
Name der AiF-Mitgliedsvereinigung (MV)

AiF-Antrags-Nr:
(wird von der AiF eingesetzt)

Aktenzeichen der MV



Steigerung der Effizienz und Lebensdauer von Hochleistungs- diodenlasern durch beidseitige konduktive Kühlung

Beteiligte Forschungsvereinigungen:

Forschungsvereinigung Feinmechanik, Optik und Medizintechnik e.V. (FOM)

Werderscher Markt 15
10117 Berlin
Tel +49 (0)30 41 40 21-29
Fax +49 (0)30 41 40 21-33

Durchführende Forschungsstellen:

Fraunhofer Gesellschaft e.V. durchführendes Institut

Fraunhofer Institut für Lasertechnik (ILT)

Steinbachstr. 15
52074 Aachen
Tel: 0241 - 8906 - 343
Fax: 0241- 8906 - 121
Institutsleiter:
Prof. Dr. rer. nat. R. Poprawe
Projektleiter: Dipl.-Ing. Michael Leers

Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzeitpektroskopie (MBI)

Max-Born-Str. 2A
12489 Berlin
Tel: 030-63921453
Fax: 030-63921459
Direktor: Prof. Dr. Thomas Elsässer
Projektleiter: Dr. Jens W. Tomm

1. Forschungsthema

Beidseitige konduktive Kühlung von Hochleistungsdiodenlaser (HLDL) durch ausdehnungsangepasste Wärmesenken zur Steigerung der Effizienz und Lebensdauer.

2. Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung

Hochleistungsdiodenlaser weisen eine hohe spezifische Leistungsdichte von mehr als $500\text{W}/\text{cm}^2$ auf. Handelsübliche Herdplatten besitzen Leistungsdichten von $10\text{W}/\text{cm}^2$. Um die daraus resultierende hohe Verlustwärme abführen zu können, ist die Kühlung des Laserbarrens unabdingbar. Üblicherweise erfolgt die Montage des Laserbarrens p-seitig mittels eines geeigneten Lötprozesses auf eine Wärmesenke. In Verbindung mit kriechfestem, temperaturstabilem AuSn-Lot müssen wärmeausdehnungsangepasste Wärmesenken verwendet werden. Durch eine zweite, zusätzliche Wärmesenke auf der n-Seite des Laserbarrens kann dessen Kühlung entscheidend verbessert werden. Ähnliche Aufbauten werden bislang mit zweistufigen Lötprozessen aufgebaut, in denen zwei Lote mit unterschiedlichen Schmelzpunkten zum Einsatz kommen.

Standardmäßig werden derzeit zwei Arten von Wärmesenken für HLDL eingesetzt. Zum einen wassergekühlte Mikrokanalwärmesenken aus Kupfer. Zum anderen passive Wärmesenken, die rein konduktiv die Verlustleistung abtransportieren. Gerade die Mikrokanalwärmesenken werden zur Erzielung hoher optischer Ausgangsleistungen in sogenannten Diodenlaserstack eingesetzt.

Nach dem Stand der Technik werden Mikrokanalwärmesenken aus einzelnen Kupferschichten hergestellt. Jede einzelne Schicht wird durch Verfahren wie Ätzen, Laserstrahlschneiden oder HSC-Fräsen strukturiert. Die aktuell eingesetzten Wärmesenken weisen zwei wesentliche, technisch bedingte Schwächen auf:

Zwischen der Wärmesenke und dem montierten Laserbarren besteht eine große Differenz im thermischen Ausdehnungskoeffizienten (Cu: $17\text{ ppm}/\text{K}$, GaAs: $6,7\text{ ppm}/\text{K}$). Dies führt zu thermisch induzierten mechanischen Spannungen im Laserbarren, die insbesondere im Fall häufiger Lastwechsel die Lebensdauer deutlich verkürzen. Durch die fehlende Anpassung des Ausdehnungskoeffizientens wird der Einsatz langlebiger und zuverlässiger Hartlote (z. B. AuSn) für das Auflöten der Laserbarren auf die Wärmesenke verhindert.

Im Bereich der passiven Wärmesenken ist die Steigerung der optischen Ausgangleistung und dadurch das Substituieren aktiver Wärmesenken limitiert. Auch wenn in der Regel die passiven Wärmesenken aus dem sehr guten Wärmeleiter Kupfer hergestellt werden, reicht dies nur bedingt für die Anwendung bei höheren Leistungen aus.

