

## Projektplan

### **Opti-Bond: Integriert-Optische Module durch neue Bondtechnologien (18360 N)**

Für viele optische Anwendungen stoßen geklebte optische Systeme, bei denen brechzahlangepasste Polymere als Hilfsstoffe zum Fügen optischer Flächen aus Glas eingesetzt werden, zunehmend an die Leistungsgrenzen. Dies gilt insbesondere für erhöhte Temperaturen, Vakuumbedingungen und leistungsstarke Laser-Anwendungen sowie den Einsatz im UV-Spektralbereich. Ursache dafür ist in der Regel die begrenzte Materialstabilität der Polymere auf mikroskopischer Ebene aufgrund der schwachen Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung (C-C) innerhalb der Kettenstruktur, die bereits durch weiche UV-Strahlung aufgebrochen wird. Analog kann selbst eine geringe Absorption langwelliger Strahlung bei hohem Leistungseintrag über Wärmeentwicklung und thermische Ausdehnung der Polymere oder nachfolgende chemische Reaktionen die Funktionalität optischer Systeme gravierend beeinträchtigen.

Im Rahmen von aktuellen Verfahrensentwicklungen werden deshalb applikationsgetrieben seit einigen Jahren neue und aussichtsreiche Fügemöglichkeiten für Glasmaterialien in Form des Direkten Bondens und des Silikatischen Bondens untersucht. Beide Verfahren erzeugen bei moderaten Temperaturen von ca. 250 °C bzw. ca. 120 °C flächig ausgedehnte Netzwerke von Silizium-Sauerstoff-Silizium-Bindungen (Si-O-Si) zwischen den Fügepartnern und führen so zu weitgehend materialangepassten, hochstabilen Bondzonen zwischen den optischen Flächen von Gläsern und anderen sprödharten Materialien. Während das Direkte Bonden zwischenschichtfrei arbeitet und sich gegenüber dem klassischen Ansprengen (aufgrund von Oberflächenaktivierungsmaßnahmen) durch erhöhte Bondfestigkeit auszeichnet, verwendet das Silikatische Bonden wässrige alkalische Lösungen als Fügehilfsstoff und ist dadurch spaltfüllend und potentiell geeignet, Anforderungen an die Füge toleranzen zu reduzieren.

Ebenfalls in enger Beziehung zum Ansprengen steht das Ultrakurzpuls-Laserschweißen, bei dem transparente Fügepartner zunächst zwischenschichtfrei kontaktiert werden. Der Kontaktbereich wird anschließend durch hochfokussierte intensive Laserstrahlung (Multiphoton-Absorption) lokal bis zum Erweichen oder gar Schmelzen erwärmt, wodurch nach dem Abkühlen eine „punktueller“ Festkörperverbindung der beiden Fügepartner ohne merkliche globale Erwärmung entsteht. Durch sukzessive aneinander gereihte „Punkt-Verbindungen“ wird eine ausgedehnte Fügelinie bzw. Fügefläche erzielt.

Die drei Technologien sind hervorragend geeignet, kriechfreie (steife) und langzeitstabile mechanische Verbindungen von transparenten optischen Materialien mit ausgezeichneten Eigenschaften in Festigkeit, Maßhaltigkeit und thermischer Invarianz zu erzielen. Dabei hat jedes der drei Verfahren seine individuellen Vor- und Nachteile. Beim Direkten Bonden handelt es sich um eine zwischenschichtfreie Füge-technologie, so dass exzellente optische Transmissions-Eigenschaften zu erwarten sind. Dies bietet die Chance, kompakte optische Systeme mit herausragenden Eigenschaften (geringste Absorption und Dispersion) aufzubauen. Der große Vorteil des Silikatischen Bondens besteht in der Möglichkeit, auch

gewölbte oder inkonforme Geometrien über einen endlichen Abstand hinweg hochstabil zu fügen. Beim Laser-Bonden wird die Bondzone lediglich lokal im  $\mu\text{m}$ -Bereich hoch erhitzt, so dass unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten der Fügepartner unproblematisch sind.

