

JAHRESBERICHT 2014



**JAHRESBERICHT DES
FRAUNHOFER-INSTITUTS
FÜR LASERTECHNIK ILT
2014**



Sehr geehrte Leser, liebe Partner des Fraunhofer ILT,

kennen Sie die Diskussionen in Ihrem Hause, wenn es um die Festlegung thematischer Schwerpunkte geht? Welche Dienstleistungen, Technologien oder Produkte stechen aufgrund der großen Kundennachfrage oder der breiten Presseresonanz in der Außenwirkung besonders hervor? Welche Themen zählen aufgrund ihrer gesellschaftlichen Relevanz und des damit verbundenen Nutzens besonders auf die eigene Marke ein? In welchen Bereichen sollen Ressourcen ausgebaut werden, um bestehende Schwerpunkte zu stärken oder neue zu generieren? Welche Themen wollen wir bei einer kommenden Tagung oder Messe besonders hervorheben? Dies entfacht durchaus auch in unserem Hause leidenschaftliche Diskussionen in den entscheidenden Gremien.

Im Fraunhofer ILT sind wir in sehr unterschiedlichen Anwendungsfeldern der Lasertechnik unterwegs: Das reicht von der Entwicklung von Laserstrahlquellen für die Materialbearbeitung oder die Satelliten-Kommunikation über das Reinigen und Polieren von Werkzeugen, die Konzeption miniaturisierter Messsysteme zur Analyse von Sepsis-Erregern bis hin zur Generierung individueller Implantate oder Verfahrensoptimierung in der Mikro- und Nanostrukturierung. Dieser Jahresbericht gibt Ihnen einen ersten Überblick über die Vielfalt der Themen, Anwendungsgebiete und Abnehmerbranchen unserer Technik. Dabei können wir nur einen Ausschnitt unseres breiten Angebots darstellen. Auch wir haben in 2014 einige Schwerpunkte im Umfeld von Messen oder Tagungen wie dem International Laser Technology Congress AKL einem breiten Fachpublikum präsentiert. Hierzu zählen u. a. Top-Themen wie Digital Photonic Production oder die Präzisionsbearbeitung mittels Ultrakurzpulslaser hoher Leistungen.

Für das Schwerpunktthema Digital Photonic Production, welches sowohl das Generieren dreidimensionaler maßgeschneiderter Bauteile als auch die präzise Herstellung von kundenspezifischen Oberflächen- und Volumenstrukturen umfasst, bietet der von Seiten des BMBF strategisch über 15 Jahre geförderte Forschungscampus das ideale Umfeld für grundlegende Forschungsarbeiten mit industrieller Relevanz. Im Schulterschluss mit unseren Industriepartnern und weiteren FuE-Instituten werden innovative Lösungen für Wirtschaft und Gesellschaft realisiert, die auf der intelligenten Vernetzung der »realen Fertigungswelt« mit der »virtuellen IT-Welt« beruhen. Dieses Vorgehen wird auch durch bauliche Maßnahmen flankiert. So fand im Sommer 2014 der Spatenstich zu unserem neuen Innovationszentrum Digital Photonic Production statt. Für 70 Prozent der rund 7000 qm Nutzfläche haben wir bereits Interessenten gefunden. Wir setzen hier unser Spin-in-Konzept für Unternehmen, die sich mit ihren FuE-Kapazitäten in unserer Nähe platzieren wollen, fort. Technologische Schwerpunkte zu setzen sorgt somit für Orientierung – wie bei einer Marke. Wir werden unsere Schwerpunkte nachhaltig ausbauen. Was wir darüber hinaus noch erforschen und entwickeln, finden Sie in diesem Jahresbericht. Ich wünsche Ihnen viele inspirierende Anregungen zur Kooperation mit unserem Hause.

Ihr

Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe

INHALT

6	Das Institut im Profil
7	Leitbild
8	Technologiefelder
10	Leistungsangebote
14	Institutsstruktur
15	Kuratorium und Gremien
16	Das Institut in Zahlen
19	Kundenreferenzen
20	Kooperationsformen
22	USA – Center for Laser Applications CLA
23	Frankreich – Coopération Laser Franco-Allemande CLFA
24	Fraunhofer-Verbundprojekt »Systemforschung Elektromobilität II«
26	Fraunhofer-Verbund »Light & Surfaces«
28	Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick
30	Lasertechnik an der RWTH Aachen
33	Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«
34	RWTH Aachen Campus
36	Digital Photonic Production

Ausgewählte Forschungsergebnisse

39	Laser und Optik
57	Lasermaterialbearbeitung
121	Lasermesstechnik und EUV-Technologie
131	Medizintechnik und Biophotonik
144	Patente
147	Dissertationen
148	Diplomarbeiten
149	Bachelorarbeiten
150	Masterarbeiten
152	Wissenschaftliche Veröffentlichungen
158	Vorträge
165	Kongresse und Seminare
172	Messebeteiligungen
176	Auszeichnungen und Preise
177	Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.
178	European Laser Institute ELI
179	Zuwendungsgeber
180	Impressum

DAS INSTITUT IM PROFIL

KURZPORTRAIT

ILT – dieses Kürzel steht seit fast 30 Jahren für gebündeltes Know-how im Bereich Lasertechnik. Innovative Lösungen von Fertigungs- und Produktionsaufgaben, Entwicklung neuer technischer Komponenten, kompetente Beratung und Ausbildung, hochspezialisiertes Personal, neuester Stand der Technik sowie internationale Referenzen: dies sind die Garantien für langfristige Partnerschaften. Die zahlreichen Kunden des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT stammen aus Branchen wie dem Automobil- und Maschinenbau, der Chemie und der Elektrotechnik, dem Flugzeugbau, der Feinmechanik, der Medizintechnik und der Optik. Mit über 400 Mitarbeitern und 19.500 m² Nettogrundfläche zählt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten seines Fachgebiets.

Die vier Technologiefelder des Fraunhofer ILT decken ein weites Themenspektrum in der Lasertechnik ab. Im Technologiefeld »Laser und Optik« entwickeln wir maßgeschneiderte Strahlquellen sowie optische Komponenten und Systeme. Das Spektrum reicht von Freiformoptiken über Dioden- und Festkörperlaser bis hin zu Faser- und UltrakurzpulsLasern. Neben der Entwicklung, Fertigung und Integration von Komponenten und Systemen befassen wir uns auch mit Optikdesign, Modellierung und Packaging. Aufgabenstellungen zum Schneiden, Abtragen, Bohren, Reinigen, Schweißen, Lötten, Beschriften sowie zur Oberflächenbearbeitung und Mikrofertigung lösen wir im Technologiefeld »Lasermaterialbearbeitung«. Im Vordergrund stehen Verfahrensentwicklung und Systemtechnik. Dies schließt Maschinen- und Steuerungstechnik genauso ein wie Prozess- und Strahlüberwachung sowie Modellierung und Simulation. Experten des Technologiefelds »Medizintechnik und Biophotonik« erschließen gemeinsam mit Partnern aus den Lebenswissenschaften neue Anwendungen des Lasers

in der Bioanalytik, der Lasermikroskopie, der klinischen Diagnostik, der Lasertherapie, der Biofunktionalisierung und der Biofabrication. Auch die Entwicklung und Fertigung von Implantaten, mikrochirurgischen und mikrofluidischen Systemen und Komponenten zählen zu den Kernaktivitäten. Im Technologiefeld »Lasermesstechnik und EUV-Technologie« entwickeln wir für unsere Kunden Verfahren und Systeme zur Inline-Messung physikalischer und chemischer Größen in einer Prozesslinie. Neben der Fertigungsmesstechnik und der Materialanalytik liegen Umwelt und Sicherheit sowie Recycling und Rohstoffe im Fokus der Auftragsforschung. Mit der EUV-Technologie stoßen wir in die Submikrometerwelt der Halbleitertechnik und Biologie vor.

Unter einem Dach bietet das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT Forschung und Entwicklung, Systemaufbau und Qualitätssicherung, Beratung und Ausbildung. Zur Bearbeitung der Forschungs- und Entwicklungsaufträge stehen zahlreiche industrielle Lasersysteme verschiedener Hersteller sowie eine umfangreiche Infrastruktur zur Verfügung. Im Anwenderzentrum des Fraunhofer ILT arbeiten Gastfirmen in eigenen, abgetrennten Labors und Büroräumen. Grundlage für diese spezielle Form des Technologietransfers ist ein langfristiger Kooperationsvertrag mit dem Institut im Bereich der Forschung und Entwicklung. Der Mehrwert liegt in der Nutzung der technischen Infrastruktur und dem Informationsaustausch mit Experten des Fraunhofer ILT. Rund 10 Unternehmen nutzen die Vorteile des Anwenderzentrums. Neben etablierten Laserherstellern und innovativen Laseranwendern finden hier Neugründer aus dem Bereich des Sonderanlagenbaus, der Laserfertigungstechnik und der Lasermesstechnik ein geeignetes Umfeld zur industriellen Umsetzung ihrer Ideen.



*DQS zertifiziert nach
DIN EN ISO 9001
Reg.-Nr.: DE-69572-01*



LEITBILD

Mission

Wir nehmen beim Transfer der Lasertechnik in die industrielle Nutzung eine internationale Spitzenposition ein. Wir erweitern nachhaltig Wissen und Know-how unserer Branche und tragen maßgeblich zur Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik bei. Wir schaffen mit unseren Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Politik Innovationen auf Basis neuer Strahlquellen und neuer Anwendungen.

Kunden

Wir arbeiten kundenorientiert. Diskretion, Fairness und Partnerschaftlichkeit haben für uns im Umgang mit unseren Kunden oberste Priorität. Unsere Kunden können sich auf uns verlassen. Entsprechend der Anforderung und Erwartung unserer Kunden erarbeiten wir Lösungen und deren wirtschaftliche Umsetzung. Ziel ist die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen. Wir fördern den Nachwuchs an Fach- und Führungskräften für die Industrie durch projektbezogene Partnerschaften mit unseren Kunden. Wir wollen, dass unsere Kunden zufrieden sind und gerne wiederkommen.

Chancen

Wir erweitern unser Wissen strategisch im Netzwerk.

Faszination Laser

Wir sind fasziniert von den einzigartigen Eigenschaften des Laserlichts und der daraus resultierenden Vielseitigkeit der Anwendungen.

Mitarbeiter

Das Zusammenwirken von Individuum und Team ist die Basis unseres Erfolgs.

Stärken

Wir haben ein breites Spektrum an Ressourcen und bieten Lösungen aus einer Hand.

Führungsstil

Kooperativ, fordernd und fördernd. Die Wertschätzung unserer Mitarbeiter als Person, ihres Know-hows und ihres Engagements ist Basis unserer Führung. Wir binden unsere Mitarbeiter in die Erarbeitung von Zielen und in Entscheidungsprozesse ein. Wir legen Wert auf effektive Kommunikation, zielgerichtete und effiziente Arbeit und klare Entscheidungen.

Position

Wir arbeiten in vertikalen Strukturen von der Forschung bis zur Anwendung. Unsere Kompetenzen erstrecken sich entlang der Kette Strahlquelle, Bearbeitungs- und Messverfahren über die Anwendung bis zur Integration einer Anlage in die Produktionslinie des Kunden.



TECHNOLOGIEFELDER



LASER UND OPTIK

Das Technologiefeld Laser und Optik steht für innovative Laserstrahlquellen und hochwertige optische Komponenten und Systeme. Das Team der erfahrenen Laserexperten entwickelt Strahlquellen mit maßgeschneiderten räumlichen, zeitlichen und spektralen Eigenschaften und Ausgangsleistungen im Bereich μW bis GW . Das Spektrum der Laserstrahlquellen reicht von Diodenlasern bis zu Festkörperlaser, von Hochleistungsw-Lasern bis zu Ultrakurzpulslasern und von single-frequency Systemen bis hin zu breitbandig abstimmbaren Lasern.

Bei den Festkörperlaser stehen sowohl Oszillatoren als auch Verstärkersysteme mit herausragenden Leistungsdaten im Zentrum des Interesses. Ob Laserhersteller oder Anwender, die Kunden erhalten nicht nur maßgeschneiderte Prototypen für ihren individuellen Bedarf sondern auch Beratung zur Optimierung bestehender Systeme. Insbesondere im Bereich der Kurzpulslaser und der Breitbandverstärker können zahlreiche Patente und Rekordwerte als Referenz vorgewiesen werden.