Im Rahmen des BRIOLAS Teilprojektes Brilasi sind von Jenoptik erste Untersuchungen zur Anwendung von beidseitiger Kühlung im Dauerbetrieb unternommen worden. Hierbei wurde eine deutliche Effizienzsteigerung gezeigt. Im Anschluss an das Projekt zeigte Jenoptik auf der Photonics West 2009 in San Jose, USA detaillierte Ergebnisse zur ihrer Wärmesenke dem sogenannten *CN-Mount*. Jenoptik verwendet bei ihrem Konzept eine Kupferwärmesenke mit einem ausdehnungsangepassten Submount für den p-Kontakt der Diode. Somit wird der p-Kontakt der Diode mittels Hartlot gefügt. Der n-Kontakt und damit verbunden auch die n-seitige Kühlung erfolgt bei Jenoptik über einen Kupferkontakt der mit einem Weichlot gefügt wird. Die Rückführung der thermischen Verlustleistung erfolgt dabei über den p-Kontakt.

Aus der Sicht der Analytik besteht die Problemstellung darin, ein leistungsfähiges Messverfahren zur Verfügung zu stellen, welches es vermag, die bei der zweifachen Lötung erzeugten Verspannungen im Barren zuverlässig zu detektieren und auch zu quantifizieren. Dieses Verfahren ist einfach und schnell zu gestalten um eine unmittelbare Rückkopplung zur Löttechnologie möglich zu machen. Diese muss naturgemäß bezüglich des Parameters Verspannung optimiert werden und diesem Ziel wird die Analytik untergeordnet. Das MBI verfügt über alle relevanten Methoden, mikro-Raman-Spektroskopie, mikro-Photostromspektroskopie und auch mikro-Photolumineszenz (μ PL), wobei die μ PL noch für das Barrenproblem zu adaptieren ist.

3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

3.1 Forschungsziel

- Hauptziel ist die Schaffung neuer Generationen passiv gekühlter HLDL-Barren auf ausdehnungsangepassten Wärmesenken mit beidseitiger Kühlung.
- Die theoretische thermische Auslegung mittels FEM Analyse einer beidseitigen Kühlung für HLDL-Barren unter der Verwendung von ausdehnungsangepassten Material für beide Seiten
- Das Lot wird in einem Aufdampfprozess auf den vorderen Teil der Wärmesenkenoberseite aufgebracht.
- Entwicklung eines Montageprozesses zum Fügen der n- und p-seitigen Wärmesenke.
- Entwicklung und Anwendung eines Messverfahrens zur Bestimmung der mechanischen Verspannungen.

3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

- Erhöhung der Lebensdauer durch die Verwendung von ausdehnungsangepassten Material in Verbindung mit Hartlot z.B. AuSn
- Durch die Verwendung eines passiven Kühlkonzeptes werden die klassischen Probleme der aktiven Wärmesenken wie Erosion und Korrosion.
- Deutliche Vergrößerung des Einsatzfeldes von passiven Aufbauten für HLDL durch die zusätzliche n-seitige Kühlung.
- Angabe der Verspannungsverteilungen in den vom ILT zur Verfügung gestellten Barren. Stabile Rückkopplung zwischen Spannungsmessung und Löttechnologievariation.

3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

- Auf dem Markt erhältlich sind bis dato jedoch keinerlei Produkte. Der in diesem Antrag angestrebte Ansatz unterscheidet sich in mehreren Punkten grundsätzlich von den beschriebenen Patenten [J18, J19]:
 - Neben denen zur Verwendung angedachten Materialien (WCu, MoCu) werden keinerlei zusätzlich Kompensationsschichten verwendet
 - Des Weiteren erfolgt das Fügen mittels des Hartlots AuSn.

- Dies erfordert eine neuartige Montage- und Prozesstechnik
- Nutzung der μ PL als schnelles Standardwerkzeug

3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Im Vorfeld ist es notwendig das optimale Design für dieses Package zu bestimmen. Dafür sind detaillierte Konstruktionen und Materialrecherchen notwendig. Basierend darauf werden dann thermische Simulationen durchgeführt. Die Wärmesenken werden in der Regel mittels spanender Bearbeitung aus wärmeausdehnungsangepassten Legierungen gefertigt. Die Vorder- und die Oberseite der Wärmesenke zur Erzielung höchster Oberflächengüte UP-bearbeitet. Die daraus resultierende Qualität der Wärmesenkenvorderkante ist für die präzise Montage des Laserbarrens unverzichtbar. Der Laserbarren muss mit einem definierten Überstand ΔZ von wenigen Mikrometern an dieser Kante verlötet werden. Eine Verrundung der Vorderkante erschwert die mikrometergenaue Positionierung des Laserbarrens. Zum einen, weil die Kante der Wärmesenke dadurch während der Justage nur eingeschränkt vermessbar ist, zum anderen, weil durch die unzureichende Benetzung mit Lot die thermische Belastung im vorderen Bereich des Laserbarrens steigt. Das Lot wird in einem Aufdampfprozess auf den vorderen Teil der Wärmesenkenoberseite aufgebracht.

Da ausschließlich wärmeausdehnungsangepasste Wärmesenken aus einer WCu verwendet werden, wird das Hartlot AuSn eingesetzt.

Geplant ist, das AuSn Lot in einzelnen Au- und Sn-Schichten mit der oben beschriebenen Aufdampfanlage aufzudampfen. Im Projekt werden verschiedene Schichtsysteme getestet, um die geeignete Variante hinsichtlich Oxidationsbeständigkeit, gleichmäßiger Durchmischung und Legierungsbildung zu identifizieren.

Spektroskopische Verspannungsmessungen an konfektionierten Bauelementen sind nur an der Frontfacette möglich. Der vom ILT angestrebte technologische Ansatz der n-Seiten-Kühlung erfordert eine Verspannungsmessung insbesondere auch im Substratbereich des Barrens, da dort die Verbindung zwischen Barren und n-seitiger Wärmesenke erfolgt. Das ist mittels μ PL-Messungen möglich.

- Eine Standardmessstrategie zur generellen Barreninspektion wird erarbeitet.
- Entwicklung einer Auswertesoftware für die gemessenen Spektren
- Für die μ PL und die weiteren verfügbaren Methoden ist zusätzlich eine gemeinsame Messstrategie zur Analyse komplexer Verspannungsverteilungen zu erarbeiten.

3.2.1 Arbeitsdiagramm und Konzept zum Projektmanagement

Angestrebt wird eine Projektdauer von 24 Monaten. In diesem Zeitraum werden zunächst beide Partnerinstitute in Vorleistung treten und ihren jeweiligen Projektteil entwickeln und bearbeiten. Zur Erfolgskontrolle sind schon frühzeitig (6.Monat) gegenseitige Überprüfungen der Arbeiten angestrebt. Ab den 7. Monat erfolgt eine permanente Rückkopplung der Ergebnisse zwischen dem MBI und ILT. Die am MBI ermittelten Resultate zur Verspannungen der Barren nehmen direkt Einfluss auf die Montage- und Fügeprozess. Der Arbeitsplan ist in der Langfassung des Antrages beschrieben.

	Einheit	Jahr 1	Jahr 2	Gesamt
Fraunhofer ILT				
Wissenschaftler TH	PM EG 14	12	12	24
Techniker	PM EG 08	6	6	12
Stud. Hilfskraft	PM (80h)	12	12	24
Max-Born-Institut				
Wissenschaftler TH	PM (EG 14)	12	12	24
Stud. Hilfskraft	PM (80h)	12	12	24
Impulsgenerator und Kühler	€	19.330	-	19.330

4 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Folgende konkrete Maßnahmen sind geplant, um einen möglichst effizienten Transfer der Forschungsergebnisse in die Wirtschaft zu gewährleisten:

1. Diskussion der Projektergebnisse während des Projektablaufs mit den Industriepartnern im Projektbegleitenden Ausschuss.
2. Aufbereitung der erzielten Projektergebnisse in Datenblättern und Produktbeschreibungen.
3. Präsentation der Forschungsergebnisse auf Fachkonferenzen und Vorbereitung von Exponaten für Messen
4. Kontinuierliche Kommunikation mit der Forschungsvereinigung F.O.M. und dem Optik-Verband Spectaris zur Publikation der Ergebnisse
5. Publikation relevanter Forschungsergebnisse in Fachzeitschriften wie beispielsweise ElectronicsCooling oder Advanced Packaging
6. Das Thema eignet sich für die Vergabe von studentischen Arbeiten während des Studiums wie Projektarbeiten, sowie Studien- und Diplomarbeiten.
7. Die Ergebnisse finden unmittelbar Eingang in die Lehre im Rahmen des Studiengangs Mikrosystemtechnik an der RWTH-Aachen durch den Lehrstuhl für Lasertechnik.
8. Am MBI ist geplant, die Arbeiten auch im Rahmen der Doktorandenausbildung durchzuführen
9. Projektergebnisse der Projektpartner dienen als Grundlage für weitere Projekte

5. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

5.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse in KMU

Bei erfolgreicher Umsetzung des Forschungsvorhabens wird es eine Nutzung der Forschungsergebnisse in mehrfacher Hinsicht geben.

Die in dem Vorhaben entwickelte Kühltechnik für Hochleistungs-Diodenlaser sollen hinsichtlich Lebensdauer, Designmöglichkeiten und Effizienz erhebliche Vorteile gegenüber den am Markt verfügbaren Kühlkonzepten aufweisen. Nach erfolgreichem Projektabschluss wird mit einer notwendigen Produktentwicklungs- und Qualifizierungsphase von ca. 2-2,5 Jahren bis zur Kommerzialisierung eines ersten Produkts gerechnet.

Produktseitig können die in dem Projekt entwickelten Techniken und Konzepte von der Diodenlaserkühlung auf allgemeine Kühlanwendungen z.B. in der Hochleistungselektronik übertragen werden.

Die Lasertechnik ist eine der wichtigsten Zukunftstechnologien, in denen sich Deutschland eine starke Position im Weltmarkt aufgebaut hat. Die Photonik-Branche weist seit vielen Jahren ein zweistellige Wachstumsrate und eine hohe Innovationsfähigkeit der Unternehmen mit F&E-Aufwendungen von ca. 10 % des Umsatzes auf. 80 % der Unternehmen sind KMUs. Diodenlaser werden von zahlreichen KMUs als OEM-Komponenten eingekauft.

5.2 Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Auch die Entwicklung ausdehnungsangepasster beidseitiger Kühlung für Diodenlaser stärkt die Marktposition von KMUs. Eine Vielzahl von KMUs, die spezialisierte Laserstrahlquellen für Nischenmärkte und spezielle Anwendungen herstellen, wie z.B. für das Markieren, für die Oberflächenbehandlung, Laser-Reinigungssysteme und chirurgische Laser sind in Deutschland angesiedelt. Noch breiter wird das Spektrum, wenn die Anlagen- und Gerätehersteller betrachtet werden, die Diodenlaser für direkte Anwendungen in spezialisierte Systeme integrieren, wie z.B. Systeme zur Kunststoffbearbeitung, Print- und Druckmaschinen, Laserlötsysteme und medizinische und kosmetische Geräte zur Haarentfernung oder Hautbehandlung. Bei diesen sehr spezialisierten Unternehmen handelt es sich überwiegend um KMUs. Insbesondere die weitere Verbreitung von Diodenlasern in Direktanwendungen wird derzeit noch durch die limitierte Lebensdauer und Zuverlässigkeit gebremst. Die starke Position deutscher Firmen in der Lasertechnik wird durch die technische Verbesserung von Wärmesenken gestützt.

5.3 Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende

Der neue Ansatz zur Kühlung von Hochleistungsdiodenlasern ist so konzipiert, dass ihre Integration in Standard-Diodenlasersystem ohne Einschränkungen möglich ist. Somit besteht kein technisches Hindernis, zukünftige Diodenlaserquellen mit der neu entwickelten Wärmesenke auszustatten. Vielmehr ist mit einer höheren Nutzung dieser Laserart zu rechnen, da sich durch eine effizienter Energieausbeute weitere Anwendungsbereiche eröffnen.

Einen besonderen Aspekt gewinnen dabei die KMU in der kompletten Wertschöpfungskette. Die Fertigung aus dem Rohling und Endverarbeitung werden durch KMUs der Metallbranche gewährleistet werden. Auch auf Seiten der finalen Anwendung in der Laserindustrie werden neben den Deutschen Marktführern wie Trumpf, Rofin und Jenoptik, sicherlich viele KMU eine industrielle Umsetzung anstreben. Da die Anwendungen im Allgemeinen einfacher in der Umsetzung sind und die Notwendigkeit für Investitionen wie z.B. für aktive Wasserkühlung, entfallen, wird die Hemmschwelle der Nutzung von Diodenlaser von KMUs geringer.

6. Durchführende Forschungsstelle(n) ²⁾

Fraunhofer Institut für Lasertechnik (ILT)

D-52074 Aachen

Tel: 0241 - 8906 - 343

Fax: 0241- 8906 - 121

Institutsleiter: Prof. Dr. rer. nat. R. Poprawe

Projektleiter: Dipl.-Ing. Michael Leers

Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI)

Max-Born-Str. 2A, D – 12489 Berlin

Tel: 030-63921453

Fax: 030-63921459

Direktor: Prof. Dr. Thomas Elsässer

Projektleiter: Dr. Jens W. Tomm

Aachen,

Unterschrift

Berlin,

Unterschrift