and Modules*; SR-TSY-001369
- [3] R. Platz, G. Erbert, W. Pittroff, M. Malchus, K. Vogel, G. Tränkle, *400 μm stripe lasers for high-power fiber coupled pump modules*, High Power

- Laser Science and Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 60-67 (2013)
- [4] K. Paschke, S. Spießberger, C. Kaspari, D. Feise, C. Fiebig, G. Blume, H. Wenzel, A. Wicht, G. Erbert; *High-power distributed Bragg reflector ridge-waveguide diode laser with very small spectral linewidth*; Optics Letters, Vol. 35, Issue 3, pp. 402-404 (2010)
- [5] B. Sumpf, M. Pohl, W. Pittroff, R. Staske, G. Erbert et al., *654 nm broad area lasers for QCW operation with a maximal facet load of 76 mW/μm*; Proc. SPIE 8640, Novel In-Plane Semiconductor Lasers XII, 86400D (2013)
- [6] D. Lorenzen, M. Schröder, J. Meusel, P. Hennig, H. König, M. Philippens, J. Sebastian, R. Hülswede, *Comparative performance studies of indium and*

- gold-tin packaged diode laser bars*; Proc. SPIE, Vol. 6104, Paper No. 610404 (2006)
- [7] K. Luo, A.K. Chin, Z. Xu, A. Nelson, W. Gao, *Long-term reliability of high-power single-mode 980-nm pump laser diodes*, in: *High-Power Fiber and Semiconductor Lasers*; Proc. SPIE, Vol. 4993 (2003)

Ansprechpartner:

Dr. Steve Wright
Geschäftsleiter
Artifex Engineering e.K.
Dortmunder Str. 16-18
D-26723 Emden
Tel. 04921/58908-0
Tel. 04921/58908-0
Fax 04921/58908-29
eMail: sw@art-eng.de
Internet: www.art-eng.de



Bernhard Neumann
Produktspezialist Lasertechnik
Artifex Engineering e.K.
Dortmunder Str. 16-18
D-26723 Emden
Tel. 04921/58908-0
Tel. 04921/58908-0
Fax 04921/58908-29
eMail: bn@art-eng.de

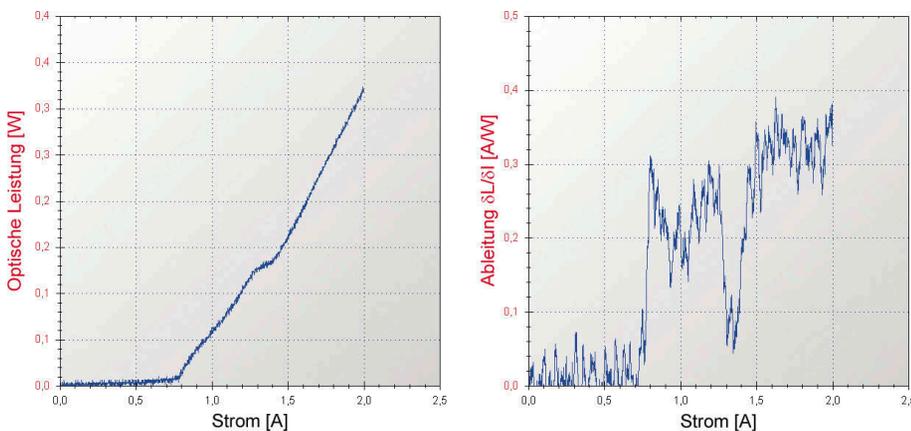
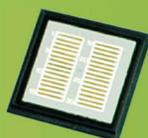


Bild 9: LIV-Kurven einer defekten Laserdiode

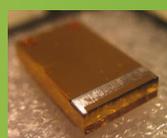
www.photonik.de ▶ Webcode 5002



Automatisierte Inspektion



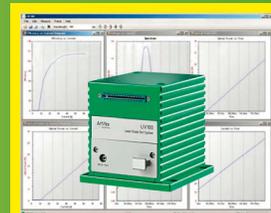
Sortieren



Bonding des Laserbarren



FAC-Kollimationslinsen



Charakterisierung des Endprodukts



Einbrennen (Burn In)