Darüber hinaus bietet das Technologiefeld hohe Kompetenz bei Strahlformung und Strahlführung, dem Packaging optischer Hochleistungskomponenten und dem Design optischer Komponenten. Auch die Auslegung hocheffizienter Freiformoptiken zählt zu den Spezialitäten der Experten.

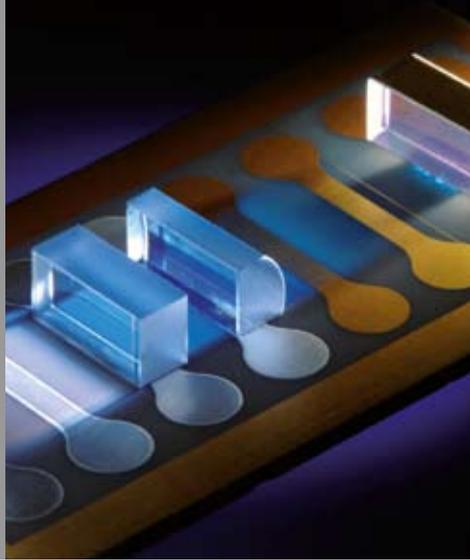
Die Anwendungsgebiete der entwickelten Laser und Optiken reichen von der Lasermaterialbearbeitung und der Messtechnik über Beleuchtungsapplikationen und Medizintechnik bis hin zum Einsatz in der Grundlagenforschung.

LASERMATERIAL-BEARBEITUNG

Zu den Fertigungsverfahren des Technologiefelds Lasermaterialbearbeitung zählen die Trenn- und Fügeverfahren in Mikro- und Makrotechnik sowie die Oberflächenverfahren. Ob Laserschneiden oder Laserschweißen, Bohren oder Lötten, Laserauftragschweißen oder Reinigen, Strukturieren oder Polieren, Generieren oder Beschichten, das Angebot reicht von Verfahrensentwicklung und Machbarkeitsstudien über Simulation und Modellierung bis hin zur Integration der Verfahren in Produktionslinien.

Die Stärke des Technologiefelds beruht auf dem umfangreichen Prozess-Know-how, das auf die Kundenanforderungen zugeschnitten wird. So entstehen auch Hybrid- und Kombinationsverfahren. Darüber hinaus werden in Kooperation mit spezialisierten Netzwerkpartnern komplette Systemlösungen angeboten. Sonderanlagen, Anlagenmodifikationen und Zusatzkomponenten sind Bestandteil zahlreicher FuE-Projekte. So werden spezielle Bearbeitungsköpfe für die Lasermaterialbearbeitung nach Kundenbedarf entwickelt und gefertigt. Auch Prozessoptimierungen durch Designänderungen von Komponenten sowie Systeme zur Online-Qualitätsüberwachung zählen zu den Spezialitäten des Technologiefelds.

Der Kunde erhält somit laserspezifische Lösungen, die Werkstoff, Produktdesign, Konstruktion, Produktionsmittel und Qualitätssicherung mit einbeziehen. Das Technologiefeld spricht Laseranwender aus unterschiedlichen Branchen an: vom Maschinen- und Werkzeugbau über Photovoltaik und Feinwerktechnik bis hin zum Flugzeug- und Automobilbau.



MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK

Gemeinsam mit Partnern aus den Life Sciences erschließt das Technologiefeld Medizintechnik und Biophotonik neue Einsatzgebiete des Lasers in Therapie und Diagnostik sowie in Mikroskopie und Analytik. Mit dem Selective Laser Melting Verfahren werden generativ patientenindividuelle Implantate auf der Basis von Computertomographie-Daten gefertigt. Die Materialvielfalt reicht von Titan über Polylactid bis hin zu resorbierbarem Knochenersatz auf Kalzium-Phosphat Basis.

Für Chirurgie, Wundbehandlung und Gewebetherapie werden in enger Kooperation mit klinischen Partnern medizinische Laser mit angepassten Wellenlängen, mikrochirurgische Systeme und neue Lasertherapieverfahren entwickelt. So werden beispielsweise die Koagulation von Gewebe oder der Präzisionsabtrag von Weich- und Hartgewebe untersucht.

Die Nanoanalytik sowie die Point-of-care Diagnostik erfordern kostengünstige Einweg-Mikrofluidikbauteile. Diese werden mit Hilfe von Laserverfahren wie Fügen, Strukturieren und Funktionalisieren mit hoher Genauigkeit bis in den Nanometerbereich gefertigt. Die klinische Diagnostik, die Bioanalytik und die Lasermikroskopie stützen sich auf das profunde Know-how in der Messtechnik. Im Themenbereich Biofabrication werden Verfahren für in vitro Testsysteme oder Tissue Engineering vorangetrieben. Mit der Nanostrukturierung und der photochemischen Oberflächenmodifikation leistet das Technologiefeld einen Beitrag zur Generierung biofunktionaler Oberflächen.

LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE

Die Schwerpunkte des Technologiefelds Lasermesstechnik und EUV-Technologie liegen in der Fertigungsmesstechnik, der Materialanalytik, der Identifikations- und Analysetechnik im Bereich Recycling und Rohstoffe, der Mess- und Prüftechnik für Umwelt und Sicherheit sowie dem Einsatz von EUV-Technik. In der Fertigungsmesstechnik werden Verfahren und Systeme für die Inline-Messung physikalischer und chemischer Größen in einer Prozesslinie entwickelt. Schnell und präzise werden Abstände, Dicken, Profile oder die chemische Zusammensetzung von Rohstoffen, Halbzeugen oder Produkten gemessen.

Im Bereich Materialanalytik wurde profundes Know-how mit spektroskopischen Messverfahren aufgebaut. Anwendungen sind die automatische Qualitätssicherung und Verwechslungsprüfung, die Überwachung von Prozessparametern oder die Online-Analyse von Abgasen, Stäuben und Abwässern. Je genauer die chemische Charakterisierung von Recyclingprodukten ist, umso höher ist der Wiederverwertungswert. Die Laser-Emissionsspektroskopie hat sich hier als besonders zuverlässige Messtechnik erwiesen. Neben der Verfahrensentwicklung werden komplette Prototypanlagen und mobile Systeme für den industriellen Einsatz gefertigt.

In der EUV-Technik entwickeln die Experten Strahlquellen für die Lithographie, die Mikroskopie, die Nanostrukturierung oder die Röntgenmikroskopie. Auch optische Systeme für Applikationen der EUV-Technik werden berechnet, konstruiert und gefertigt.

LEISTUNGSANGEBOTE

	<i>Ansprechpartner</i>	<i>E-Mail-Adresse</i>	<i>Tel.-Durchwahl</i>
LASER UND OPTIK			
Optikdesign	Dipl.-Ing. M. Traub	martin.traub@ilt.fraunhofer.de	Tel. -342
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
Diodenlaser	Dipl.-Ing. M. Traub	martin.traub@ilt.fraunhofer.de	Tel. -342
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
Festkörperlaser	Dipl.-Phys. M. Höfer	marco.hoefer@ilt.fraunhofer.de	Tel. -128
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
Ultrakurzpulslaser	Dr. P. Rußbüldt	peter.russbueldt@ilt.fraunhofer.de	Tel. -303
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
Faserlaser	Dipl.-Phys. O. Fitzau	oliver.fitzau@ilt.fraunhofer.de	Tel. -442
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
UV-, VIS- und abstimmbare Laser	Dr. B. Jungbluth	bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de	Tel. -414
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
Packaging	Dr. M. Leers	michael.leers@ilt.fraunhofer.de	Tel. -343
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
Freiformoptiken	Dr. R. Wester.	rolf.wester@ilt.fraunhofer.de	Tel. -401
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
Modellierung und Simulationstools	Dr. R. Wester	rolf.wester@ilt.fraunhofer.de	Tel. -401
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
LASERMATERIALBEARBEITUNG			
Laserschneiden	Dr. F. Schneider	frank.schneider@ilt.fraunhofer.de	Tel. -426
	Dr. D. Petring	dirk.petring@ilt.fraunhofer.de	Tel. -210
Laserschweißen	Dipl.-Ing. M. Dahmen	martin.dahmen@ilt.fraunhofer.de	Tel. -307
	Dr. D. Petring	dirk.petring@ilt.fraunhofer.de	Tel. -210

Löten	Dr. A. Olowinsky Dr. A. Gillner	alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -491 Tel. -148
Wärmebehandlung	Dr. A. Weisheit Dr. K. Wissenbach	andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -403 Tel. -147
Beschichten	Dr. A. Weisheit Dr. K. Wissenbach	andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -403 Tel. -147
Laserauftragschweißen	Dr. A. Gasser Dr. K. Wissenbach	andres.gasser@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -209 Tel. -147
Rapid Manufacturing	Dr. W. Meiners Dr. K. Wissenbach	wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -301 Tel. -147
Prozess- und Strahlüberwachung	Dipl.-Ing. P. Abels Dr. A. Gillner	peter.abels@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -428 Tel. -148
Maschinen- und Steuerungstechnik	Dipl.-Ing. P. Abels Dr. A. Gillner	peter.abels@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -428 Tel. -148
Kunststoffschneiden und -schweißen	Dr. A. Olowinsky Dr. A. Gillner	alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -491 Tel. -148
Reinigen	Dr. J. Stollenwerk Dr. K. Wissenbach	jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -411 Tel. -147
Beschriften	Dr. J. Stollenwerk Dr. K. Wissenbach	jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -411 Tel. -147
Bohren	Dipl.-Ing. H. Uchtmann Dipl.-Ing. (FH) C. Hartmann	hermann.uchtman@ilt.fraunhofer.de claudia.hartmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -8022 Tel. -207
Mikrofügen	Dr. A. Olowinsky Dr. A. Gillner	alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -491 Tel. -148

3D-Volumenstrukturierung	Dr. I. Kelbassa Dr. A. Gillner	ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -143 Tel. -148
Polieren	Dr. E. Willenborg Dr. K. Wissenbach	edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -213 Tel. -147
Dünnschichtverfahren	Dr. J. Stollenwerk Dr. K. Wissenbach	jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -411 Tel. -147
Ultrakurzpulsbearbeitung	Dipl.-Phys. M. Reininghaus Dipl.-Phys. S. Eifel	martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de stephan.eifel@ilt.fraunhofer.de	Tel. -627 Tel. -311
Mikrostrukturierung	Dr. J. Holtkamp Dr. A. Gillner	jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -273 Tel. -148
Nanostrukturierung	Dipl.-Phys. S. Eifel Dr. A. Gillner	stephan.eifel@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -311 Tel. -148
Simulation	Dr. M. Niessen Prof. W. Schulz	markus.niessen@ilt.fraunhofer.de wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de	Tel. -8059 Tel. -204

MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK

Bioanalytik	Dr. C. Janzen Priv.-Doz. Dr. R. Noll	christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
Lasermikroskopie	Dr. C. Janzen Priv.-Doz. Dr. R. Noll	christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
Klinische Diagnostik	Dr. A. Lenenbach Priv.-Doz. Dr. R. Noll	achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
Mikrochirurgische Systeme	Dr. A. Lenenbach Priv.-Doz. Dr. R. Noll	achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
Mikrofluidische Systeme	Dr. A. Olowinsky Dr. A. Gillner	alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -491 Tel. -148

Biofunktionalisierung	Dr. E. Bremus-Köbberling Dr. A. Gillner	elke.bremus@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -396 Tel. -148
Biofabrication	Dipl.-Biologe D. Riester Dr. A. Gillner	dominik.riester@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -529 Tel. -148
Lasertherapie	Dr. M. Wehner Dr. A. Gillner	martin.wehner@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -202 Tel. -148
Implantate	Dipl.-Phys. L. Jauer Dr. W. Meiners	lucas.jauer@ilt.fraunhofer.de wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de	Tel. -360 Tel. -301

LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE

Fertigungsmesstechnik	Dr. V. Sturm Priv.-Doz. Dr. R. Noll	volker.sturm@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -154 Tel. -138
Materialanalytik	Dr. C. Fricke-Begemann Priv.-Doz. Dr. R. Noll	cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -196 Tel. -138
Recycling und Rohstoffe	Dipl.-Phys. P. Werheit Priv.-Doz. Dr. R. Noll	patrick.werheit@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -308 Tel. -138
Umwelt und Sicherheit	Dr. C. Fricke-Begemann Priv.-Doz. Dr. R. Noll	cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -196 Tel. -138
EUV-Technologie	Dr. K. Bergmann Priv.-Doz. Dr. R. Noll	klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -302 Tel. -138

INSTITUTSSTRUKTUR

INSTITUTSLEITUNG



Prof. Dr. Reinhart Poprawe
Institutsleiter



Prof. Dr. Peter Loosen
stellvertretender Institutsleiter



Dr. Vasvija Alagic-Keller MBA
kaufmännische Leitung

VERWALTUNG UND STABSSTELLEN



Dr. Vasvija Alagic-Keller MBA
Verwaltung und Infrastruktur



Dipl.-Phys. Axel Bauer
Marketing und Kommunikation



Dr. Alexander Drenker
Qualitätsmanagement



Dr. Bruno Weigl
IT-Management

KOMPETENZFELDER



Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Laser und Laseroptik



Dr. Arnold Gillner
Abtragen und Fügen



Dr. Konrad Wissenbach
Generative Verfahren
und funktionale Schichten



Priv.-Doz. Dr. Reinhard Noll
Messtechnik und EUV-Strahlquellen

KURATORIUM UND GREMIEN

Kuratorium

Das Kuratorium berät die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung und fördert die Verbindung zu den an Forschungsarbeiten des Instituts interessierten Kreisen.

Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

- Dr. R. Achatz, ThyssenKrupp Stahl AG
- Dr. Norbert Arndt, Rolls-Royce plc
- C. Baasel (Vorsitzender), Carl Baasel Lasertechnik GmbH
- Dr. Hans Eggers, Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF
- Dr. Thomas Fehn, Jenoptik AG
- Dr. Ulrich Hefter, Rofin-Sinar Laser GmbH
- Dr. Franz-Josef Kirschfink, Hamburg Aviation Luftfahrtcluster Metropolregion Hamburg e.V.
- Dipl.-Ing. Volker Krause, Laserline GmbH
- Prof. G. Marowsky, Laserlaboratorium Göttingen e.V.
- MinRat Dipl.-Phys. T. Monsau, Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen
- Manfred Nettekoven, Kanzler der RWTH Aachen
- Dr. Joseph Pankert, Philips Lighting B.V.
- Prof. R. Salathé, Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne
- Dr. Dieter Steegmüller, Daimler AG
- Dr. Ulrich Steegmüller, Osram Opto Semiconductors GmbH & Co. OHG
- Dr. Klaus Wallmeroth, TRUMPF Laser GmbH & Co. KG

Die 29. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 10. September 2014 im Fraunhofer ILT in Aachen statt.

Institutsleitungsausschuss ILA

Der Institutsleitungsausschuss ILA berät die Institutsleitung und wirkt bei der Entscheidungsfindung über die Grundzüge der Forschungs- und Geschäftspolitik des Instituts mit.

Mitglieder des ILA sind:

Dr. Vasvija Alagic MBA, Dipl.-Phys. A. Bauer, Dr. A. Gillner, Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Dr. I. Kelbassa, Prof. P. Loosen, Priv.-Doz. Dr. R. Noll, Dr. D. Petring, Prof. R. Poprawe, Prof. W. Schulz, B. Theisen, Dr. B. Weikl, Dr. K. Wissenbach.

Arbeitsschutzausschuss ASA

Der Arbeitsschutzausschuss ASA ist für die Lasersicherheit und alle anderen sicherheitstechnischen Fragen im Fraunhofer ILT zuständig. Mitglieder des Ausschusses sind: Dr. V. Alagic-Keller MBA, K. Bongard, M. Brankers, M.Sc. F. Eibl, R. Frömbgen, A. Hilgers, Dipl.-Ing. (FH) S. Jung, E. Neuroth, Prof. R. Poprawe, B. Theisen, F. Voigt, Dipl.-Ing. N. Wolf, Dr. R. Keul (Berufsgenossenschaftlicher Arbeitsmedizinischer Dienst BAD).

Wissenschaftlich-Technischer Rat WTR

Der Wissenschaftlich-Technische Rat WTR der Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt und berät die Organe der Gesellschaft in wissenschaftlich-technischen Fragen von grundsätzlicher Bedeutung. Ihm gehören die Mitglieder der Institutsleitungen und je Institut ein gewählter Vertreter der wissenschaftlich-technischen Mitarbeiter an.

Mitglieder im Wissenschaftlich-Technischen Rat sind:

Prof. R. Poprawe, Dipl.-Phys. Dipl.-Volksw. D. Esser, Dr. A. Olowinsky.

Betriebsrat

Am Fraunhofer ILT gibt es seit März 2003 einen von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gewählten Betriebsrat.

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

MITARBEITER

Mitarbeiter am Fraunhofer ILT 2014 **Anzahl**
 (Stand: 31.12.2014)

Stammpersonal	221
- Wissenschaftler und Ingenieure	152
- Mitarbeiter der technischen Infrastruktur	40
- Verwaltungsangestellte	29
Weitere Mitarbeiter	184
- wissenschaftliche Hilfskräfte	178
- externe Mitarbeiter	3
- Auszubildende	3
Mitarbeiter am Fraunhofer ILT, gesamt	405

- 15 Mitarbeiter haben ihre Promotion abgeschlossen.
- 77 Studenten haben ihre Diplom-, Master- oder Bachelorarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt.

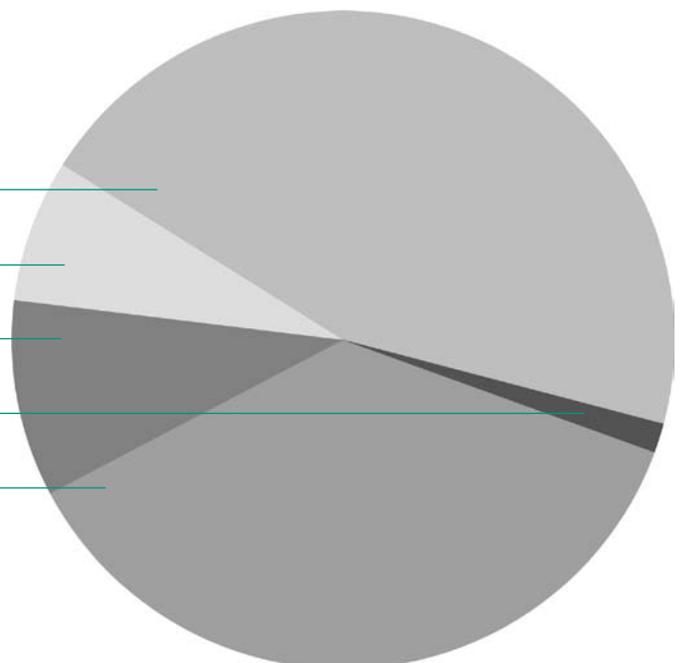
45 % wissenschaftliche Hilfskräfte

7 % Verwaltungsangestellte

10 % technische Infrastruktur

1 % Auszubildende / externe Mitarbeiter

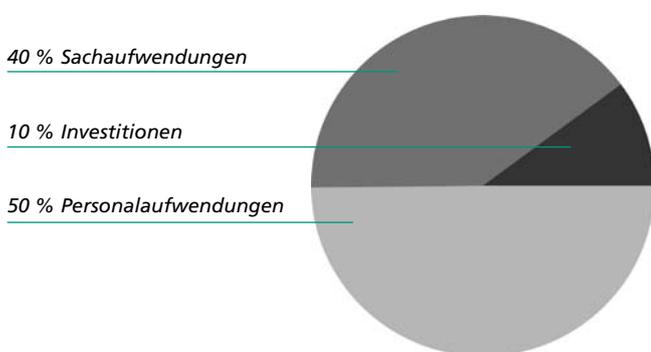
37 % Wissenschaftler und Ingenieure



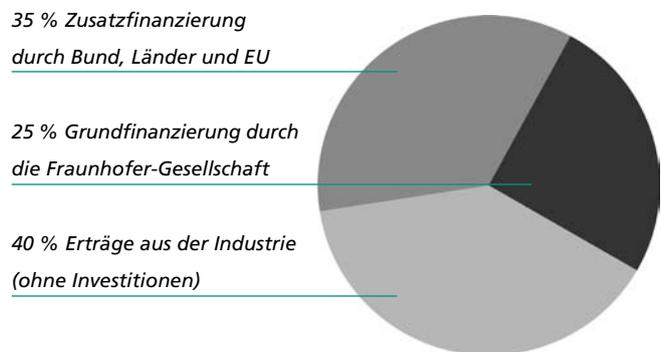
AUFWENDUNGEN UND ERTRÄGE

Aufwendungen 2014	Mio €
- Personalaufwendungen	16,7
- Sachaufwendungen	13,4
Aufwendungen Betriebshaushalt	31,1
Investitionen	3,4

Erträge 2014	Mio €
- Erträge aus der Industrie	12,2
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	11,0
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	7,9
Erträge Betriebshaushalt	31,1
Investitionserträge aus der Industrie	0,4
Fraunhofer Industrie ρ_{Ind}	40,6 %



(100 % Betriebshaushalt und Investitionen)

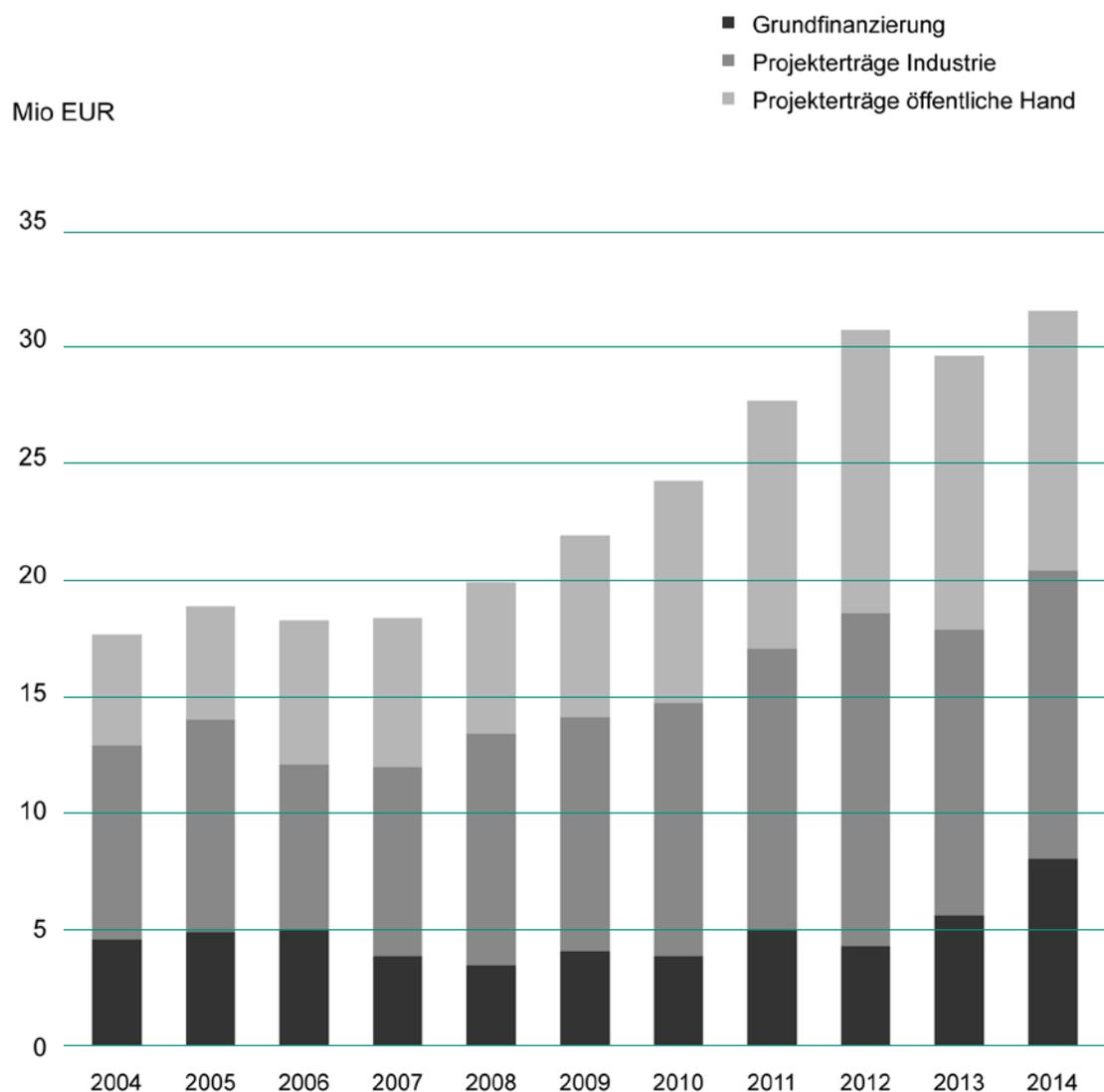


(100 % Betriebshaushalt)

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

BETRIEBSHAUSHALT

Die Graphik verdeutlicht die Entwicklung des Betriebsshaushalts in den letzten 10 Jahren.



