

Name der AiF-Forschungsvereinigung (FV)

IGF-Vorhaben-Nr:

Blatt-Nr./Jury-Nr.:

IGF-Antrags-Nr.: /

Aktenzeichen der FV

(wird von der AiF eingesetzt)

Kurzbeschreibung zum Forschungsantrag

Entwicklung von Mehrkomponenten-Kühlkörpern durch Mikro-Metallpulverspritzgießen für erhöhte Lebensdauer in der Hochleistungsoptoelektronik (Multi-Cool)

1. Forschungsthema

Entwicklung von Mehrkomponenten-Kühlkörpern durch Mikro-Metallpulverspritzgießen für erhöhte Lebensdauer in der Hochleistungsoptoelektronik (Multi-Cool)

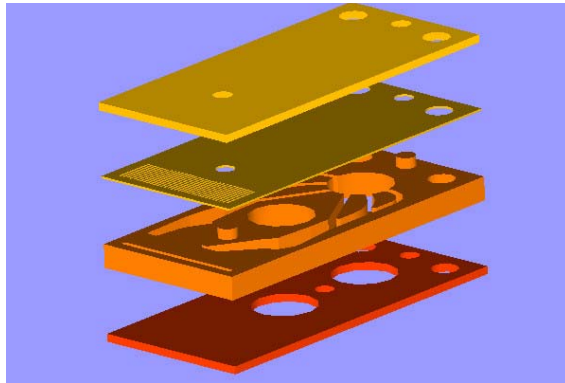
Dieser Vorschlag wird unterbreitet als Anschlussantrag zum AiF-Vorhaben 418710.0043: μ -Metallpulverspritzguss für die Fertigung von ausdehnungsangepassten Kühlkörpern für die Hochleistungsoptoelektronik

2. Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung

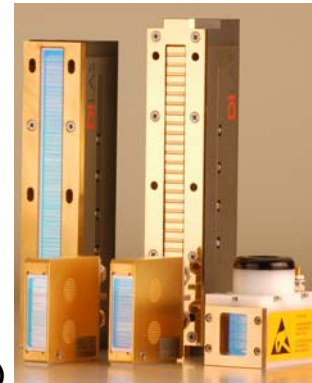
Ausgangssituation in der Industrie

Diodenlaser haben sich aufgrund ihrer hohen Effizienz, der geringen Baugröße und des vergleichsweise einfachen Aufbaus in zahlreichen Anwendungen bereits fest etablieren können. Zu den Einsatzgebieten zählen fertigungstechnische und medizinische Anwendungen wie das Pumpen von Festkörperlaser, Metall- und Kunststoffschweißen, Härten, Hartlöten, Oberflächenbehandlung, Parodontalbehandlungen und Implantatvorbereitung im Dentalbereich, sowie Weichgewebechirurgie und Laserepilation. Die optischen Leistungen der verschiedenen Bauarten eines Diodenlasers liegen von 30 W bis hoch zu mehr als 200 W. Trotz des heute erreichbaren hohen Wirkungsgrades der Laserbarren von 50-70 % fällt eine große Menge abzuführender Wärme an. Die Kühlung erfolgt gerade im Hochleistungsbereich über wasserdurchströmte Mikrokanalwärmesenken, die jeweils direkt unter dem Diodenlaserbarren angeordnet sind (Abb. 1a)). Um höhere Ausgangsleistungen zu erreichen, werden in Diodenlaserstacks bis zu 30 Diodenlaserbarren dicht gepackt übereinander angeordnet (Abb. 1b)) und gegebenenfalls mehrere solcher Stacks in einem System kombiniert. Industrielle Diodenlasersysteme erreichen heute Ausgangsleistungen bis zu 10.000 W. Der hohe Fertigungsaufwand für Wärmesenken stellt aufgrund materialintensiver abtragender Fertigungsverfahren (Fräsen, Schleifen etc.) und der großen Zahl der für Hochleistungssysteme benötigten Diodenlaserbarren derzeit einen erheblichen Kostenfaktor für das Gesamtsystem dar. Die Kosten für eine einzelne

Mikrokanalwärmesenke in der konventionellen Kupfer-Technologie betragen zwischen 30 € und 50 €.



a)



b)

Abb. 1: a) Schematischer Aufbau einer heute eingesetzten Mikrokanalwärmesenke, Abmaße 28mm x 18,5mm x 3,5mm; b) Diodenlaserstacks bestehen aus mehreren übereinander angeordneten, auf Mikrokanalwärmesenken montierten Diodenlaserbarren (Bild: Dilas)

Stand der Arbeiten im laufenden Vorhaben

Das im laufenden Vorhaben entwickelte Verfahren des Mikro-Metallpulverspritzgießens (μ -MIM) zur Herstellung von Wärmesenken bietet im Gegensatz zu anderen Fertigungsverfahren die notwendige Flexibilität in Bezug auf Materialwahl und Formgebung, so dass Wärmesenken kostengünstig und ausdehnungsangepasst produziert werden können. So wurde im Rahmen des Vorläuferprojekts gezeigt, dass die wesentlichen technologischen Probleme der heutigen eingesetzten Materialien und Fertigungsverfahren für Wärmesenken durch die Entwicklung und den Einsatz des μ -MIM für W-Cu gelöst werden können. Durch die gezielte Auswahl sehr feinkörniger Wolfram- und Kupferpulver als Ausgangsmaterialien konnten die geforderten Kühlstrukturen mit Ausdehnungsanpassung und hoher thermischer Leitfähigkeit im Spritzgießschritt präzise abgeformt und anschließend defektfrei gesintert werden. Hohe Kosten für das Legierungssystem und schwere mechanische Bearbeitung, welche bisher einen Einsatz in der Applikation Wärmesenke verhindert haben, werden damit vermieden. Dauertests mit am LLT gefügten Komponenten haben nach 1000 Stunden nur geringe Anzeichen von Verschleiß oder Erosion geliefert. Dies beruht auf der erhöhten mechanischen Beständigkeit des Materials W-Cu gegenüber dem heute kommerziell eingesetzten, reinen Kupfer und der erfolgreichen Entwicklung der Sintertechnik hin zu bisher im Metallpulverspritzguss von W-Cu nicht erreichten relativen Dichten größer als 98 %.

Aufgrund der bisher erzielten Ergebnisse steht die μ -MIM-Technologie nunmehr grundsätzlich für die Fertigung aktiv gekühlter, ausdehnungsangepasster Wärmesenken zur Verfügung. Die Arbeiten im aktuellen Projekt haben jedoch auch gezeigt, dass für eine mögliche industrielle Umsetzung weitergehende Entwicklungen unabdingbar sind. Diese betreffen im Wesentlichen die Ausschöpfung der gegebenen Möglichkeiten der Formgebung und des Fügens im μ -MIM-Prozess zur weiteren Reduzierung von Fertigungsaufwand- und Kosten, die Entwicklung und Qualitätssicherung aller Fügeflächen im Aufbau von Diodenlaser und Wärmesenke sowie die Prüfung und Optimierung der neu entwickelten Wärmesenke hinsichtlich thermischer Eigenschaften,

Erosion und Oberflächengüte. Insbesondere bezüglich der letztgenannten Aspekte bietet sich an, das Material W-Cu an geeigneter Stelle durch einen korrosions- und erosionsbeständigen Werkstoff wie Edelstahl zu ersetzen.

3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

3.1 Forschungsziel

3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Wissenschaftlich-technisch

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Weiterentwicklung der bisherigen Ergebnisse hin zu einer hinsichtlich Formgebung, Fügetechnik, mechanischen und thermischen Eigenschaften optimierten Wärmesenke, bei der die technologischen Vorteile des Mikro-Metallpulverspritzgusses vollständig ausgenutzt werden. Hierzu sind folgende über die ursprünglichen Ziele des Vorläufervorhabens hinausgehende Fragestellungen zu bearbeiten:

1. Entwicklung eines hinsichtlich des μ -MIM und der Produktanforderungen optimierten Wärmesenkendesigns, insbesondere zur Reduzierung der Bauteilanzahl und zur Positionierung der Fügezonen außerhalb kritisch beanspruchter Bereiche
2. Erarbeitung des μ -MIM-Prozesses für die beiden Komponenten der Wärmesenke, zu Beginn aus W-Cu und nach der Optimierungsphase aus Edelstahl
3. Optimierung der Fügetechnologien Löten und Co-Sintern für den W-Cu / W-Cu-Verbund und für das neue Materialsystem W-Cu / Edelstahl zur optimalen Abdichtung der aktiven Kühlstrukturen
4. Prüfung und Optimierung der Materialien und Fügeflächen der Wärmesenke hinsichtlich thermischer Eigenschaften und Erosion im Dauerversuch

Alle Ziele zusammen führen zu einer deutlichen Erhöhung der Lebensdauer von Hochleistungsdiodenlasern bei gleichzeitiger Reduzierung der Kosten. Eine Prinzipskizze des geplanten neuen Wärmesenken-Aufbaus zeigt Abb. 2a.

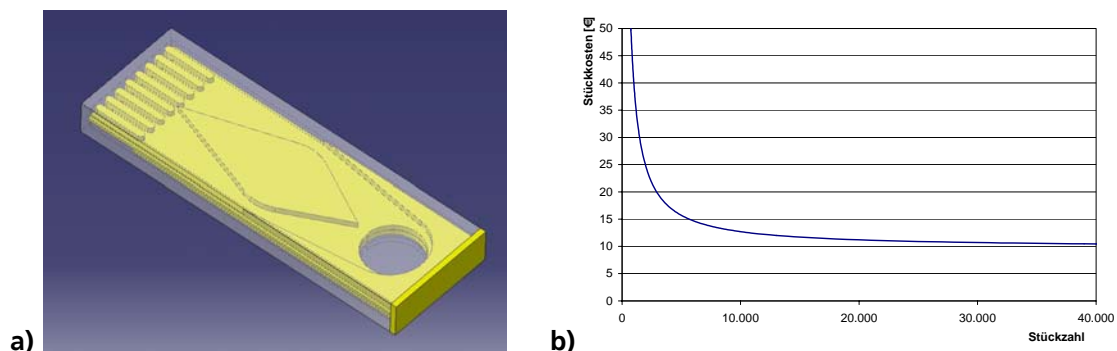


Abb. 2: a) Prinzipskizze eines neuen Wärmesenkenaufbaus bestehend aus einer strukturierten, innen liegenden (gelb) und einer ummantelnden Komponente (grau, transparent), b) Kosten je Wärmesenke in Abhängigkeit von der produzierten Stückzahl

Wirtschaftlich

Mit der angestrebten Erarbeitung eines neuen für den μ -MIM-Prozess maßgeschneiderten Wärmesenkendesigns soll die Anzahl der Einzelbauteile von derzeit drei auf zwei reduziert werden. Dies reduziert anfängliche Investitionskosten schon aufgrund der Verringerung der Anzahl an notwendigen Formen für das Spritzgießen. Mit der geringeren Anzahl notwendiger Spritzgussteile verringert sich natürlich auch der Fertigungsaufwand hinsichtlich Spritzgießen, Sintern und Fügetechnik.

Unter der Berücksichtigung der gesamten möglichen Kosten liegt der Preis für eine ausdehnungsangepasste Wärmesenke bei einer Produktion im Bereich von 10.000 Stück bei ca. 20 Euro inklusive eine Marge für den Hersteller von 25 %. Dieser Preis liegt um etwa 10 € unter dem der derzeit verfügbare Kupferwärmesenke. Da der Markt für Diodenlaserstacks stetig wächst, sind auch entsprechend größere Stückzahlen in der Fertigung zu erwarten. Damit fällt der Preis pro Wärmesenke weiter leicht ab (Abb. 2b).

3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Mit der hier angestrebten Weiterentwicklung der μ -MIM-Technologie wird ein neuer, industriell umsetzbarer Prozess für die Fertigung ausdehnungsangepasster Kühlkörper für Laserdioden zur Verfügung gestellt. Durch die Weiterentwicklung des Komponentendesigns von einer aus drei Teilen bestehenden hin zu einer zweiteiligen Wärmesenke wird der heute bestehende Aufwand an Aufbau- und Verbindungstechnik wesentlich reduziert.

Die Prozesstechnologie des Mikro-Metallpulverspritzgießens erlaubt die Abformung von Kühlstrukturen direkt im Spritzgießprozess, so dass erstmals eine mechanische Bearbeitung der einzelnen Bauteile zum Einbringen der Strukturen entfallen kann. Darüber hinaus soll die Technologie des Co-Sinterns als industriell einsetzbares Verfahren zum Fügen mehrerer Bauteile im Sinterprozess etabliert werden. Besonders das Zusammenbringen von zwei unterschiedlichen Materialien innerhalb der Sinterung ist eine anspruchsvolle Entwicklung und große Herausforderung. Gegenüber bisherigen Arbeiten auf diesem Gebiet, die sich im wesentlichen mit der Verbindung unterschiedlicher Komponenten aus gleichen Werkstoffklassen befasst haben, stellt die angestrebte Entwicklung hin zu dichten, mechanisch stabilen Grenzflächen zwischen W-Cu und Edelstahl eine bedeutende werkstofftechnische Innovation dar, da bei diesem Verbund eine erhöhte Diffusionsneigung des Kupfers in den Edelstahl besteht. Eine genaue Abstimmung der eingesetzten Werkstoffe, die zum einen den Ansprüchen der Wärmesenke gerecht werden müssen, zum anderen jedoch möglichst keine Diffusion von Kupfer zulassen sollen, ist ein Ziel dieses Folgeprojektes.

3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Das beantragte Projekt wird in insgesamt 13 Arbeitspakete (AP) unterteilt, die jeweils am IFAM oder LLT gemäß ihrer Expertise zu bearbeiten sind. In den vorbereitenden Arbeitspaketen 1 und 2 werden Leistungskriterien für die Wärmesenke definiert und ihr thermisches Verhalten simuliert. In AP 3 werden anhanddessen geeignete Pulver ausgewählt und Formmassen für den Spritzguss aufbereitet. Bereits in diesem Schritt müssen notwendige Anpassungen der Materialien hinsichtlich des Co-Sinterns im parallel

zu bearbeitenden AP 4 erfolgen. Die Entwicklungen werden direkt auf den Erfahrungen aus dem Vorgängerprojekt aufbauen, in dem grundsätzlich gezeigt wurde, dass die Herstellung stoffschlüssiger Werkstoffverbunde aus W-Cu durch Co-Sintern möglich ist. In AP 5 sind erste Probekörper abzuformen, zu entbindern und zu sintern, um die in der Wärmesenke benötigten Materialeigenschaften bereits im Vorfeld der Fertigung zu prüfen.

Auf Basis der beschriebenen grundlegenden Untersuchungen wird das endgültige Design der neuen Wärmesenke festgelegt und in AP 6 in ein Werkzeug für das μ -MIM-Verfahren umgesetzt. Anschließend erfolgt die Entwicklung der Spritzgießprozesse für die beiden Bauteile zum einen nur aus W-Cu zum anderen aus W-Cu und Edelstahl sowie die Erarbeitung der geeigneten Fügeparameter für das Co-Sintern (AP 7) oder Löten (AP 8). Die für eine Sicherstellung der Funktionalität unabdingbare metallographische und mechanische Prüfung der Fügezonen erfolgt anschließend in AP 9. Die abschließende Endbearbeitung und Montage der defektfreien und dichten Bauteile auf die Laserdioden wird in den APs 10 und 11 vorgenommen, bevor der Diodenlaser in AP 12 auf seine Funktion im Zusammenspiel mit der neuen Wärmesenke getestet wird. Die Gesamtkoordination des Projekts, die Berichterstattung und Öffentlichkeitsarbeit wird in AP 13 abgewickelt.

Der gesamte Arbeitsplan sowie eine genaue Beschreibung der durchzuführenden Arbeiten sind in der ausführlichen Beschreibung zum Forschungsantrag dargestellt. Die geplanten Kapazitäten ergeben sich aus Abb. 4

		Jahr 1	Jahr 2
Lehrstuhl für Lasertechnik			
Wissenschaftler TH	EG 14	6	12
Wissenschaftler TH	EG 13	3	2
Stud. Hilfskraft	86h/Monat	12	12
Fraunhofer IFAM			
Wissenschaftler TH	EG 14	13	12
Techniker FH	EG 10	5	3
Stud. Hilfskraft	80h/Monat	10	6
Investition Spritzgießwerkzeug und Formeinsätze (einmalig)	-	25.000 €	-

Abb. 4: Ressourcen- und Personaleinsatz der beteiligten Forschungsstellen

4. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Während der Projektlaufzeit und darüber hinaus ist von Seiten des IFAM und LLT eine Reihe von Maßnahmen zur Sicherstellung des Ergebnistransfers in die Wirtschaft geplant. Während die Forschungsstellen mit den inhaltlichen Entwicklungsarbeiten befasst sind, unterstützt der projektbegleitende Ausschuss (PA) die Arbeiten durch kontinuierliche Beratung hinsichtlich der wesentlichen Projektziele. Nur durch eine solche enge

Zusammenarbeit ist nach einem erfolgreichen Projektanschluss eine schnelle industrielle Umsetzung in einem Zeithorizont von etwa 24 Monaten zu erwarten.

Hinsichtlich der im Rahmen dieses Projektes vorgesehenen Neuauslegung des Wärmesenkendesigns wird die Kooperation der Antragsteller mit den Mitgliedern des PA insbesondere aus der Laser-Industrie (Dilas, Laserline) und der MIM-Fertigung (OBE) einen wertvollen Beitrag zu einer schnellen technischen Umsetzung leisten. Die Mitglieder des PA werden zu allen Projekttreffen eingeladen und erhalten mindestens halbjährlich weitere Informationen zum aktuellen Projektstatus von den Antragstellern.

Das IFAM und das LLT sind im Rahmen ihrer Forschungs- und Entwicklungsaufgaben auf Fachmessen vertreten, anlässlich derer die Ergebnisse des Projekts gezielt vermarktet werden. Beispiele hierfür sind die jährlich stattfindende Hannover Messe und die Messe LASER. Des Weiteren nehmen beide antragstellenden Forschungseinrichtungen soweit zulässig fortlaufend die Ergebnisse des Projekts in ihre Kundenpräsentationen mit auf, die zur gezielten Ansprache interessierter Industriepartner dienen. Sowohl am IFAM als auch am LLT wird es eine Projektbeschreibung auf der Homepage geben, um Interessenten über aktuelle Projektergebnisse auf dem Laufenden zu halten. Weiter wird nach Projektabschluss zu Vermarktungszwecken ein Muster der neuen Wärmesenke bei den Forschungsstellen, den Mitgliedern des PA und der Forschungsvereinigung F.O.M. verbleiben.

Die Ergebnisse des Projektes werden in regelmäßigen Abständen auf Fachkongressen sowie in Tagungsbänden, Postern und Fachzeitschriften veröffentlicht. Beispiele für regelmäßig stattfindende Kongresse, auf denen die Forschungsstellen Ihre Ergebnisse potentiellen Kunden präsentieren, sind die EuroPM, euspens Conference, und AKL International Laser Technology Congress. Darüber hinaus werden Veröffentlichungen in nationalen und internationalen Fachzeitschriften wie Mikroproduktion, Konstruktion, Powder Injection Moulding International, Photonik, Laser Focus World oder Photonics erfolgen.

Durch die Festlegung und Prüfung von Leistungskriterien der Wärmesenken wird interessierten Unternehmen ein Leitfaden für die direkte Umsetzung der Forschungsergebnisse in eine industrielle Anwendung zur Verfügung gestellt. Die wissenschaftlichen Resultate, die etwa im Hinblick auf die Entwicklung der Fügetechnologie und der Werkstoff- und Komponentencharakterisierung zu erwarten sind, werden in laufende Vorlesungen zum Beispiel zum Thema Werkstoffe für die Elektrotechnik, Lasertechnik oder Prozesstechnologie an den Universitäten in Aachen und Bremen aufgenommen.

5. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU

5.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse in KMU

Hauptsächlich werden die Ergebnisse der Entwicklungen in den Branchen Werkstoffe und Materialien, Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Produktion zum tragen kommen.

Während die angestrebten Entwicklungen des μ -MIM-Fertigungsprozesses und der Füge-technologien von W-Cu-Verbunden und W-Cu / Edelstahl-Verbunden zu Innovationen im Bereich der Werkstoff- und Produktionstechnik führen werden, sind Verfahrenstechnik und Umwelttechnik Branchen, die von der Einführung des neuen Produkts aufgrund der Möglichkeit zur wirtschaftlichen Massenfertigung bei gleichzeitig erhöhter Effizienz der Kühlung profitieren werden.

Bei einer erfolgreichen Umsetzung der Entwicklungen in die Industrie werden die metallherstellenden Unternehmen, d.h. die Hersteller feiner Wolfram- und Kupferpulver einen neuen Markt erschließen, da sie als Zulieferer für MIM-Firmen auftreten werden. Diese wiederum werden nach einem Transfer der erzielten Forschungsergebnisse in die Lage versetzt, Wärmesenken aus W-Cu zu fertigen. Als Endkunde wird zunächst in der Hauptsache die Laserindustrie profitieren, mittelfristig können die Ergebnisse auch der chemischen Industrie und Energie- und Mikroelektronikbranche zugute kommen.

Die mittels μ -MIM und Co-Sinterung hergestellte Mikrokanalwärmesenke für Diodenlaser hat in dem dargestellten Verwertungskonzept eine Pilotfunktion. Der im Rahmen des Vorgängerprojekts bereits intensiv betriebene Austausch mit den Unternehmen des PA hat zur Erarbeitung des Projektkonzepts für ein neues Wärmesenken-Design geführt, das eine schnelle Umsetzung in ein marktreifes Produkt ermöglichen soll. Die Unternehmen werden über die Durchführung eigener Messungen an exemplarischen Bauteilen bereits während der Projektlaufzeit aktiv eingebunden.

5.2 Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit von KMU ist das Forschungsvorhaben sowohl für fertigende Metallpulverspritzguss-Unternehmen als auch für die Anwender der neuartigen Mehrkomponenten-Wärmesenken interessant. So finden Pulverspritzgießverfahren vorwiegend in kleinen und mittleren Unternehmen Anwendung, die in einer Zulieferkette für die Automobilindustrie, Medizintechnik, optischer Industrie, Elektroindustrie, Uhren- und Schmuckindustrie, Mikrotechnik und dem Maschinen- und Gerätebau positioniert sind. Gerade in den letzten 10 Jahren wurden in der Pulverspritzguss-Technologie zweistellige Zuwachsraten erzielt und im Jahr 2007 ein globaler Umsatz von einer Milliarde US \$ überschritten.

Gerade in einem rohstoffarmen Land wie der Bundesrepublik muss für eine langfristige, weltweite Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher KMU die Ressourcen- und Energieeffizienz bei noch verbesserter Bauteilqualität gesteigert werden. Hier zeichnet sich die MIM-Technologie im Vergleich zu konkurrierenden Fertigungstechnologien bereits durch eine hohe Materialausnutzung aus, wohingegen bei dem Einsatz von zerspanenden Technologien zur Herstellung von Wärmesenken für Diodenlaser nach heutigem Stand der Technik bis zu 50 % des eingesetzten Werkstoffes bis zum fertigen Bauteil abgetragen und als Abfall ausgesondert werden. Vor dem Hintergrund der steigenden Rohstoffpreise ist eine schnelle Akzeptanz der Fertigungstechnologie Pulverspritzguss für diese neue Anwendung zu erwarten.

Eine Steigerung der Lebensdauer durch ausdehnungsangepasste und korrosionsfreie Mikrokanalkühler wird sich besonders positiv auf die Leistungsfähigkeit der KMU auswirken. Neben den großen Laserherstellern (z. B. Rofin-Sinar und Trumpf), die in erster

Linie Strahlquellen für die Volumenmärkte Schweißen, Schneiden und Beschriften herstellen, gibt es eine Vielzahl von KMU, die spezialisierte Laserstrahlquellen für Nischenmärkte und spezielle Anwendungen herstellen, wie z. B. für das Markieren, für die Oberflächenbehandlung, für Laser-Reinigungssysteme und für chirurgische Laser. 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, Laserlötssysteme und medizinische Geräte zur Haarentfernung oder Hautbehandlung. Bei diesen sehr spezialisierten Unternehmen handelt es sich überwiegend um KMU. Durch die Leistungssteigerungen der Laserdioden in den letzten Jahren, bietet sich in vielen Fällen, z.B. im kosmetischen Bereich, der direkte Einsatz von Diodenlasern an. Bisher haben die Systeme wegen der eingeschränkten Lebensdauer und Zuverlässigkeit in dieser Branche noch keinen Marktzugang gefunden.

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

Das neue Design der Wärmesenke 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. Eher ist mit einer höheren Nutzung dieser Laserart zu rechnen, da sich durch eine effizienter Energieausbeute, die durch die angepasste Kühlung entsteht, weitere Anwendungsbereich öffnen. Mit der beantragten Weiterentwicklung des μ -MIM-Verfahrens hinsichtlich einer weiter verbesserten Wirtschaftlichkeit und Funktion der Komponenten wird angestrebt, die Entwicklung nach Projektende innerhalb von 2 Jahren in eine industrielle Anwendung zu bringen.

Mit einer hohen industriellen Akzeptanz der neuen Wärmesenke ist auch aus wirtschaftlichen Gründen zu rechnen. Durch den Einsatz der neuen Fertigungstechnologie werden die Herstellungskosten für die Wärmesenke reduziert, wodurch dem anwendenden Unternehmen Kostenvorteile entstehen. Ebenso wirkt sich günstig aus, dass der μ -MIM-Prozess auf in der Industrie bereits etablierten Anlagen laufen kann und somit in dieser Hinsicht keine Investitionshürde gegeben ist. Damit besteht mittelfristig die Aussicht weltweit erstmals eine durch μ -MIM und Co-Sintern gefertigte Komponente in einem Massenmarkt zu etablieren.

6. Durchführende Forschungsstellen

- **Forschungsstelle 1**

Lehrstuhl für Lasertechnik (LLT)
Steinbachstr. 15
D-52074 Aachen
Tel: 0241 - 8906 – 343
Fax: 0241- 8906 - 121

Institutsleiter: Prof. Dr. rer. nat. R. Poprawe, M.A.
Projektleiter: Dipl.-Ing. Michael Leers

Aachen, den *4. Sept. 2009*

Ort, Datum


Prof. Dr. rer. nat. R. Poprawe, M.A.

- **Forschungsstelle 2**

Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Materialforschung (IFAM)
Wiener Str. 12
D - 28359 Bremen
Tel: 0421 - 2246 – 216
Fax: 0421 - 2246 - 300

Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. M. Busse
Projektleiter: Dr.-Ing. Philipp Imgrund

Bremen, den 03.09.2009

Ort, Datum


Dr. Philipp Imgrund