### **Forschungsziele**

Wissenschaftlich-technisches Ziel des Projektvorschlages ist es, die Technologien des Silikatischen Bondens und des Direkten Bondens in spezifischen transmissiven Prototypanwendungen für den Bereich erhöhter Temperaturen ( $> 100\text{ °C}$ ) und/oder hoher Leistungsdichten verfügbar zu machen, sowie die Technologie des Ultrakurzpuls-Laserschweißen (entweder als alleinige Fügetechnologie oder als zusätzliche Sicherungsmaßnahme im Zusammenhang mit einer der beiden Bondtechnologien) anzuwenden und hierbei alle denkbaren Synergieeffekte aus den drei Technologien umfassend zu nutzen.

Basierend auf den Ergebnissen sollen die Technologien im Vergleich zu konventionellen Technologien (Ansprengen und Klebebindungen) geprüft und bewertet werden und wirtschaftlich einen Vorteil generieren, indem ein größerer optischer Anwendungsbereich adressiert wird.

### **Lösungsweg**

Der im Vorhaben angestrebte Lösungsansatz besteht darin sowohl planare als auch konforme sphärische optische Glasflächen mittels der jeweils optimal Material-angepassten Technologie für transmissive Optikanwendungen zu fügen. Zum Einsatz kommen die folgenden Technologien:

1. Direktes Bonden bei ca.  $250\text{ °C}$
2. Silikatisches Bonden bei ca.  $120\text{ °C}$
3. Ultrakurzpuls-Laserschweißen bei Raumtemperatur

Dabei sollen aus Kostengründen zunächst optische Bauteile mit einem Durchmesser  $\leq 30\text{ mm}$  zur Anwendung kommen (Voruntersuchungen an Testsubstraten). Es werden jeweils mindestens 2 Einzelelemente zu Optikbaugruppen für anwendungsbezogene Demonstratoren gefertigt und bezüglich ihrer Funktionalität unter Anwendungsbedingungen getestet.

Die erzielte Funktionalität wird gemeinsam mit den Anwendern in der jeweiligen Applikation anhand der finalen Demonstratoren charakterisiert.

**Variante Achromat:** Silikatisches Bonden der sphärischen Fügefläche einer Doublet-Baugruppe aus zwei verschiedenen Gläsern (Durchmesser  $\leq 30\text{ mm}$ , Temp.  $\leq 120\text{ °C}$ ).

**Variante Strahlteiler:** Direktes Bonden/Laserbonden der planaren Flächen eines Strahlteilerwürfels aus identischen (fused silica) oder unterschiedlichen Gläsern (Bauhöhe  $\leq 30\text{ mm}$  bzw. Kantenlänge  $\leq 20\text{ mm}$ , Bondtemperatur  $\leq 250\text{ °C}$ ) für hohe Leistungsdichten/

Laseranwendungen oder im UV-Bereich (Bondfläche evtl. „beschichtet“). Verbesserung der Bondfestigkeit ggf. durch Laserbunde am Rand.

**Variante Faser-Endkappe:** Ein weiterer möglicher Demonstrator ist die Aufbringung von leistungsstabilen Endkappen auf die Endfläche von aktiven Laserfasern. Durch eine solche Endkappe wird die Zerstörschwelle der Laserfaser erhöht, da diese im Volumen größer ist als an der Oberfläche. Zusätzlich ist durch die Divergenz am Austritt der Faser der Strahldurchmesser an der Oberfläche der Endkappe größer, so dass die Leistungsdichte verringert wird.

**Variante Fügen von zwei Zylinderlinsen:** Eine große Herausforderung ist das Fügen von zwei Zylinderlinsen stirnseitig mit einer max. Höhe von je 15 mm (gesamte Baugruppe wäre dann 30 mm, die Höhe ist zzt. Anlagen-begrenzt). Skaliert man diesen Demonstrator zu größeren Dimensionen, besteht das Potential Zylinderlinsen-Baugruppen preisgünstig für z.B. die Strahlformung von Lasern (Ausbildung eines Linienstrahls) zur Verfügung zu stellen. Die Demonstratoren stellen Multiplikatoren für verschiedene Anwendungen dar.