KUNDENREFERENZENZEN



Stand Dezember 2014. Mit freundlicher Genehmigung der Kooperationspartner.
Die aufgelisteten Firmen sind ein repräsentativer Ausschnitt aus der umfangreichen Kundenliste des Fraunhofer ILT.

KOOPERATIONSFORMEN

LEISTUNGSSPEKTRUM

Das Leistungsspektrum des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT wird ständig den Erfordernissen der industriellen Praxis angepasst und reicht von der Lösung fertigungstechnischer Problemstellungen bis hin zur Durchführung von Testserien. Im Einzelnen umfasst das Angebot:

- Laserstrahlquellenentwicklung
- Komponenten und Systeme zur Strahlführung und -formung
- Packaging optischer Hochleistungskomponenten
- Modellierung und Simulation von optischen Komponenten sowie lasertechnischen Verfahren
- Verfahrensentwicklung für die Lasermaterialbearbeitung, die Lasermesstechnik, die Medizintechnik und die Biophotonik
- Prozessüberwachung und -regelung
- Muster- und Testserien
- Entwicklung, Aufbau und Test von Pilotanlagen
- Integration von Lasertechnik in bestehende Produktionsanlagen
- Entwicklung von Röntgen-, EUV- und Plasmasystemen

KOOPERATIONEN

Die Kooperation des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT mit FuE-Partnern kann verschiedene Formen annehmen:

- Durchführung von bilateralen, firmenspezifischen FuE-Projekten mit und ohne öffentliche Unterstützung (Werkvertrag)
- Beteiligung von Firmen an öffentlich geförderten Verbundprojekten (Mitfinanzierungsvertrag)
- Übernahme von Test-, Null- und Vorserienproduktion durch das Fraunhofer ILT zur Ermittlung der Verfahrenssicherheit und zur Minimierung des Anlauftrisikos (Werkvertrag)

- Firmen mit Gaststatus und eigenen Labors und Büros am Fraunhofer ILT (spezielle Kooperationsverträge)
- Firmen mit Niederlassungen im Campus der RWTH Aachen und Kooperation mit dem Fraunhofer ILT über den Cluster »Digital Photonic Production«

Durch Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und spezialisierten Unternehmen bietet das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT auch bei fachübergreifenden Aufgabenstellungen Problemlösungen aus einer Hand. Ein besonderer Vorteil ist in diesem Zusammenhang der direkte Zugriff auf die umfangreichen Ressourcen der Fraunhofer-Gesellschaft.

Während der Einführungsphase neuer Laserverfahren oder -produkte können Unternehmen Gaststatus am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik erwerben und Geräteausstattung, Infrastruktur und Know-how des Instituts nutzen sowie eigene Geräte installieren.

FRAUNHOFER ILT IM AUSLAND

Das Fraunhofer ILT pflegt seit seiner Gründung zahlreiche internationale Kooperationen. Ziel der Zusammenarbeit ist es, Trends und Entwicklungen rechtzeitig zu erkennen und weiteres Know-how zu erwerben. Dieses kommt den Auftraggebern des Fraunhofer ILT direkt zugute. Mit ausländischen Firmen und Niederlassungen deutscher Firmen im Ausland führt das Fraunhofer ILT sowohl bilaterale Projekte als auch internationale Verbundprojekte durch. Die Kontaktaufnahme kann auch mittelbar erfolgen über:

- Niederlassungen des Fraunhofer ILT im Ausland
- ausländische Kooperationspartner des Fraunhofer ILT
- Verbindungsbüros der Fraunhofer-Gesellschaft im Ausland



AUSSTATTUNG

Die Nettogrundfläche des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT beträgt 19.500 m².

Technische Infrastruktur

Zur technischen Infrastruktur des Instituts gehören eine mechanische und eine elektronische Werkstatt, ein Metallgraphielabor, ein Fotolabor, ein Labor für optische Messtechnik sowie eine Konstruktionsabteilung.

Wissenschaftliche Infrastruktur

Zur wissenschaftlichen Infrastruktur zählen u. a. eine mit internationaler Literatur bestückte Bibliothek, Literatur- und Patentdatenbanken sowie Programme zur Berechnung wissenschaftlicher Fragestellungen und Datenbanken zur Prozessdokumentation.

Geräteausstattung

Die Geräteausstattung des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT wird ständig auf dem Stand der Technik gehalten. Sie umfasst derzeit als wesentliche Komponenten:

- CO₂-Laser bis 12 kW
- Lampengepumpte Festkörperlaser bis 3 kW
- Scheibenlaser von 1 bis 10 kW
- Multimode-Faserlaser bis 4 kW
- Singlemode-Faserlaser bis 5 kW
- Diodenlaser von 1 bis 12 kW
- INNOSLAB-Laser mit Pulsdauern im Nano-, Pico- und Femtosekundenbereich
- Excimerlaser
- Ultrakurzpulslaser bis 1 kW

- Breitbandig abstimmbare Laser
- Selective Laser Melting (SLM)-Anlagen mit Laserleistungen bis zu 2 kW
- Fünfsichtige Portalanlagen
- Dreiachsige Bearbeitungsstationen
- Strahlführungssysteme
- Robotersysteme
- Sensoren zur Prozessüberwachung für die Lasermaterialbearbeitung
- Direct-writing- und Laser-PVD-Stationen
- Reinräume zur Montage von Dioden- und Festkörperlaser sowie Laseroptiken
- Reinräume zur Montage von Diodenlasern, diodengepumpten Festkörperlaser und Faserlasern
- Life Science Labor mit S1 Klassifizierung
- Geräte zur Verfahrens- und Prozessdiagnostik sowie zur Hochgeschwindigkeits-Prozessanalyse
- Laser-Spektroskopie-Systeme zur chemischen Analyse fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe
- Lasertriangulationssensoren zur Abstands- und Konturvermessung
- Laser-Koordinatenmessmaschine
- Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop
- Raster Elektronen Mikroskop
- Umfangreiches Equipment zur Strahldiagnose von Hochleistungslasern
- Shack Hartmann Sensor zur Charakterisierung von Laserstrahlen und Optiken
- Equipment zur Fertigung integrierter Faserlaser
- Messinterferometer und Autokollimator zur Analyse von Laseroptiken
- Messequipment zur Charakterisierung von Ultrakurzpulslasern: Autokorrelatoren, Multi GHz Oszilloskope und Spektralanalysatoren

FRAUNHOFER ILT IM AUSLAND

USA – CENTER FOR LASER APPLICATIONS CLA

Die Fraunhofer-Gesellschaft verfolgte in den USA bis Ende 2014 Aktivitäten rund um die Lasertechnik in zwei separaten Zentren: »Fraunhofer Center for Laser Technology CLT« und »Fraunhofer Center for Coatings and Laser Applications CCL-L (Laser Applications Division)«.

Aufgrund der Entwicklungen der letzten Jahre werden seit 01. Januar 2015 die Laseraktivitäten der zwei bisherigen US-Einrichtungen im neu gegründeten »Center for Laser Applications CLA« gebündelt. Somit repräsentiert das CLA mit Craig Bratt als Direktor nun sämtliche Fraunhofer-Aktivitäten im Bereich der Lasertechnik auf dem US-Markt. Laserstrahlführung und -formung, Anwendungen im Bereich Generative Verfahren sowie Mikro- und Makrolasermaterialbearbeitung gehören zu den Themenschwerpunkten des CLA.

Ansprechpartner

Craig Bratt (Direktor)
Telefon +1 734-738-0550
cbratt@fraunhofer.org
www.cla.fraunhofer.org

46025 Port Street
Plymouth, Michigan 48170-6080, USA





FRANKREICH – COOPÉRATION LASER FRANCO-ALLEMANDE CLFA

Kurzportrait

In der Coopération Laser Franco-Allemande (CLFA) in Paris kooperiert das Fraunhofer ILT seit 1997 erfolgreich mit führenden französischen Forschungseinrichtungen wie z. B. CEA, CNRS, DGA und MINES ParisTech. Die wichtigsten Kooperationspartner sind derzeit das Institut de Recherche Technologique (IRT) Jules Verne und die Universität Nantes, die Hochschule für Mechanik und Mikrotechnik (ENSMM) in Besançon sowie die Ingenieurhochschule ECAM in Rennes. Interdisziplinäre Expertenteams aus Deutschland und Frankreich arbeiten gemeinsam am Transfer lasergestützter Fertigungsverfahren in die europäische Industrie. Die CLFA ist Mitglied in der französischen Vereinigung von Laserherstellern und -anwendern, dem Club Laser et Procédés. In 2014 beteiligte sich die CLFA am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand der JEC Composites in Paris sowie an der nationalen Laserkonferenz JNPLI in Bordeaux.

Die Ziele der CLFA sind:

- Einbindung in wissenschaftliche und industrielle Entwicklungen in Frankreich
- Know-how-Zuwachs durch schnelleres Erkennen von Trends im Bereich der europäischen Laser- und Produktionstechnik
- Stärkung der Position im europäischen FuE-Markt
- Aufbau eines europäischen Kompetenzzentrums für Lasertechnik
- Steigerung der Mobilität und Qualifikation der Mitarbeiter

Die CLFA beteiligt sich aktiv an der Realisierung des europäischen Forschungsraums. Die Kooperation des Fraunhofer ILT mit den französischen Partnern ist ein Beitrag zum Ausbau der europaweiten Präsenz der Fraunhofer-Gesellschaft mit Vorteilen für beide Seiten.

Das Interesse der französischen Partner konzentriert sich auf die:

- Nutzung von Kompetenzen der Fraunhofer-Institute für französische Unternehmen
- Nutzung der Erfahrung des Fraunhofer ILT bei der Einführung neuer Technologien
- Verbindung zwischen Industrie und Hochschulen mit praxisnaher Ausbildung von Studenten

Dienstleistungen

Die CLFA bietet Dienstleistungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung an. Diese umfassen das gesamte Spektrum von anwendungsorientierter Grundlagenforschung und Ausbildung über Machbarkeitsstudien und Prozessentwicklung bis hin zur Vorserienentwicklung und Systemintegration. Hier haben vor allem auch kleine und mittelständische Unternehmen die Möglichkeit, die Vorteile der Lasertechnik in einer unabhängigen Einrichtung kennenzulernen und zu erproben.

Standort und Ausstattung

Seit Juli 2014 befindet sich die CLFA im Technocampus Composites des IRT Jules Verne in Nantes. Neben der am Fraunhofer ILT zur Verfügung stehenden Ausstattung verfügt die CLFA über eine eigene Infrastruktur am IRT Jules Verne mit Zugriff auf die Labore zur Materialanalyse des Instituts und der Universität Nantes. Kunden- und projektorientiert kann auch die Infrastruktur der französischen Partner genutzt werden.

Ansprechpartner

Dr. Wolfgang Knapp (Direktor)
Telefon +33 2 2844 3711
wolfgang.knapp@ilt.fraunhofer.de

CLFA c/o IRT Jules Verne
Chemin du Chaffault
44340 Bouguenais, Frankreich

FRAUNHOFER SYSTEMFORSCHUNG ELEKTROMOBILITÄT II

Kurzportrait

Seit Beginn des Jahres 2013 arbeiten 16 Fraunhofer-Institute in der »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität II – FSEM II« zu innovativen Forschungsthemen der Elektromobilität eng zusammen. Damit sollen die u. a. im Rahmen der »FSEM I« aufgebauten Kompetenzen und Netzwerke der Fraunhofer-Institute auf dem Gebiet der Elektromobilität weiter ausgebaut werden.

Mit der »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität II« baut die Fraunhofer-Gesellschaft ihre erfolgreichen Arbeiten auf dem Gebiet der Elektromobilität weiter aus. Dabei konzentrieren sich die beteiligten Institute nicht nur auf die Beiträge zur Lösung der wichtigsten technologischen Herausforderungen zur Elektromobilität sondern versuchen, durch direkte Einbeziehung von industriell relevanten Fragestellungen auch bei der Industrialisierung dieser Technologien mitzuwirken. Gerade der verstärkte Fokus auf die Produktion von Komponenten für Elektrofahrzeuge innerhalb des Projekts trägt dem Rechnung.

Ein Ziel liegt in der Entwicklung innovativer Technologien und Komponenten für Hybrid- und Elektrofahrzeuge. Diese sollen dann gemeinsam mit Forschungspartnern aus der Industrie in die Anwendung überführt werden. Gleichzeitig wird damit ein Beitrag zur Fortführung und weiteren inhaltlichen Ausgestaltung des Systemforschungsgedankens durch Kooperation der Fraunhofer-Institute untereinander geleistet.

Innovative Technologien

Die Komplexität der Fahrzeug- und Komponentenentwicklung wird durch die Aufteilung in drei Cluster abgebildet:

- Antriebsstrang / Fahrwerk
- Batterie / Range Extender
- Bauweisen / Infrastruktur

Hohe Energiedichte, niedrige Produktionskosten und große Eigensicherheit im Crashfall sind die zentralen Herausforderungen für Batteriesysteme in Hybrid- und Elektrofahrzeugen.

Die Entwicklung von Batteriesystemen und Gehäusetechnologien sowie die dazu notwendige Produktionstechnik sind daher essentiell für die sichere und kosteneffiziente Nutzung in elektromobilen Anwendungen.

Das Cluster »Batterie / Range Extender« fokussiert sich auf den Aufbau eines Batteriesystems sowie auf die Realisierung eines Range Extender-Moduls. Acht Fraunhofer-Institute arbeiten in diesem Rahmen an neun Teilprojekten. Im Vordergrund der Arbeiten zum Batteriesystem steht die Weiterentwicklung einzelner Komponenten und Fertigungstechniken in Richtung Leichtbau und Effizienz. Beispiele hierfür sind die Entwicklung eines leichten, aber dennoch crashsicheren Batteriegehäuses, die Kühlung der Batterie mittels PCM oder ein serienfähiges Kontaktierungsverfahren für Batteriepole mittels Laserstrahlschweißen.



Ein weiteres Modul bildet der »Li-Booster«, eine kompakte Hochleistungs-Batterie, die kurzzeitige hohe Leistungsbedarfe im Bordnetz sowohl beim Antrieb als auch bei der Rekuperation decken kann. Dies ermöglicht ein zweiteiliges Hybrid-Batteriesystem mit deutlich verbesserter Lebensdauer, welches aus je einem für den jeweiligen Einsatzzweck optimierten Leistungs- und Energiespeicherteil besteht.

Für die Komponente »Range Extender« werden verschiedene Lösungsansätze verfolgt. Ein kompaktes Brennstoffzellenmodul ergänzt das »Leichtbau-Energiepack« um ein auf den Einsatz im Elektrofahrzeug hin optimiertes System zur lokal emissionsfreien Energiewandlung. Ein weiteres Range Extender-Modul wird für den Einsatz in einem leichten Nutz- bzw. Kommunalfahrzeug hin entwickelt und optimiert. Dieses wird von einem emissionsarmen und zuverlässigen Verbrennungsmotor angetrieben, um sowohl elektrische Energie als auch die in diesem Einsatzfall notwendige hydraulische Energie bereitstellen zu können.

Gleichzeitig werden auch die Fertigungs- und Produktionstechnologien weiterentwickelt, um eine kostengünstige Herstellung zu ermöglichen.

Die Zusammenarbeit der verschiedenen Institute eröffnet gerade in dem innovativen Marktumfeld der Elektromobilität der Fraunhofer-Gesellschaft neue Kooperationsmodelle und vereinfacht für die mittelständisch geprägte Automobilzulieferindustrie in Deutschland den Zugang zu Forschungsleistungen aus dem Portfolio der beteiligten Institute.

An FSEM II beteiligte Institute

- Fraunhofer ICT, Pfinztal
- Fraunhofer IDMT, Ilmenau
- Fraunhofer IFAM, Bremen
- Fraunhofer IIS, Erlangen / Nürnberg
- Fraunhofer IISB, Erlangen
- Fraunhofer ILT, Aachen
- Fraunhofer IPA, Stuttgart
- Fraunhofer IPT, Aachen
- Fraunhofer ISE, Freiburg
- Fraunhofer ISIT, Itzehoe
- Fraunhofer IVI, Dresden
- Fraunhofer IWES, Kassel
- Fraunhofer IWM, Freiburg
- Fraunhofer IWU, Chemnitz
- Fraunhofer LBF, Darmstadt
- Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen

Ansprechpartner

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
Clustersprecher »Batterie / Range Extender«
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



1



2



3

FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

Kompetenz durch Vernetzung

Sechs Fraunhofer-Institute kooperieren im Verbund Light & Surfaces. Aufeinander abgestimmte Kompetenzen gewährleisten eine schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an die Erfordernisse in den verschiedensten Anwendungsfeldern zur Lösung aktueller und zukünftiger Herausforderungen, insbesondere in den Bereichen Energie, Umwelt, Produktion, Information und Sicherheit. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Marktes ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten zum Nutzen der Kunden.

Kernkompetenzen des Verbunds

- Beschichtung und Oberflächenfunktionalisierung
- Laserbasierte Fertigungsverfahren
- Laserentwicklung und Nichtlineare Optik
- Materialien der Optik und Photonik
- Mikromontage und Systemintegration
- Mikro- und Nanotechnologien
- Kohlenstofftechnologie
- Messverfahren und Charakterisierung
- Ultrapräzisionsbearbeitung
- Werkstofftechnologien
- Plasma- und Elektronenstrahlquellen

1 Fraunhofer IWS

2 Fraunhofer IOF

3 Fraunhofer FEP

4 Fraunhofer ILT

5 Fraunhofer IST

6 Fraunhofer IPM

Geschäftsfelder

- Abtragen und Trennen
- Bildgebung und Beleuchtung
- Fügen und Generieren
- Lichtquellen und Lasersysteme
- Lithographie
- Materialprüfung und Analytik
- Medizintechnik und Biophotonik
- Mikrosysteme und Sensoren
- Optische Systeme und Instrumentierung
- Werkzeuge und Formenbau

Kontakt

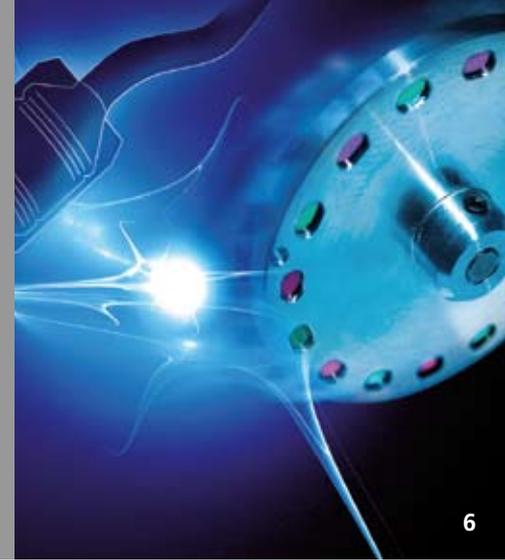
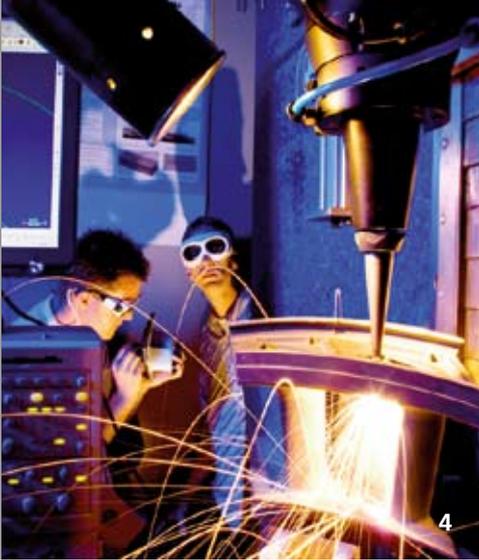
Prof. Dr. Andreas Tünnermann (Verbundvorsitzender)
Telefon +49 3641 807-201

Susan Oxfart (Verbundassistentin)
Telefon +49 3641 807-207
susan.oxfart@iof.fraunhofer.de

www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Das Fraunhofer IOF entwickelt zur Bewältigung drängender Zukunftsfragen in den Bereichen Energie und Umwelt, Information und Sicherheit sowie Gesundheit und Medizintechnik Lösungen mit Licht. Die Kompetenzen umfassen die gesamte Prozesskette vom Optik- und Mechanik-Design über die Entwicklung von Fertigungsprozessen für optische und mechanische Komponenten sowie Verfahren zur Systemintegration bis hin zur Fertigung von Prototypen. Schwerpunkte liegen auf den Gebieten multifunktionale optische Schichtsysteme, Mikro- und Nanooptik, Festkörperlichtquellen, optische Messsysteme und opto-mechanische Präzisionssysteme.
www.iof.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Die Kernkompetenzen des Fraunhofer FEP sind die Elektronenstrahltechnologie, die plasmaaktivierte Hochratebedampfung und die Hochrate-PECVD. Die Arbeitsgebiete umfassen die Vakuumbeschichtung sowie die Oberflächenbearbeitung und -behandlung mit Elektronen und Plasmen. Neben der Entwicklung von Schichtsystemen, Produkten und Technologien ist ein wichtiger Schwerpunkt die Aufskalierung der Technologien für die Beschichtung und Behandlung großer Flächen mit hoher Produktivität. www.fep.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Mit über 400 Patenten seit 1985 ist das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Unsere Technologiefelder umfassen Laser und Optik, Lasermesstechnik, Medizintechnik und Biophotonik sowie Lasermaterialbearbeitung. Hierzu zählen u. a. das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Lötten sowie die Oberflächenbearbeitung, die Mikrofertigung und das Rapid Manufacturing. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik. www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Das Fraunhofer IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtanwendung, Schichtcharakterisierung und Oberflächenanalyse. Wissenschaftler, Techniker und Ingenieure arbeiten daran, Oberflächen der verschiedensten Grundmaterialien neue oder verbesserte Funktionen zu verleihen, um auf diesem Wege innovative, marktgerechte Produkte zu schaffen. Das Institut ist in folgenden Geschäftsfeldern tätig: Maschinen- und Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt, Werkzeuge, Energie, Glas und Fassade, Optik, Information und Kommunikation, Mensch und Umwelt. www.ist.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Fraunhofer IPM entwickelt und realisiert optische Sensor- und Belichtungssysteme. Bei den vorwiegend laserbasierten Systemen sind Optik, Mechanik, Elektronik und Software ideal aufeinander abgestimmt. Die Lösungen sind besonders robust ausgelegt und jeweils individuell auf die Bedingungen am Einsatzort zugeschnitten. Auf dem Gebiet der Thermoelektrik verfügt das Institut über Know-how in Materialforschung, Simulation und Systemen. In der Dünnschichttechnik arbeitet Fraunhofer IPM an Materialien, Herstellungsprozessen und Systemen. www.ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS steht für Innovationen in den Geschäftsfeldern Fügen, Trennen sowie Oberflächentechnik und Beschichtung. Die Besonderheit des Fraunhofer IWS liegt in der Kombination eines umfangreichen werkstofftechnischen Know-hows mit weitreichenden Erfahrungen in der Entwicklung von Technologien und Systemtechnik. Zahlreiche Lösungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung und Schichttechnik finden jedes Jahr Eingang in die industrielle Fertigung. www.iws.fraunhofer.de

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT AUF EINEN BLICK

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und Forschungseinrichtungen. Knapp 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und

Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787 - 1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

Die Forschungsgebiete

Auf diese Gebiete konzentriert sich die Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft:

- Werkstofftechnik, Bauteilverhalten
- Produktionstechnik, Fertigungstechnologie
- Informations- und Kommunikationstechnik
- Mikroelektronik, Mikrosystemtechnik
- Sensorsysteme, Prüftechnik
- Verfahrenstechnik
- Energie- und Bautechnik, Umwelt- und Gesundheitsforschung
- Technisch-Ökonomische Studien, Informationsvermittlung

Die Zielgruppen

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist sowohl der Wirtschaft und dem einzelnen Unternehmen als auch der Gesellschaft verpflichtet. Zielgruppen und damit Nutznießer der Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft sind:

- Die Wirtschaft: Kleine, mittlere und große Unternehmen in der Industrie und im Dienstleistungssektor profitieren durch Auftragsforschung. Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt konkret umsetzbare, innovative Lösungen und trägt zur breiten Anwendung neuer Technologien bei. Für kleine und mittlere Unternehmen ohne eigene FuE-Abteilung ist die Fraunhofer-Gesellschaft wichtiger Lieferant für innovatives Know-how.
- Staat und Gesellschaft: Im Auftrag von Bund und Ländern werden strategische Forschungsprojekte durchgeführt. Sie dienen der Förderung von Spitzen- und Schlüsseltechnologien oder Innovationen auf Gebieten, die von besonderem öffentlichen Interesse sind, wie Umweltschutz, Energietechniken und Gesundheitsvorsorge. Im Rahmen der Europäischen Union beteiligt sich die Fraunhofer-Gesellschaft an den entsprechenden Technologieprogrammen.

