



# Brillante Zeiten mit fasergekoppelten Hochleistungslasermodulen

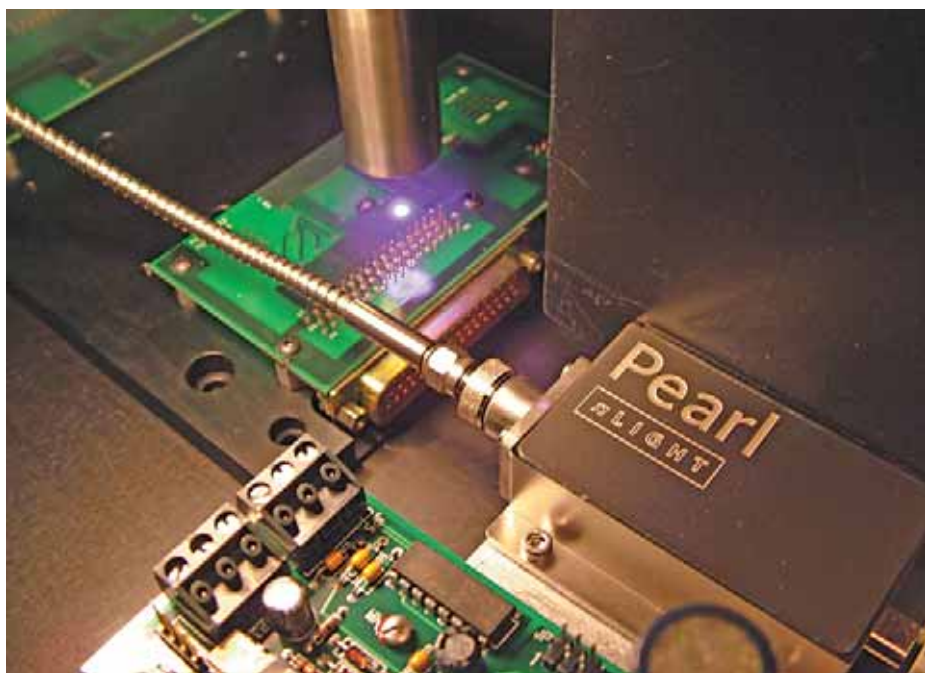
**Für die nächste Generation industrieller Laseranwendungen sind neue technologische Entwicklungen bei Halbleiterschichten und bei Diodenlasermodulen unerlässlich. Das bahnbrechende Ergebnis einer langen Entwicklungsserie ist ein fasergekoppeltes Hochleistungslasermodul, das auf der Verwendung einer Einzelemitter-Architektur aufbaut: das fasergekoppelte PEARL™-Modul von nLight.**

Mit der revolutionären Einzelemitter-Technologie ergeben sich gegenüber der Barren-Technologie entscheidende Vorteile in Bezug auf Brillanz, Leistungsskalierung, Zuverlässigkeit, Effizienz, Kostenreduktion und Flexibilität. Damit eröffnen sich neue Anwendungen, die bisher nicht oder nur mit

gesamte Markt für fasergekoppelte Diodenlaser ist in hohem Maße segmentiert. Klassische Beispiele für den Einsatz von Diodenlasern sind das Pumpen von Lasermedien in DPSS, Scheiben- und Faserlasern. Aber auch direkte Interaktionen zwischen Dioden und Materialien bilden ein großes

unterschiedlichen Anwendungen ergeben sich fünf klare Forderungen an neue fasergekoppelte Hochleistungsmodule: Dies sind höhere Brillanz, immer höhere Leistung, höhere Zuverlässigkeit und Lebensdauer, erhöhter Wirkungsgrad und natürlich sinkende Preise.

Daher muss ein neues Produkt flexibel sein und möglichst alle diese Forderungen berücksichtigen, um erfolgreich in den äußerst umkämpften Marktsegmenten bestehen zu können. Die Zielsetzung ist daher idealerweise eine Produktplattform, die auf die verschiedensten Märkte einfach zu adaptieren ist. Die bislang eingesetzte Barren-Technologie kann alle diese Forderungen in keinem Fall gleichzeitig erfüllen. Der folgerichtige Schritt: die Verwendung von Einzelemittern! Nicht größer und komplexer, sondern kleiner und effizienter (Grafik 1).