### **Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse für die Wirtschaft**

Im Rahmen des geplanten Projektes sind auf dem Gebiet der Fügetechnologien für Hochleistungsoptiken wesentliche Ergebnisse für die Zukunftsmärkte der Photonik zu erwarten. Innovative Produkte mit verbesserten Eigenschaften stärken unmittelbar die Marktfähigkeit der Firmen und sind ein wichtiger Beitrag zur Verbesserung der Stellung gegenüber den internationalen Konkurrenten. Im Erfolgsfall trägt das Projekt zur Lösung der Limitationen aktueller optischer Systeme bei, in dem Defizite bestehender Fügetechnologien überwunden werden.

Folgende wissenschaftliche Innovationen werden nach Projektende erwartet:

- Entwicklung allgemein nutzbarer polymerfreier Fügetechnologien für gekrümmte Flächen von optische Systemen im Bereich erhöhter Einsatztemperaturen ( $\geq 100\text{ °C}$ ) und/oder mittlerer Leistungsdichten/Intensitäten (ca.  $5\text{ kW/mm}^2$ ) von Laserstrahlung für unterschiedliche Materialien
- Entwicklung einer geeigneten (direkten Bond) Fügetechnologie, die UV-resistent und für hohe Leistungsdichten/Intensitäten ( $> 10\text{ kW/mm}^2$ ) von Laserstrahlung geeignet ist
- Bondtechnologien, die spaltüberbrückend wirken und damit geringere Ansprüche an die Probenpräparation und -qualität stellen
- Erhöhung der Transparenz des Laserbond-Verfahrens und Realisierung von Verbindungen optischer Qualität im IR-Bereich, Laserbonden von Proben mit dielektrischen Schichten

## **Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU**

Es profitieren insbesondere die kleineren Unternehmen, die auf den Gebieten von Spezialoptiken, Laserbearbeitung, Feinwerktechnik und optische Messtechnik tätig sind, von den angewandten Forschungsergebnissen des Projekts, das darüber hinaus als Treiber für weitere Entwicklungen von Geräten, z.B. in der Endoskopie und in der Bioanalytik, angesehen werden kann.

Die nächste Entwicklungsstufe der Optik/Photonik ist durch intelligente Systemlösungen gekennzeichnet. Die zunehmende Verschmelzung mit der Halbleitertechnik führt nicht nur zu einer Weiterentwicklung der photonischen Produkte selbst, sondern vor allem zu einer intelligenten Vernetzung und Systemintegration der Einzelkomponenten zu einem System mit einzigartigen Eigenschaften. Die Aufgabe der Forschung beinhaltet beide Aspekte: die Optimierung von Komponenten genauso wie die Optimierung von photonischen Technologien.

Das Projekt bietet für die KMU die Möglichkeit, ihre Zulieferfähigkeit für Kunden zu erweitern, da Baugruppen mit einer höheren Performance angeboten werden können. Das betrifft insbesondere polymerfreie Baugruppen für

- Vakuumumgebungen (Lithographie, Weltraum),
- Laserapplikationen (ausgasungsfrei, leistungsstabil),
- Medizintechnik (autoklavierbar) und
- UV bis EUV Anwendungen (transparent).

Basierend auf diesen Eigenschaften kann ein Vorteil im internationalen Wettbewerb generiert werden. Der allgemeingültige Lösungsansatz garantiert dabei die Steigerung der Leistungsfähigkeit deutscher Unternehmen durch eine Verbesserung einer ganzen Reihe von Produkten bzw. Produktgruppen für unterschiedliche Märkte.

## **Projektbegleitender Ausschuss**

<b>Unternehmen</b>
Laserline GmbH
BG Berliner Glas KG
LIMO - Lissotschenko Mikrooptik GmbH
asphericon GmbH
Qioptiq Photonics GmbH & Co. KG
Hellma Optik GmbH Jena
Optikron GmbH
POG Präzisionsoptik Gera GmbH
Coherent Laser Systems GmbH & Co. KG
TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH