

Fertigung robuster Festkörperlaser mittels Hochtemperatur-Aushärteverfahren

Elizabeth Illy, Håkan Karlsson, Kenneth Joelsson, Gunnar Elgcrona,
Jonas Hellström, Cobolt AB, Solna, Schweden
Dag von Gegerfelt, von Gegerfelt Photonics, Bensheim

Die Anforderungen an Laser für moderne, technisch hoch entwickelte diagnostische und analytische Geräte wachsen stetig. In der Regel werden derzeit kompakte diodengepumpte Festkörperlaser (DPSSL) oder Halbleiterlaser in solche Instrumente integriert, wo sie oftmals die immer unbeliebteren Gaslaser, z.B. Argon-Ionenlaser, oder lampengepumpte Systeme ersetzen. Die Laser arbeiten manchmal im Dauerbetrieb, z.B. in analytischen Instrumenten, die großen Mengen von biowissenschaftlichen Daten sammeln und bearbeiten, wie bei der DNS-Sequenzierung, der Krebsforschung und der Abbildung lebender Zellen (life cell imaging).



1 Hintergrund

Um ein Genom zu entschlüsseln, laufen Sequenzierungsgeräte oft kontinuierlich für mehrere Tage, in der bildgebenden Fluoreszenzmikroskopie sind es typischerweise mehrere Stunden, und falls während dieser Zeit ein Problem mit dem Laser auftreten sollte, sind die Ergebnisse hinfällig. Für die Hersteller bedeutet dieses, Laser produzieren zu müssen, die im kontinuierlichen Betrieb über Jahre quasi keine Schwächen aufweisen dürfen. Das mag zwar trivial scheinen, ist in Wirklichkeit aber eine sehr anspruchsvolle Aufgabe. Typische Laser sind hochempfindliche Geräte, deren Leistungsfähigkeit z.B. schon durch geringfügig kontaminierte optische Flächen oder mechanische Verschiebungen von Resonatorkomponenten im μm - oder sub-mrad-Bereich beträchtlich verringert werden kann. Deswegen sind die Anforderungen an das Design, die Materialauswahl, die Reinheit und die Methode zur Komponentenbefestigung im Produktionsprozess äußerst hoch.

Im Vergleich zu Gaslasern bieten Festkörperlaser wegen der Stabilität ihres Lasermediums eine deutlich längere Lebensdauer, außerdem sind sie viel kompakter, energieeffizienter und leiser. Allerdings können alle diese Vorteile nicht umgesetzt werden, wenn der Aufbau nicht extrem stabil ist – sowohl zeitlich als auch thermisch und mechanisch.

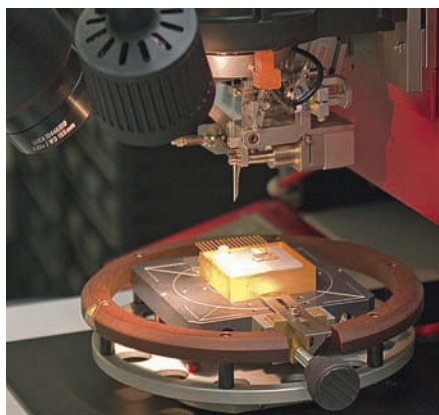


Bild 1: Vormontierter Laser (links) und aktive Ausrichtung der optischen Komponenten mit μm -Präzision (rechts) vor der permanenten Fixierung mittels Hochtemperatur-Aushärten

2 Hochtemperatur-Aushärtung

Die Einführung eines Hochtemperatur-Aushärteverfahrens für Montage und Befestigung von Resonatorkomponenten löst dieses Problem und setzt neue Zuverlässigkeits-Maßstäbe für Hochleistungs-DPSSL-Laser. Das Verfahren beruht auf einem später hermetisch versiegelten planaren Sub-Modul, auf dem die Laserkomponenten ohne mechanische Halterungen positioniert werden. Dabei müssen Material und Konstruktion jeder Komponente sehr genau berücksichtigt werden, um eine hohe thermomechanische Stabilität zu erreichen.

Dies geschieht vor allem durch Anpassung der thermischen Ausdehnungskoeffizienten (CTE) aller Einzelteile aneinander, wodurch das Gesamtsystem thermomechanisch so stabil wird, dass das gesamte Lasermodul auf bis zu 150°C erhitzt werden kann. Dies geschieht im Laufe der Fertigung mehrmals und für mehrere Stunden, ohne Auswirkungen auf die präzise Ausrichtung oder gar Beschädigung des Lasers.

Diese Design-relevante Eigenschaft hat die Verwendung eines neuartigen Klebstoffs zur Fixierung der Resonatorkomponenten ermöglicht, der bei hohen Temperaturen aushärtet, so dass nicht mehr die konventi-

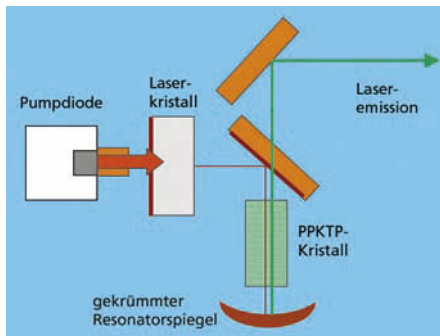


Bild 2: Schematischer Aufbau eines diodengepumpten Festkörperlasers mit Resonator-interner Frequenzkonversion

onellen UV-aushärtenden Klebstoffe bei Zimmertemperatur eingesetzt werden müssen. Die thermische Aushärtung ergibt eine viel steifere und zuverlässigere Verbindung, ohne die oft mit dem nachträglichen Aushärten von UV-Klebstoffen verbundenen Probleme wie Ausgasen und Langzeitdrift.

Obwohl dieses neue Produktionsverfahren zunächst komplexer und technisch anspruchsvoller als die herkömmlichen Methoden scheint, ist die Fertigungslinie aus Herstellersicht trotzdem effizienter und besser zur Automatisierung geeignet (**Bild 1**). Dadurch werden die Produktionszeiten verringert, die Ausbeute erhöht und die Kosten verringert. Des Weiteren sind Änderungen in der laufenden Produktion, z.B. zur Herstellung von Lasermodellen mit anderen Wellenlängen oder Leistungsniveaus, viel schneller und mit minimaler Unterbrechung umsetzbar, und neu entwickelte Laser (mit anderen Wellenlängen und Ausgangsleistungen) können auf derselben Plattform in die Produktion eingeführt werden, ohne dafür Maschinenwerkzeuge oder den Prozess ändern zu müssen.

Die Montage beginnt mit der Fixierung des Pump-Diodenlasers und seiner speziellen Kollimations- und Fokussieroptiken. Danach folgen:

das Ausrichten der Laserkristalle für die Emission kohärenter Infrarotstrahlung, der separate gekrümmte Resonatorspiegel für die Erzeugung eines stabilen TEM₀₀-Strahlprofils, der PPKTP-Kristall (periodisch gepoltes Kaliumtitanylphosphat, KTiOPO₄) für die Frequenzkonversion von infrarotem in sichtbares Licht, sowie weitere Komponenten innerhalb und außerhalb des Resonators (**Bild 2**) Zwischen

vielen dieser Prozess- und Ausrichtungsschritte, während derer die Position der Komponenten vorläufig mit einem UV-aushärtenden Klebstoff gesichert wird, wird das unfertige Lasermodul in einem speziellen Ofen erhitzt, um eine vollständige und permanente thermische Aushärtung sicherzustellen. Zum Schutz der empfindlichen optischen Oberflächen und zur nachhaltigen Sicherung der Laserleistung auch bei Anwendungen außerhalb gut kontrollierter Laborbedingungen, wird das Gehäuse des Lasermoduls in einem letzten Prozessschritt hermetisch versiegelt. Dies geschieht mittels Laserschweißen unter Stickstoff-Atmosphäre, so dass auch das Risiko von Luftfeuchtigkeit im Laser ausgeschaltet wird, sollte er bei Temperaturen unterhalb des Taupunktes eingesetzt werden.

3 Eigenschaften

Wegen der prozessbedingt höheren Ausrichtungsgenauigkeit und der besonders starren Montageverbindungen im Vergleich zu konventionell hergestellten DPSS-Lasern, zeigen die nach dem neuen Verfahren hergestellten Laser eine erhöhte Stabilität und ein geringeres Intensitätsrauschen. Der auffälligste Unterschied aber betrifft die Robustheit des Lasers und die deutlich geringere Empfindlichkeit gegenüber variierenden Umgebungsbedingungen. So können solche Laser z.B. extremen Temperaturen >100°C ausgesetzt werden und sind außerdem nahezu unempfindlich für Schwankungen von Luftdruck und Feuchtigkeit [1]. Eingehende Prüfungen des schwedischen Normierungsinstituts SP Technical Research Institute haben belegt, dass die Laser sogar im Betrieb z.B. mehrfachen Stößen von 60 g (8 ms) standhalten können, ohne mess-

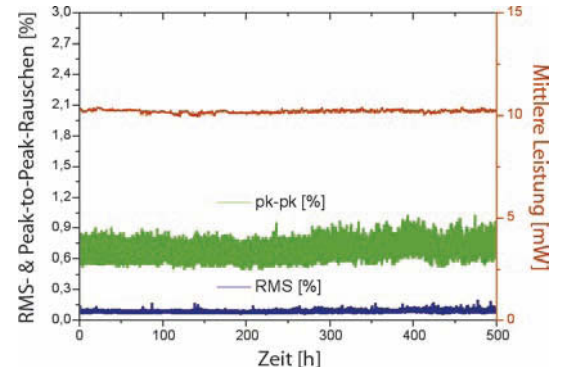


Bild 3: Typische Leistungsstabilität und typisches Rauschverhalten von Hochtemperatur-ausgehärteten Lasern

bare Veränderungen ihrer Eigenschaften zu zeigen [2]. Zusätzliche Transport-Tests hinsichtlich Vibrationen [3], Schlägen [4] und freiem Fall [5] zeigten ebenfalls keine Auswirkungen. Ein typisches Beispiel für die Messwerte der Intensitätsstabilität und des Rauschens dieser DPSS-Laser ist in **Bild 3** gezeigt.

Um den Einfluss unterschiedlicher Umgebungstemperaturen zu prüfen, wurden Laser auf eine Platte montiert, deren Temperatur zwischen 20 und 50°C zyklisch variiert wurde. Die Messdaten in **Bild 4** zeigen, dass dabei sowohl die Mittelwerte (RMS) als auch die Spitzenwerte (peak-to-peak) des Intensitätsrauschens praktisch unbeeinflusst blieben (links), genau wie die Ausgangsleistung (rechts). Um die Prüfung noch härter zu machen, wurden die Laser außerdem im stündlichen Wechsel ein- und ausgeschaltet.

Aufgrund der thermomechanisch stabilen Konstruktion und der Materialien mit niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten verursachen Umgebungstemperaturschwankungen nur geringste geometrische Änderungen der Laser-Plattform und damit nur mikroskopische Veränderungen der relativen Positionen der Resonatorkompo-

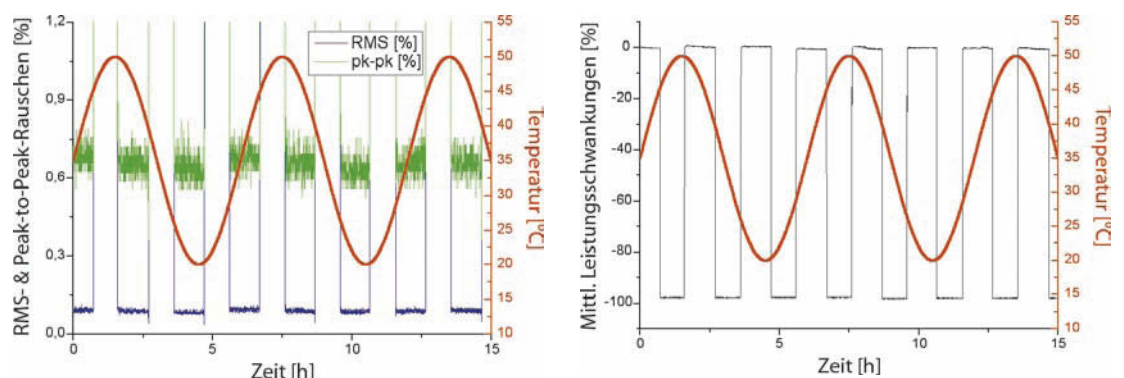


Bild 4: Daten von Hochtemperatur-ausgehärteten Lasern: gemittelte und Spitzen-Rauschwerte unter zyklischer Temperaturführung (links), Leistungsstabilität unter zyklischer Temperaturführung von 20–50°C (rechts), wobei der Laser zusätzlich an- und ausgeschaltet wurde