Das Leistungsangebot

Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt Produkte und Verfahren bis zur Anwendungsreife. Dabei werden in direktem Kontakt mit dem Auftraggeber individuelle Lösungen erarbeitet. Je nach Bedarf arbeiten mehrere Fraunhofer-Institute zusammen, um auch komplexe Systemlösungen zu realisieren. Es werden folgende Leistungen angeboten:

- Optimierung und Entwicklung von Produkten bis hin zur Herstellung von Prototypen
- Optimierung und Entwicklung von Technologien und Produktionsverfahren

- Unterstützung bei der Einführung neuer Technologien durch:
 - Erprobung in Demonstrationszentren mit modernster Geräteausstattung
 - Schulung der beteiligten Mitarbeiter vor Ort
 - Serviceleistungen auch nach Einführung neuer Verfahren und Produkte
- Hilfe zur Einschätzung von Technologien durch:
 - Machbarkeitsstudien
 - Marktbeobachtungen
 - Trendanalysen
 - Ökobilanzen
 - Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- Ergänzende Dienstleistungen, z. B.:
 - Förderberatung, insbesondere für den Mittelstand
 - Prüfdienste und Erteilung von Prüfsiegeln

Die Standorte der Forschungseinrichtungen



LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN

GEMEINSAM ZUKUNFT GESTALTEN

Die RWTH Aachen bietet mit den Lehrstühlen für Lasertechnik LLT und für Technologie Optischer Systeme TOS sowie den Lehr- und Forschungsgebieten Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD, Experimentalphysik Nano-Optik und Metamaterialien sowie Experimentalphysik des Extrem-Ultraviolett EUV ein herausragendes Kompetenzcluster im Bereich der Optischen Technologien. Dies ermöglicht eine überkritische Bearbeitung grundlegender und anwendungsbezogener Forschungsthemen. Die enge Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT erlaubt nicht nur industrielle Auftragsforschung auf der Basis solider Grundlagenkenntnisse sondern führt vielmehr zu neuen Impulsen in der Weiterentwicklung von optischen Verfahren, Komponenten und Systemen. Unter einem Dach werden die Synergien von Infrastruktur und Know-how aktiv genutzt.

Dies kommt insbesondere dem wissenschaftlichen und technischen Nachwuchs zugute. Die Kenntniss der aktuellen industriellen und wissenschaftlichen Anforderungen in den Optischen Technologien fließt unmittelbar in die Gestaltung der Lehrinhalte ein. Darüber hinaus können Studenten und Promovierende über die Projektarbeit in den Lehrstühlen und im Fraunhofer ILT ihre theoretischen Kenntnisse in die Praxis umsetzen. Auch die universitäre Weiterbildung wird gemeinsam gestaltet. In einem interdisziplinären Zusammenspiel von Ärzten und Ingenieuren wird beispielsweise ein Seminar zur zahnmedizinischen Weiterbildung angeboten. Lehre, Forschung und Innovation - das sind die Bausteine, mit denen die fünf Lehrstühle und das Fraunhofer ILT Zukunft gestalten.

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT

Der Lehrstuhl für Lasertechnik ist seit 1985 an der RWTH Aachen in der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung in den Bereichen Ultrakurzpulsbearbeitung, 3D-Volumenstrukturierung, Bohren, generative Verfahren und integrative Produktion tätig.

Die Entwicklung von Fertigungsverfahren zur Bearbeitung von transparenten Dielektrika mittels Femtosekunden-Laserstrahlung für die Erzeugung von mikrooptischen und mikromechanischen Komponenten steht im Fokus der Aktivitäten in der Gruppe 3D-Volumenstrukturierung. Die Integration von optischen Technologien in die Fertigung sowie die Herstellung von optischen Systemen sind wesentlicher Bestandteil des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« innerhalb des Bereichs »Digital Photonic Production«. Mit Ultrakurzpuls-Laserstrahlung werden sowohl Grundlagenexperimente durchgeführt als auch praxisrelevante Nano- und Mikrobauteile durch Abtragen, Modifizieren oder Schmelzen bearbeitet. Beim Bohren werden Metalle sowie Mehrschichtsysteme aus zumeist Metallen und Keramiken mittels Einzelpuls-, Perkussions- und Wendelbohren sowie dem Trepanieren bearbeitet. Anwendungen finden sich beispielsweise bei Bohrungen in Turbinenschaufeln für die Luft- und Raumfahrt. Arbeitsthemen im Bereich generative Verfahren sind u. a. neue Werkstoffe, kleinere Strukturgrößen, größere Aufbauten, das Mikrobeschichten, die Prozesskontrolle und -regelung sowie die Neu- und Weiterentwicklung der eigenen Anlagen- und Systemtechnik.

Kontakt

Prof. Reinhart Poprawe (Leiter des Lehrstuhls)
Telefon +49 241 8906-109
reinhart.poprawe@ilt.rwth-aachen.de

Adj. Prof. (RMIT) Akad. Oberrat Dr. Ingomar Kelbassa (stellv.)
Telefon +49 241 8906-143
ingomar.kelbassa@ilt.rwth-aachen.de



Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS

Mit dem Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme trägt die RWTH Aachen seit 2004 der wachsenden Bedeutung hochentwickelter optischer Systeme in der Fertigung, den IT-Industrien und den Lebenswissenschaften Rechnung. Der Fokus der Forschung liegt in der Entwicklung und Integration optischer Komponenten und Systeme für Laserstrahlquellen und Laseranlagen.

Hochkorrigierte Fokussiersysteme für hohe Laserleistungen, Einrichtungen zur Strahlhomogenisierung oder innovative Systeme zur Strahlumformung spielen bei Laseranlagen in der Fertigungstechnik eine bedeutende Rolle. Die Leistungsfähigkeit von Faserlasern und diodengepumpten Festkörperlaser wird beispielsweise durch Koppeloptiken und Homogenisatoren für das Pumplicht bestimmt. Ein weiteres Forschungsthema sind Freiformoptiken für die innovative Strahformung. Im Bereich Hochleistungsdiodenlaser werden mikro- und makrooptische Komponenten entwickelt und zu Systemen kombiniert. Weiterhin werden Montagetechniken optimiert.

Kontakt

Prof. Peter Loosen (Leiter des Lehrstuhls)
Telefon +49 241 8906-162
peter.loosen@tos.rwth-aachen.de

Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD

Das 2005 gegründete Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD erforscht die Grundlagen der optischen Technologien mit Schwerpunkt auf Modellbildung und Simulation für die Anwendungsbereiche Makroschweißen und -schneiden, Präzisionsbearbeitung mit Ultrakurzpulslasern und PDT in der Zahnmedizin sowie Dermatologie.

Technische Systeme werden durch Anwendung und Erweiterung mathematisch-physikalischer und experimenteller Methoden untersucht. Mit der Analyse mathematischer Modelle werden ein besseres Verständnis dynamischer Zusammenhänge erreicht und neue Konzepte für die Verfahrensführung gewonnen. In Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT werden die Ergebnisse für Partner aus der Industrie umgesetzt.

Im Vordergrund der Ausbildungsziele steht die Vermittlung einer wissenschaftlichen Methodik zur Modellbildung anhand praxisnaher Beispiele. Die Modellbildung wird durch die experimentelle Diagnose der Laser-Fertigungsverfahren und die numerische Berechnung von ausgewählten Modellaufgaben geleitet. Mit den Hinweisen aus der Diagnose und der numerischen Berechnung wird eine mathematisch begründete Reduktion der Modellgleichungen durchgeführt. Die Lösungseigenschaften der reduzierten Gleichungen sind vollständig in den Lösungen der Ausgangsgleichungen enthalten und weisen keine unnötige Komplexität auf.

Kontakt

Prof. Wolfgang Schulz
(Leiter des Lehr- und Forschungsgebiets)
Telefon +49 241 8906-204
wolfgang.schulz@nld.rwth-aachen.de

LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN

Lehr- und Forschungsgebiet Experimentalphysik Nano-Optik und Metamaterialien

Im Rahmen der Exzellenzinitiative wurde an der RWTH Aachen im Jahr 2008 die Juniorprofessur Nano-Optik und Metamaterialien geschaffen. Mit diesem Themengebiet erweitert Prof. Thomas Taubner die Forschungsaktivitäten im Fachbereich Physik um neue abbildende Verfahren mit nanometrischer Ortsauflösung.

Basis hierfür ist die sogenannte »Feldverstärkung« an metallischen oder dielektrischen Nanostrukturen: lokal überhöhte elektrische (Licht-)Felder ermöglichen neuartige Sensoren zur Detektion von organischen Substanzen, aber auch neuartige Abbildungsmethoden wie z. B. die optische Nahfeldmikroskopie oder Superlinsen, welche die beugungsbegrenzte Auflösung von konventionellen Mikroskopen weit übertreffen.

Der Schwerpunkt der Aktivitäten liegt im Spektralbereich des mittleren Infrarot. Hier kann die Infrarotspektroskopie chemische Information über molekulare Verbindungen, Kristallstruktur von polaren Festkörpern und Eigenschaften von Ladungsträgern liefern.

Diese Grundlagenforschung an der RWTH ergänzt die ebenfalls von Prof. Taubner geleitete ATTRACT-Nachwuchsgruppe am Fraunhofer ILT, in der mögliche Anwendungen von neuen nano-optischen Konzepten in der Lasertechnik evaluiert werden.

Kontakt

Prof. Thomas Taubner
Nano-Optik und Metamaterialien
Telefon +49 241 80-20260
taubner@physik.rwth-aachen.de

Lehr- und Forschungsgebiet Experimentalphysik des Extrem-Ultraviolett EUV

Der Spektralbereich der extrem ultravioletten Strahlung (Extrem-Ultraviolett, EUV oder XUV, 1 - 50 nm) bietet die Vorteile kleiner Wellenlängen und starker Licht-Materie-Wechselwirkungen mit atomaren Resonanzen. Dies ermöglicht sowohl laterale als auch Tiefenaufösungen im Nanometerbereich mit elementspezifischen Kontrasten.

Am 2012 im Fachbereich Physik gegründeten Lehr- und Forschungsgebiet »Experimentalphysik des Extrem-Ultraviolett EUV« der RWTH Aachen werden verschiedene Aspekte der EUV-Strahlung untersucht. Das Spektrum reicht von der Strahlungserzeugung und Charakterisierung über Wellenausbreitung und Wechselwirkungen mit Materie bis hin zu konkreten Anwendungen und deren Methodenentwicklungen. Dabei stehen insbesondere zwei Bereiche im Vordergrund: hochbrillante Quellen und Interferenzlithographie.

Die Arbeiten erfolgen in Kooperation mit dem Peter Grünberg Institut PGI des Forschungszentrums Jülich, speziell dem PGI-9 Halbleiter-Nanoelektronik (Prof. Detlev Grützmacher), dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen und dem im Maschinenbau angesiedelten Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS der RWTH Aachen (Prof. Peter Loosen) und sind eingebettet in die Sektion JARA-FIT der Jülich-Aachen-Research Alliance.

Kontakt

Prof. Larissa Juschkina
Experimentalphysik des Extrem-Ultraviolett EUV
Telefon +49 241 8906-313
larissa.juschkina@rwth-aachen.de

EXZELLENZCLUSTER

Exzellenzcluster

»Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«

Im Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« entwickeln Aachener Produktions- und Materialwissenschaftler Konzepte und Technologien für eine nachhaltige wirtschaftliche Produktion.