▲ Pearl im industriellen Einsatz: Laserlöten

erheblichem Aufwand realisiert werden konnten. PEARL™ wurde bereits von namhaften Industriekunden getestet, die ihrerseits die neue Technologie für innovative Systemleistungen umsetzen konnten, um sich gegenüber ihrem Wettbewerb zu differenzieren. Die Anforderungen und Rahmenbedingungen des Marktes dienten als Anstoß für das neuartige Konzept. Denn der

Marktsegment. Diese Anwendungen umfassen die Oberflächenvergütung, das Schweißen, Schneiden und die Chirurgie. Hinzu kommen laserbasierte Anzeigen, Lightshows und aufwändige Laserprojektionen. Dabei stehen einige Anforderungen an die Diodenmodule allerdings in einem erheblichen Konflikt mit denen aus anderen Anwendungen. Aus diesen oft sehr

## Zuverlässige Leistungsbausteine durch einzigartige Einzelemitter-Architektur

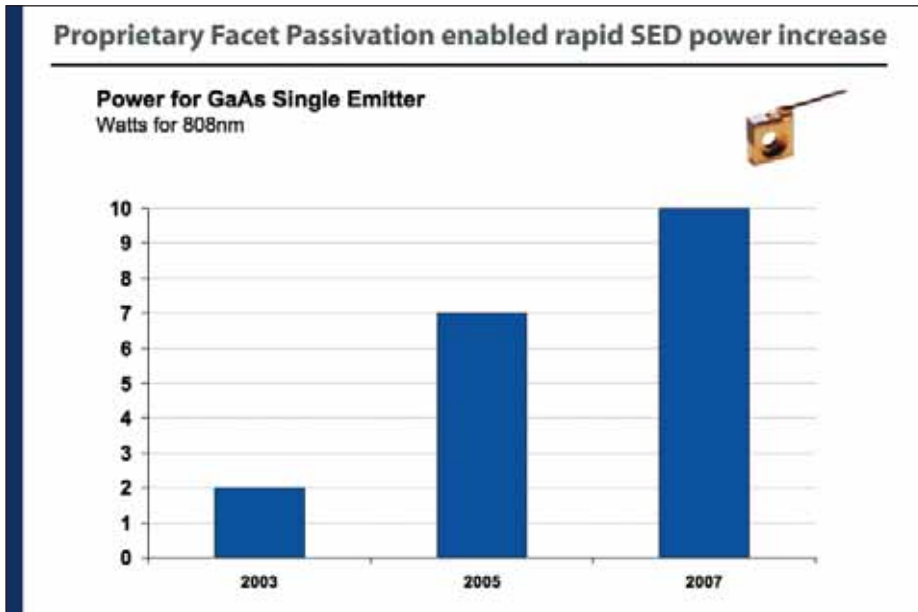
Das Außergewöhnliche bei der neuen nLIGHT-Architektur ist die Verwendung von mittels Gold-Zinn verlöteten Einzelemittern mit spezieller Facettenpassivierung. Zuerst räumlich kombiniert, werden sie im Anschluss mit einem speziellen Verfahren annähernd verlustfrei in den Kern einer Einzelfaser eingekoppelt. Dabei handelt es sich um einen grundlegend anderen technischen Ansatz als bei der bislang eingesetzten Barren-Technologie. Die Einzelemitter-Technologie ist bezüglich der Zuverlässigkeit und der Fertigung von großen Stückzahlen klar im Vorteil. Allerdings haben auch Hersteller von Barren-Materialien in der Vergangenheit neue Prozesse und Verfahren entwickelt und diese erfolg-

reich im Markt etabliert. Damit kann man auch eine größere Anzahl von Barren-Einzelemittler in Fasern einkop-

lassen Hersteller von fasergekoppelten Barren-Modulen den Ausfall von ein bis zwei Einzelemittlern zu, um so den

Im Vergleich dazu ist die Ausbeute bei Einzelemittlern erheblich höher. Um PEARL™ mit dem entsprechenden Barren-Produkt vergleichen zu können, sind 19 Einzelemittler nötig. Der Vergleich zeigt: die 19 Einzelemittler sind immer alle gut, und es entstehen weniger Kosten durch Ausschussmaterial.

Da Einzelemittler individuelle Elemente sind, können sie auch räumlich voneinander getrennt verarbeitet werden. Das ist sehr wichtig, weil das Einzelelement des Barrens in eine komplexe Gesamtstruktur eingebettet ist und es deshalb beim Betrieb durch das direkt benachbarte Element belastet wird. Im Gegensatz hierzu kann ein Einzelemittler wärmeisoliert montiert und mit einem höheren Strom gefahren werden. Folge ist eine höhere Ausgangsleistung, und zwar bei gleicher Sperrschichttemperatur. Daher werden weniger Einzelemittler in einem solchen Modul benötigt, um die gleiche Ausgangsleistung zu erzeugen. Wie tatsächlich gezeigt

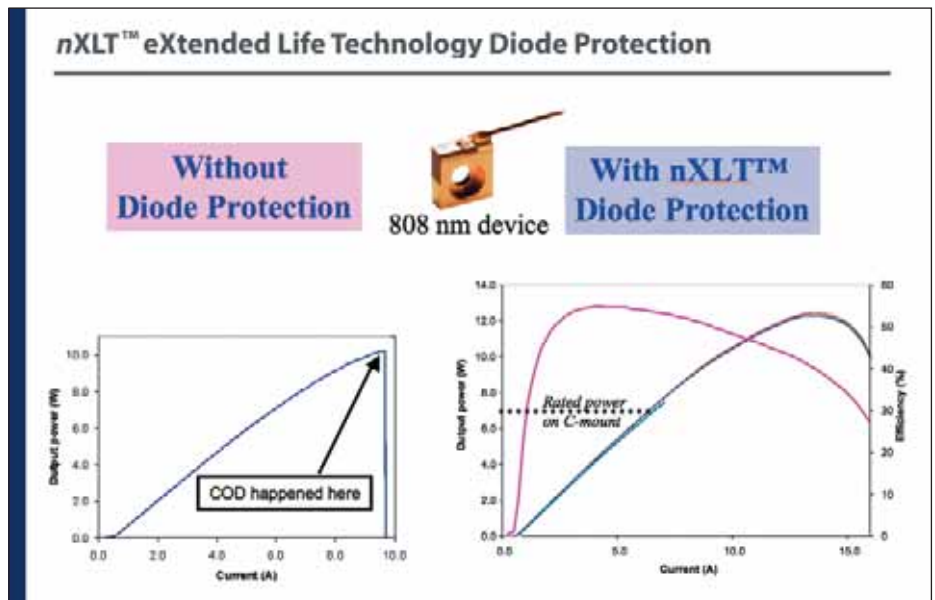


▲ Grafik 1: Spezielle Facettenpassivierung ermöglicht rapide Leistungssteigerung bei Einzelemittlern

pehn. Auf diesem Umweg wurde – zumindest als Zwischenschritt – die benötigte höhere Ausgangsleistung erzeugt. nLIGHT hat das enorme Marktpotenzial erkannt und PEARL™ entwickelt.

Die Verwendung von Einzelemittlern führt in erster Linie zu einer unvergleichbar hohen Zuverlässigkeit und einer signifikanten Kostenreduktion. Barrenbasierende Lösungen benötigen typischerweise 19-elementige Barren. Um die von der Industrie geforderte Zuverlässigkeit sicherzustellen, muss das Halbleitermaterial stark selektiert werden, denn nur so können potenzielle Ausfälle im späteren Betrieb verhindert werden. Das Halbleitermaterial für Barren und Einzelemittler ist das gleiche. Deshalb kann das Einzelelement eines Barrens mit dem eines Einzelemittlers gleichgesetzt werden, zumindest aus Sicht der Fehlerwahrscheinlichkeit. Nehmen wir an, dass die Ausbeute bei diesem Prozess pro Emittler 95 % beträgt (willkürlich). Für einen Barren, mit einer Gesamtausbeute aller 19 Emittler, ergibt sich dann eine rein rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit von ca. 38 %. Daher

Ertrag zu verbessern. Natürlich wird dadurch die ursprüngliche Gesamtleistung eines solchen Faserarray-



▲ Grafik 2: nXLT™ – Leistungssteigerung der Einzelemittler über das übliche COMD-Limit hinaus

Elements um ca. 5 % reduziert und die Modenstruktur des Nahfelds am Ende der Faser stark beeinflusst. Letztlich ergibt sich eine außerordentlich hohe Ausschussrate, die zu erhöhten Fertigungskosten führt.

werden konnte, sind nur 10 Einzelemittler nötig bei sogar höherer Ausgangsleistung. Eine Erhöhung der Ausbeute auf > 60 %, bei gleichzeitiger Sicherung der Qualität, führt zu einer signifikanten Kostenreduktion.

Sie ist ein wesentliches Entscheidungskriterium für den Einsatz der Einzelemitter-Technologie.

Die Verwendung von Einzelemittern führt zu einer Vielzahl von Konfigurationsmöglichkeiten. Bei Barren hingegen muss der Betrieb aller Elemente parallel erfolgen. Die typische Strom-/Spannungs-Charakteristik eines faser-

**Zuverlässigkeit und Lebensdauer durch besondere Prozessstechnik und hohe Effizienz**

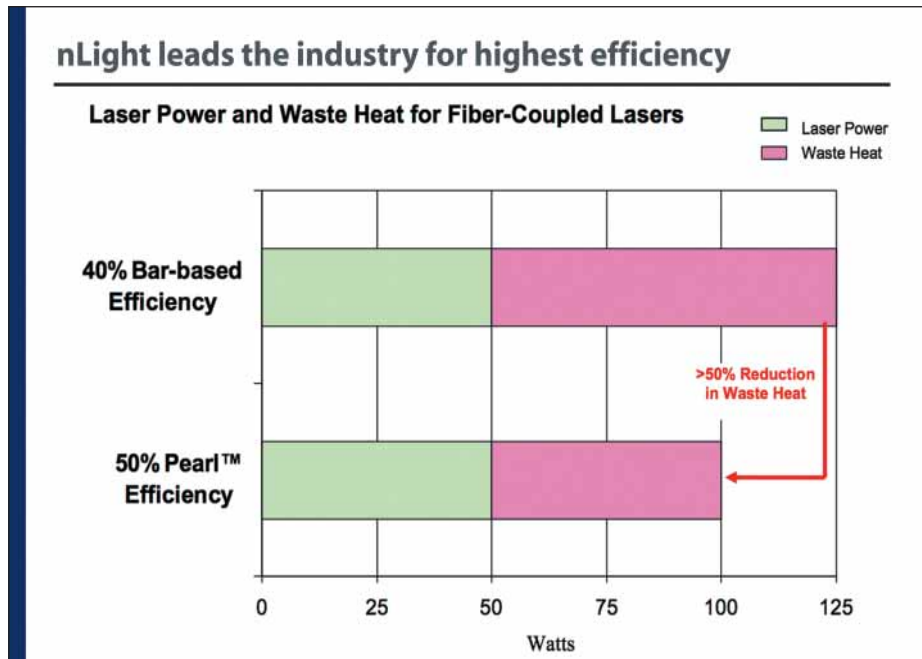
Ein wesentlicher Bestandteil der patentierten nXLT™-Technologie von nLight ist unter anderem die spezielle Facettenpassivierung, die in der Laserindustrie einzigartig ist. Sie findet Ver-

Die Facettenpassivierung sorgt ferner für eine Leistungssteigerung der Einzelemitter über das übliche COMD-Limit hinaus. Dies soll bei gleich bleibend hoher Zuverlässigkeit und höherer Lebensdauer erreicht werden. Bei typischen barrenbasierten Produkten wird die Lebensdauer mit mehr als 10.000 Stunden angegeben. Bei Einzelemitterdioden sind es mehr als 100.000 Stunden. Bei den 7-Watt-Dioden bei 808 nm von nLIGHT wurden mehr als 300.000 h MTTF (Mean Time To Failure) demonstriert. Dies bedeutet eine Steigerung der Lebensdauer um mehr als das 10-fache.

Allerdings erfordert die Facettenpassivierung hohe Entwicklungs- und Betriebsausgaben zur Unterhaltung des Prozesses. Deshalb ist die Amortisierung stark abhängig von der Anzahl an Einzelemittern, die auf einem Wafer gefertigt werden können. Ihre Anzahl ist 20-mal so hoch wie Anzahl Barren pro Wafer.

**SHEDs-Programm (Super High Efficiency Diodes)**

nLIGHT hat sich auch zum Ziel gesetzt, den elektrischen-zu-optischen Wirkungsgrad (E-O) bei allen Wellenlängen beträchtlich zu erhöhen, und zwar im gesamten Bereich von 630 nm bis 2.050 nm. Finanziell unterstützt wurde dies durch das amerikanische SHEDs (Super High Efficiency Diodes)-Programm, an dem nLIGHT teilgenommen hat. Als Ergebnis wurden kürzlich > 70 % E-O-Effizienz bei 976 nm unter Raumtemperatur demonstriert. Obwohl das Hauptinteresse von SHEDs Materialien um 980 nm galt, konnte das Unternehmen das erworbene Wissen auf den gesamten Wellenlängenbereich von 630 nm bis 2.050 nm übertragen und anwenden. Die Effizienz bei fasergekoppelten Modulen wird jedoch nicht nur durch die elektrisch-zu-optische Effizienz des Halbleitermaterials bestimmt, sondern auch durch die optisch-zu-optischen (O-O)-Effizienz. Dies beschreibt das Verhältnis der Summe



▲ Grafik 3: Bei Verwendung eines PEARL™-Moduls wird die Verlustwärme um > 50% reduziert

gekoppelten 50-Watt-Moduls auf Barren-Technologie mit 52 Ampere und 2 Volt erfordert eine Hochstromquelle. Solche Quellen sind relativ groß, teuer und in Bezug auf den Ausgangsstrom nicht besonders stabil.

Mit PEARL™ ändert sich das nun. Bei Bedarf können Einzelemitter parallel oder auch seriell konfiguriert werden. Das Modul weist bei gleicher Ausgangsleistung eine völlig veränderte Strom-/Spannungs-Charakteristik auf. Bei einer Betriebsspannung von 20 Volt wird dann nur noch ein Strom von 6 Ampere benötigt. Jetzt können kompakte, effiziente, kostengünstige und rauscharme Niederstromquellen eingesetzt werden, was sich positiv auf die gesamte Betriebskostenrechnung und Systemauslegung für den Endkunden auswirkt.

wendung bei allen Einzelemitter-Produkten, die in den fasergekoppelten Modulen integriert werden. Viele Firmen setzen alternative Techniken ein, die zwar bei Wellenlängen im Bereich von 900 nm gut arbeiten und sogar bis 800 nm effektiv angewandt werden können. Es gestaltet sich jedoch sehr schwierig, diese Passivierung über den Bereich von 630 nm bis 2.050 nm zu erweitern, der von der nXLT™-Technologie abgedeckt wird.

Mit nXLT™ wurde das »Catastrophic Optical Mirror Damage« (COMD) praktisch eliminiert (Grafik 2).

COMD ist eine häufig auftretende und allseits bekannte Ausfallursache bei unpassivierten Komponenten. Er schränkt sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Lebensdauer in hohem Maße ein.





des Lichts aus den Facetten der Einzelemitter zum Licht aus dem distalen Ende der Faser.

Beim 50-Watt-Modul von nLIGHT bei 808 nm beträgt die E-O-Effizienz typisch > 55 %. Im Vergleich dazu erreicht die E-O-Effizienz eines barrenbasierenden Produktes in herkömmlicher Bauweise typischerweise 40 %. Dabei ist die Verlustwärme bei einem PEARL™-Modul um > 50% reduziert (Grafik 3).

Einen letzten wichtigen Grund bei der Betrachtung der Systemeffizienz – gerade für Kunden, die Verstärkungsmedien pumpen – ist die Verschiebung der Pumpwellenlänge näher zur Laserwellenlänge hin. Damit können Quantendefekte und thermische Linsenbildung im Verstärkungsmedium reduziert werden. Dadurch erhöht sich die O-O-Effizienz beim Konvertieren von PumpPhotonen in LaserPhotonen. Beispiele hierzu sind 880 nm bei Vanadat (Nd:YVO4) bzw. 885 nm bei Neodym-YAG (Nd:YAG) oder 1,9 µm bei Holmium-YAG (Ho:YAG). Alle diese Wellenlängen sind bei nLIGHT erhältlich und wurden bereits eindrucksvoll in fasergekoppelten Hochleistungslasermodulen demonstriert.

### Verbindungstechnik mit Gold-Zinn-Hartlot

Ein entscheidender Aspekt des nLIGHT-Designs ist die Verwendung von Gold/Zinn (AuSn-Bonding) als Verbindungsmaterial. Das ist zwar keine echte Neuerung in der Diodenlaserindustrie, denn Hersteller von Breitstreifen-Einzelemittern verwenden diese Technik seit Jahren mit Erfolg. Auch Barren-Hersteller ziehen neuerdings nach und machen sich die höhere Stabilität und Zuverlässigkeit des Bondings über die Zeit zu Nutze. Traditionell wurde Indium als Bondmaterial verwendet. Dies führte jedoch dazu, dass sich die Barreneigenschaften über die Zeit nachteilig veränderten (smile etc.) und das Indium in benachbarte Materialien abwanderte. Die Verwendung von Hartloten hinge-

gen, wie Gold-Zinn, kann zum Verzug führen. Wird er zu groß, kann der Barren brechen. Mit < 0,5 mm besitzen Einzelemitter jedoch eine geringere Breite (verglichen mit Barren etwa 200-mal kleiner) und sind deshalb effizienter mittels Hartlot zu verbinden. Durch diese Verbindungsart wird gleichzeitig die Fähigkeit des Pulsbetriebes optimiert. Dies stellt einen überzeugenden Vorteil gegenüber barrenbasierten Produkten dar. Repetierendes Pulsen heizt und kühlt das Material in Folge auf und ab und führt zu wiederholtem Stress im Material. Die Einzelemitter-Architektur von nLIGHT übersteht diese Betriebsart nachweislich ohne Probleme. Mehr noch: wie gezeigt werden konnte, sind Leistungsfähigkeit und Lebensdauer im gepulsten Betrieb identisch mit denen des Dauerstrichbetriebs. Damit bestimmt erstmals nicht die eingesetzte Laserquelle die Betriebsart, sondern die jeweilige Anwendung.

### Lasermodule mit zusätzlichen Freiheitsgraden

Mit der nLight-Technik lassen sich zusätzliche Konfigurationen realisieren, die vorher nicht denkbar waren. Zum Beispiel ist es nun möglich, ein einzelnes Lasermodule mit verschiedenen Wellenlängen zu bestücken, etwa mit einer fundamentalen Wellenlänge und zusätzlichem Pilotstrahl

oder zwei fundamentalen Wellenlängen und Pilotstrahl und mit bis zu 10 verschiedenen Wellenlängen 10 fundamentale Wellenlängen in einem einzelnen Modul unterzubringen, könnte zu interessanten Anwendungen in der Spektroskopie oder Bio-Instrumentierung führen. Darüber hinaus könnten alle Wellenlängen einzeln adressiert werden, was die Flexibilität noch weiter steigert.

Eine andere Möglichkeit ist die genaue Abstufung der Ausgangsleistung, entsprechend den Schritten der Leistung des verwendeten Einzelemitters. So kann die genaue Leistungsanforderung seitens der jeweiligen Anwendung innerhalb von wenigen Watt freigelegt und festgelegt werden. Damit erzielt man eine sehr kostengünstige und effiziente Lösung, bei der die signifikante Leistungsrosselung – dem sogenannten »Derating« – des Moduls entfällt. Nachteilig beim »Derating« ist, dass die E-O-Effizienz wesentlich schlechter ausfällt und die Kosten hierfür vom Kunden getragen werden.

Autoren:  
Keith Kennedy  
nLIGHT Corporation  
Vancouver/WA, USA

Ingolf Dückminor  
nLIGHT Corporation  
Arbeustraße 5  
85386 Eching/München  
Tel.: 089/37001477  
Fax.: 089/32714887  
E-Mail: [ingolf.dueckminor@nlight.net](mailto:ingolf.dueckminor@nlight.net)  
[www.nLight.net](http://www.nLight.net)