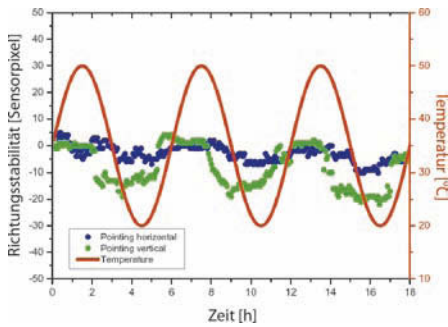


Bild 5: Daten eines Hochtemperatur-ausgehärteten Lasers mit einer Strahlrichtungsstabilität $< 4 \mu\text{rad}/^\circ\text{C}$

nenten. Auch hinsichtlich der Strahlrichtung sind nur minimale Abweichungen festzustellen, typisch $< 5 \mu\text{rad}/^\circ\text{C}$ (Bild 5).

4 Zuverlässigkeit und Lebensdauer

Eine weitere unmittelbare Folge der neuen Herstellungstechnik ist, dass sich die Lebensdauer des gesamten Lasers selbst im ununterbrochenen Betrieb nur der Lebensdauer der Pump-Diodenlaser selber annähert, womit die Erwartungen industrieller Messgerätehersteller durchaus erfüllt werden.

Da der Herstellungsprozess mit Hilfe der Hochtemperatur-Aushärtung noch so neu ist (die ersten derartigen Laser wurden Ende 2007 produziert), können bisher nur Lebensdauerdaten bis ca. 18 000 Betriebsstunden vorgelegt werden (Bild 6). Die Kurve zeigt die relative Änderung des

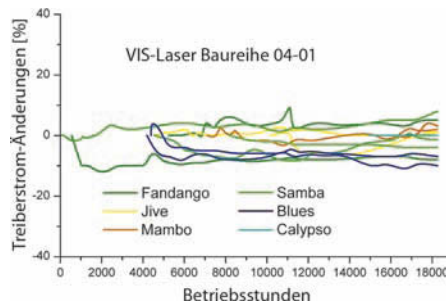


Bild 6: Momentaufnahme laufender Lebensdauerermessungen von Hochtemperatur-ausgehärteten Lasern

Pump-Diodenlaser-Stroms für eine konstante Ausgangsleistung des DPSS-Lasers. Unter Berücksichtigung der Testsituation ohne kontrollierte Umweltbedingungen ist dieser Strom relativ konstant. Vor allem aber zeigt er keinen systematischen Zuwachs, was eine Degradation und Verlust an Laserleistung andeuten würde. Zu beachten sind im Diagramm die unterschiedlichen Anfangspunkte für verschiedene Laser, wobei die ersten bereits mehr als 18 000 Stunden ohne jegliche Anzeichen einer bevorstehenden Leistungsabnahme absolviert haben.

5 Zusammenfassung

Das vorgestellte neuartige Hochtemperatur-Aushärteverfahren zur Herstellung hochpräziser und zuverlässiger DPSS-Laser, von denen sich schon über 1000 Stück auf

dem Markt bewähren, hat sich als sehr geeignet erwiesen, um den hohen Anforderungen an Laserquellen für die Lebenswissenschaften gerecht zu werden.

Literaturhinweis:

- [1] www.youtube.com/watch?v=u58Q_3pN3cs, Cooking a Cobolt laser
- [2] IEC 60068-2-27
- [3] IEC 60068-2-64, 5-200 Hz, 90 min
- [4] IEC 60068-2-29, 180 m/s², 6 ms, 200 Schläge
- [5] IEC 60068-2-32, Beton oder Stahl, 1 m, 6 Stürze

Ansprechpartner:

Dr. Elizabeth Illy
Director of
Sales & Marketing
Cobolt AB
Vretenvägen 13
17154 Solna, Stockholm
Schweden
Tel. +46/8/545912-30
Fax +46/8/545912-31
eMail: elizabeth.illy@cobolt.se
Internet: www.cobolt.se



Dag von Gegerfelt
Inhaber
von Gegerfelt Photonics
Hermann-Löns-Str. 4
D-64625 Bensheim
Tel. 06251/86099-20
Fax 06251/86099-17
dvg@vgphotonics.eu
Internet: www.vgphotonics.eu



www.photonik.de ▶ Webcode 1003