Insgesamt sind 18 Lehrstühle bzw. Institute der RWTH Aachen sowie das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT an dem bis Ende 2017 angelegten Projekt beteiligt.

Der mit ca. 40 Mio € dotierte Exzellenzcluster ist somit die umfassendste Forschungsinitiative in Europa mit dem Ziel, die Produktion in Hochlohnländern zu halten.

Produktion in Hochlohnländern

Der Wettbewerb zwischen Produzenten in Hochlohn- und Niedriglohnländern spielt sich typischerweise in zwei Dimensionen ab: in der Produktionswirtschaftlichkeit und in der Planungswirtschaftlichkeit.

Produktionswirtschaftlich fokussieren Niedriglohnländer rein auf die Erschließung von Volumeneffekten in der Produktion (Economies of Scale); in Hochlohnländern erfolgt notwendigerweise eine Positionierung zwischen Scale und Scope, also der Befriedigung kundenspezifischer Produkthanforderungen bei gleichzeitiger Sicherung von Mindeststückzahlen in der Produktion.

In der zweiten Dimension, der Planungswirtschaftlichkeit, bemühen sich die Hersteller in Hochlohnländern um eine immer weitergehende Optimierung der Prozesse mit entsprechend anspruchsvollen, kapitalintensiven Planungsmethoden und -instrumenten sowie technologisch überlegenen Produktionssystemen, während in Niedriglohnländern einfache, robuste wertstromorientierte Prozessketten die Lösung sind.

Um einen nachhaltigen Wettbewerbsvorteil für Produktionsstandorte in Hochlohnländern zu erzielen, reicht eine bessere Positionierung innerhalb der beiden gegensätzlichen Alternativen Scale-Scope sowie planungsorientiert-wertorientiert nicht mehr aus. Die Forschungsfragen müssen vielmehr auf eine weitgehende Auflösung dieser Gegensätze abzielen. Es müssen Wege gefunden werden, gleichzeitig die Variabilität in den Produkten zu steigern und trotzdem zu Kosten einer Massenproduktion produzieren zu können. Dies erfordert produktgerechte, wertoptimierte Prozessketten, deren Wirtschaftlichkeit nicht durch überhöhte planerische Aufwände gefährdet wird.

Die Produktionstechnik von morgen benötigt daher ein grundlegend neues Verständnis dieser elementaren Zusammenhänge, die im Rahmen des Exzellenzclusters in den vier Forschungsfeldern Individualisierte Produktion, Virtuelle Produktion, Hybride Produktion und Selbstoptimierende Produktion erarbeitet werden.

Im Bereich der Produktionswirtschaftlichkeit wurde am Fraunhofer ILT z. B. die Prozesseffizienz des Selective Laser Melting (SLM) um den Faktor 10 gesteigert und damit ein wesentlicher Beitrag zur Aufhebung des Scale-Scope Dilemmas geleistet. Mit der Erforschung von Methoden zur Selbstoptimierung beim Laserstrahlschneiden und in der automatisierten Montage von Festkörperlasern liefert das Fraunhofer ILT wesentliche Beiträge zur Überwindung des Gegensatzes zwischen planungsorientierten und wertorientierten Konzepten.

Ansprechpartner

Fraunhofer ILT
Dipl.-Phys. Christian Hinke
Telefon +49 241 8906-352
christian.hinke@ilt.fraunhofer.de

RWTH AACHEN CAMPUS

RWTH Aachen Campus

Nach dem Vorbild der Stanford University und des Silicon Valleys wird die RWTH Aachen auf einem Gesamtareal von ca. 2,5 km² einen der größten technologieorientierten Campusbereiche Europas und damit eines der national und international bedeutendsten Wissens- und Forschungszentren schaffen. Standort werden das ehemalige Hochschulerweiterungsgelände in Aachen Melaten sowie ein Teilareal des Aachener Westbahnhofs sein. Damit werden die Kernbereiche der RWTH Aachen in der Innenstadt, auf der Hörn und in Melaten erstmals zu einem zusammenhängenden Campus verbunden.

Forschungskatalysator und Innovationsgenerator

Durch das in Deutschland einzigartige Angebot der »Immatrikulation« von Unternehmen bietet der RWTH Aachen Campus eine völlig neue Form des Austauschs zwischen Industrie und Hochschule. Sie ermöglicht den Unternehmen die aktive Beteiligung an Schwerpunktthemen der Kompetenz-Cluster sowie an Forschung, Entwicklung und Lehre – mit eigenen Fragestellungen und Ressourcen. Zugleich wird so der Zugang zu qualifiziertem Nachwuchs gesichert und schnelle praxisorientierte Promotionsverfahren werden ermöglicht.

Die Ansiedelung der interessierten Unternehmen auf dem RWTH Aachen Campus kann zur Miete oder mit einem eigenen Gebäude erfolgen. So wird eine einzigartige, intensive Form der Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Unternehmen entstehen.

Hinter allem steht das ganzheitliche Konzept: Forschen, Lernen, Entwickeln, Leben; denn der RWTH Aachen Campus schafft nicht nur die ideale Arbeitsumgebung für mehr als 10.000 Mitarbeiter mit Forschungseinrichtungen, Büros und Weiterbildungszentrum sondern wird zudem durch Hotel, Gastronomie, Wohnen, Einkaufsmöglichkeiten, Kinderbetreuung und vielfältige Service- und Transfereinrichtungen ein hohes Maß an Lebensqualität bieten.

Entwicklung und Zeitplan

Der RWTH Aachen Campus entsteht in drei Etappen. Die erste Etappe wurde 2010 mit der Erschließung und Bebauung von Campus Melaten mit 6 Clustern gestartet. In der zweiten Etappe findet die Erschließung und Bebauung von Campus Westbahnhof mit 4 Clustern statt. Die dritte Etappe konzentriert sich auf das Wachsen und Verdichten auf 19 Cluster in Melaten und Westbahnhof sowie die Erweiterung der Infrastruktur beispielsweise durch den Bau von Kongresshalle, Bibliothek und Hotels.



Cluster Photonik

In bis zu 19 Clustern werden die relevanten Zukunftsthemen der Industrie gemeinsam bearbeitet – in der Produktionstechnik, Energietechnik, Automobiltechnik, Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Werkstofftechnik.

Mehr als 100 Unternehmen, davon 18 internationale Key-Player, haben sich zusammen mit 30 Lehrstühlen der RWTH Aachen University zu einer langfristigen Kooperation auf dem RWTH Campus in Melaten verpflichtet. In der ersten Phase sollen acht bis zehn Gebäudekomplexe mit insgesamt 60.000 m² Bruttogrundfläche in den folgenden sechs Clustern entstehen:

- Cluster Integrative Produktionstechnik
- Cluster Logistik
- Cluster Schwerlastantriebstechnik
- Cluster Photonik
- Cluster Bio-Medizintechnik
- Cluster Nachhaltige, umweltfreundliche Energietechnik

Im Cluster Photonik werden Verfahren zur Erzeugung, Formung und Nutzung von Licht, insbesondere als Werkzeug für die industrielle Produktion, erforscht und entwickelt. Der erste Gebäudekomplex des Clusters Photonik umfasst 7000 Quadratmeter Büro- und Laborfläche. Er entsteht in unmittelbarer Nähe des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT am Campus-Boulevard.

Leiter des Clusters Photonik ist Prof. Reinhart Poprawe vom Fraunhofer ILT bzw. vom Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University.

Ansprechpartner

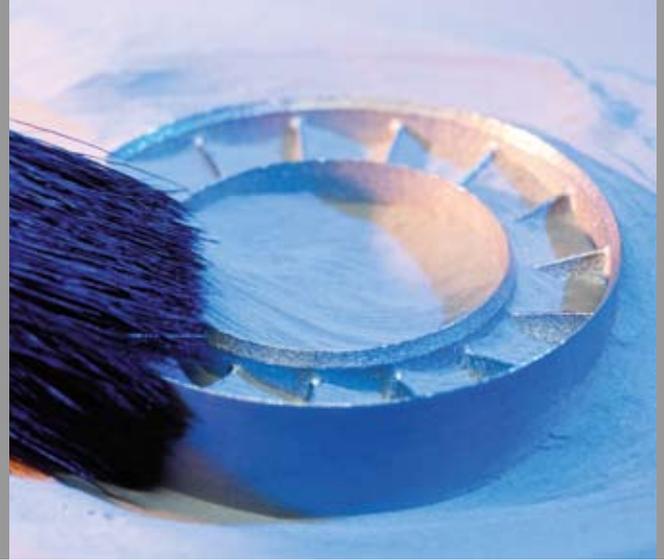
Cluster Photonik
 Dipl.-Phys. Christian Hinke
 Telefon +49 241 8906-352
 christian.hinke@ilt.fraunhofer.de



1 3D-Skizze des »Cluster Photonik«,
 Quelle: KPF, New York.

2 RWTH Aachen Campus II - Melaten,
 Skizze: rha reicher haase + assoziierte, Aachen.

DIGITAL PHOTONIC PRODUCTION



Digital Photonic Production – die Zukunft der Produktion

Mit dem Thema Digital Photonic Production hat sich das Fraunhofer ILT eine zentrale Fragestellung der Produktionstechnik von morgen auf die Fahne geschrieben. Digital Photonic Production erlaubt die direkte Herstellung von nahezu beliebigen Bauteilen oder Produkten aus digitalen Daten. Verfahren, die vor über zehn Jahren für das Rapid Prototyping erfunden wurden, entwickeln sich zu Rapid Manufacturing Verfahren zur direkten Produktion von Funktionsbauteilen. Rapid Manufacturing Verfahren werden bereits in einigen Anlagen wie z. B. im Automobilbau und in der Luftfahrtindustrie für die industrielle Fertigung eingesetzt. Das Werkzeug Laser nimmt dabei wegen seiner einzigartigen Eigenschaften eine zentrale Rolle ein. Kein anderes Werkzeug kann annähernd so präzise dosiert und gesteuert werden.

Mass-Customization

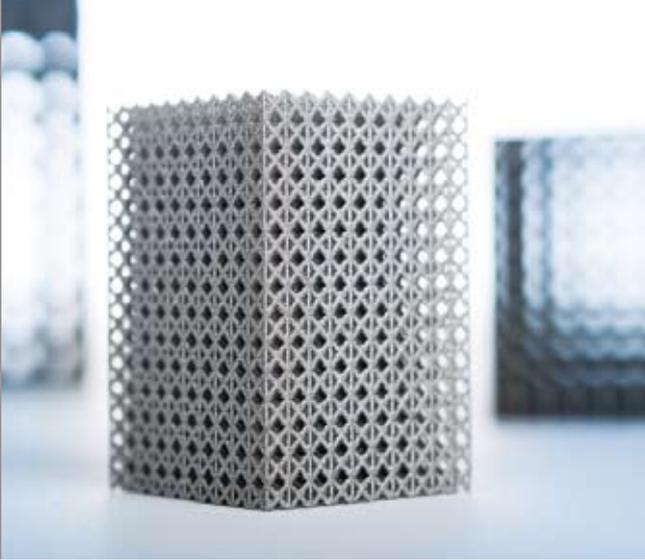
Digital Photonic Production geht dabei weit über laserbasierte generative Fertigungsverfahren hinaus. Neue Hochleistungs-Ultrakurzpuls-Laser ermöglichen zum Beispiel einen sehr schnellen und nahezu materialunabhängigen Abtrag. Bis hinein in den Nanometerbereich können so feinste funktionale 3D-Strukturen erzeugt werden. Im Zusammenhang mit diesen neuen Technologien wird teilweise von einer neuen industriellen Revolution gesprochen. Im Wesentlichen beruht dieses revolutionäre technologische Potenzial auf einer fundamentalen Änderung der Kostenfunktion für laserbasierte Fertigungsverfahren. Im Unterschied zu konventionellen

Verfahren können mit dem Werkzeug Laser sowohl kleine Stückzahlen als auch komplexe Produkte in kleinster Dimension, aus verschiedensten Materialien und mit kompliziertesten Geometrien kostengünstig gefertigt werden. Um dieses Potenzial von Digital Photonic Production vollständig zu nutzen, müssen Prozessketten ganzheitlich betrachtet werden. Die Neuauslegung von industriellen Prozessketten reicht dabei von vor- und nachgelagerten Fertigungsschritten über das Bauteildesign bis zu völlig neuen Geschäftsmodellen wie Mass-Customization oder Open-Innovation.

Forschungscampus »Digital Photonic Production«

Genau diese ganzheitliche Betrachtung ist im BMBF-Forschungscampus »Digital Photonic Production« in Aachen möglich. Im Rahmen der Förderinitiative »Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF wird der Aachener Campus über einen Zeitraum von 15 Jahren mit bis zu 2 Millionen Euro pro Jahr nachhaltig gefördert.

Der Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University ging als Koordinator eines Antragskonsortiums als einer von 9 Gewinnern aus dem nationalen Wettbewerb hervor. Mehr als 30 Unternehmen und wissenschaftliche Institute arbeiten im Rahmen dieser neuen Initiative gemeinsam unter kontinuierlicher Einbindung neuer Partner unter einem Dach an grundlegenden Forschungsfragen. Mit dem Forschungscampus »Digital Photonic Production« steht der Industrie und Wissenschaft in Aachen ein schlagfertiges Instrument zur Gestaltung der Zukunft der Produktionstechnik zur Verfügung.



Maßgeschneiderte Produkte in Serie

Die Produktionsbedingungen für Wirtschaftsunternehmen unterliegen wie die Produkte selbst einem ständigen Wandel. Kunden fordern immer komplexere und oft sogar maßgeschneiderte Produkte. Die bestellten Stückzahlen schwanken in einigen Branchen zwischen mehreren Tausend und der Losgröße Eins. Unter dem Druck wirtschaftlicher Optimierung von Geschäftsprozessen sind Konstrukteure und Produktionsverantwortliche heute angehalten, Bauteile so individuell und gleichzeitig so kostengünstig wie möglich auszulegen und zu fertigen. Dies gilt etwa in der Luftfahrt- oder dem Werkzeugbau, wo Gewichtersparnisse zur Reduzierung des Treibstoffverbrauchs sowie die Variantenvielfalt zur Erfüllung der Kundenwünsche immer wichtiger werden. Um Skaleneffekte zu realisieren, werden heute viele Bauteile überdimensioniert. Die Herausforderung besteht in der Auslegung dieser Bauteile auf die tatsächlichen Beanspruchungen, was klassischerweise meist mit einer Erhöhung der Komplexität einhergeht. Digital Photonic Production bietet die Möglichkeit, Bauteile funktionsgerecht zu gestalten, ohne dabei die Produktionskosten zu erhöhen.

So werden beispielsweise in der Medizintechnik auf den jeweiligen Patienten angepasste Implantate benötigt. Dies erfordert komplexere Teile, die darüber hinaus zu vertretbaren Kosten individuell gefertigt werden müssen. Neue Materialien, wie im Körper resorbierbare Werkstoffe, erfordern darüber hinaus eine erhöhte Flexibilität in den Fertigungsverfahren. Ob in der Medizintechnik oder im Flugzeugbau: Teure Bauteile werden überwiegend noch durch konventionelle Verfahren hergestellt. Teilweise erzeugt dies bis zu 90 Prozent Abfall. Neben den vermeidbaren Kosten führt auch der Ruf nach einem nachhaltigen Umgang mit den verfügbaren Ressourcen zu einem Umdenken in der produzierenden Industrie.

Individualität und Co-Creation

Auch der Endkunde ist heute anspruchsvoller und fordert individuelle Produkte, mit denen er sich von der breiten Masse abhebt. Im Idealfall würde er gerne vor der Bestellung sein Bauteil selbst entwerfen. Auf Herstellerseite führt dies zwangsläufig zu einer Steigerung der Komplexität der Produkte und zu einer höheren Flexibilität in der Fertigung. Die herkömmlichen, meist mechanischen Bearbeitungsverfahren und die standardisierten Produktionsabläufe stoßen hier an ihre Grenzen – sowohl technologisch als auch wirtschaftlich. Auf dem Weg zur vierten industriellen Revolution wachsen Individualisierung und Serienproduktion sowie die gestaltungsoffene virtuelle und die produzierende reale Welt zunehmend zusammen. Das Werkzeug Licht stellt dabei das Bindeglied zwischen diesen beiden Welten dar. Digital Photonic Production bietet dem Kunden die Möglichkeit, aktiv am Gestaltungs- und Produktionsprozess teilzunehmen. Mit Hilfe des Lasers werden am Computer entworfene und optimierte Produkte zu vertretbaren Kosten in Serie produziert.

From Bits to Photons to Atoms

In der industriellen Praxis steigen die Produktionskosten eines Werkstücks mit seiner Komplexität und seiner Einzigartigkeit. Dieser Scale-Scope-Problematik begegnen die verschiedenen Prozesse der Digital Photonic Production, indem sie zu konstanten Kosten jedes Bauteil als Unikat erstellen – unabhängig von Komplexität und Losgröße. Nur noch das Gewicht des Bauteils und damit der Materialverbrauch bestimmen die Kosten. So werden bei den generativen lasergestützten Fertigungsverfahren Werkstücke unmittelbar aus den vorhandenen CAD-Daten produziert. Das Werkzeug Licht wird flexibel, berührungslos und bauteilspezifisch durch den Computer gesteuert. Die CAD-Information wird mittels Licht auf die Materie übertragen: From bits to photons to atoms.

FORSCHUNGSERGEBNISSE 2014

Ausgewählte Forschungsergebnisse aus den Technologiefeldern des Fraunhofer ILT

- Laser und Optik 39 - 56
- Lasermaterialbearbeitung 57 - 120
- Lasermesstechnik und EUV-Technologie 121 - 130
- Medizintechnik und Biophotonik 131 - 143

Anmerkung der Institutsleitung

Wir weisen explizit darauf hin, dass die Offenlegung der nachfolgenden Industrieprojekte mit unseren Auftraggebern abgestimmt ist. Grundsätzlich unterliegen unsere Industrieprojekte der strengsten Geheimhaltungspflicht. Für die Bereitschaft unserer Industriepartner, die aufgeführten Berichte zu veröffentlichen, möchten wir an dieser Stelle herzlich danken.

TECHNOLOGIEFELD LASER UND OPTIK

Das Technologiefeld Laser und Optik steht für innovative Laserstrahlquellen und hochwertige optische Komponenten und Systeme. Das Team der erfahrenen Laserexperten entwickelt Strahlquellen mit maßgeschneiderten räumlichen, zeitlichen und spektralen Eigenschaften und Ausgangsleistungen im Bereich μW bis GW . Das Spektrum der Laserstrahlquellen reicht von Diodenlasern bis zu Festkörperlasern, von Hochleistungs-cw-Lasern bis zu UltrakurzpulsLasern und von single-frequency Systemen bis hin zu breitbandig abstimmbaren Lasern.

Bei den Festkörperlasern stehen sowohl Oszillatoren als auch Verstärkersysteme mit herausragenden Leistungsdaten im Zentrum des Interesses. Ob Laserhersteller oder Anwender, die Kunden erhalten nicht nur maßgeschneiderte Prototypen für ihren individuellen Bedarf sondern auch Beratung zur Optimierung bestehender Systeme. Insbesondere im Bereich der KurzpulsLaser und der Breitbandverstärker können zahlreiche Patente und Rekordwerte als Referenz vorgewiesen werden.

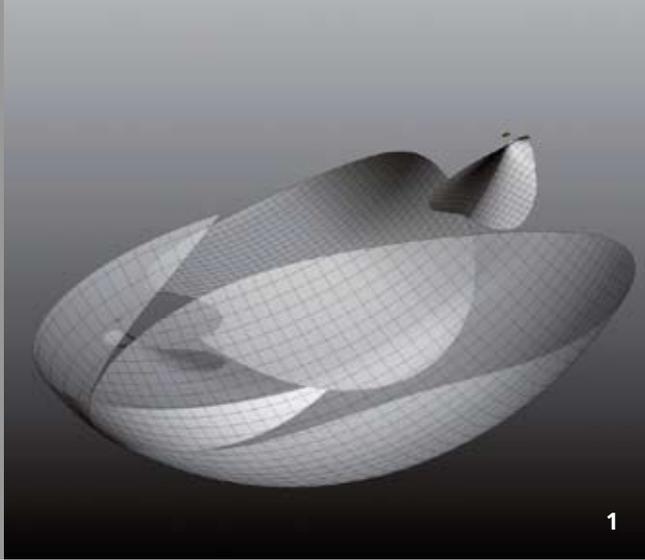
Darüber hinaus bietet das Technologiefeld hohe Kompetenz bei Strahlformung und Strahlführung, dem Packaging optischer Hochleistungskomponenten und dem Design optischer Komponenten. Auch die Auslegung hocheffizienter Freiformoptiken zählt zu den Spezialitäten der Experten. Die Anwendungsgebiete der entwickelten Laser und Optiken reichen von der Lasermaterialbearbeitung und der Messtechnik über Beleuchtungsapplikationen und Medizintechnik bis hin zum Einsatz in der Grundlagenforschung.

LASER UND OPTIK



INHALT

Auslegung von multifunktionalen Freiformoptiken aus Kunststoff für die automobiler Beleuchtung	42
Gepulstes Diodenlasermodul mit linienförmiger Intensitätsverteilung	43
Angepasstes Cavity-Control-Verfahren für einen Single-Frequency-Oszillator	44
Resonant diodengepumpter Er:YLuAG-Laser	45
Strahlungstests an Er ³⁺ -dotierten Granaten	46
Gepulster Ho:YLF-Laser	47
Hochstabiler Faserverstärker für schmalbandige Signale	48
Thermomechanisch robuster OPO-Demonstrator für die Klimamission MERLIN	49
Luft- und Raumfahrt geeignete Lötkonzepte für nichtlineare optische Kristalle	50
Montageverfahren für die Freistrahloptik eines Frequenzkamms	51
Präzisionsmontageanlage für Laserkomponenten	52
Aufbautechnologie für laseroptische Komponenten	53
Funktionsorientierte Montage von optischen Systemen	54
Modellierung und Simulation wasserstrahlgeführter Laserstrahlung	55
Rekonstruktion der Phasenverteilung anhand von Messungen des Intensitätsprofils	56



1



2

AUSLEGUNG VON MULTI-FUNKTIONALEN FREIFORM-OPTIKEN AUS KUNSTSTOFF FÜR DIE AUTOMOBILE BELEUCHTUNG

Aufgabenstellung

Eine kosteneffiziente Massenfertigung von Kunststoffoptiken mittels Spritzguss sowie die deutlich größere Freiheit der Formgebung im Vergleich zu Glas machen Kunststoffoptiken zu einer attraktiven Plattform für die Entwicklung und Umsetzung neuer Beleuchtungskonzepte. Diese Freiheit der Formgebung wird in der Auslegung einer Freiform-Linse für die automobilen Beleuchtung genutzt, die über eine einzelne Ausgangsfläche verfügt und mittels mehrerer LED-Lichtquellen und Freiform-Eingangsf lächen zwei unabhängig schaltbare Beleuchtungsfunktionen erfüllt: die einer Nebelleuchte und die einer Tagfahrleuchte.

Vorgehensweise

Die angestrebten Lichtstärkeverteilungen für Nebel- und Tagfahrleuchtenfunktion zeichnen sich durch unterschiedlich hohe Anforderungen an die auszulegenden optischen Freiformflächen aus. Zur Umsetzung der breiten, glatten Lichtstärkeverteilung der Tagfahrleuchte reichen in Relation zur LED kleine optische Freiformflächen aus. Für eine Erzeugung der Lichtstärkeverteilung der Nebelleuchte, die sich durch eine scharf definierte Schattenkante auszeichnet, ist eine größere

optische Freiformfläche notwendig, da kleine optische Flächen keine ausreichend steile Hell-Dunkel-Grenze aufgrund der Ausdehnung der LED-Lichtquelle ermöglichen.

Unter Einsatz von Algorithmen zur Auslegung mehrerer optischer Freiformflächen, die am Fraunhofer ILT entwickelt wurden, wird daher die gemeinsame Austrittsfläche der Optik auf eine optimale Erzeugung der Lichtstärkeverteilung der Nebelleuchte ausgelegt. Die so erhaltene Austrittsfläche wird zur Optimierung zweier Eintrittsflächen für die Tagfahrleuchtenfunktion genutzt.

Ergebnis

Ergebnis der Auslegung ist eine effiziente Optik mit drei Eingangsf lächen, mittels derer zwei separat schaltbare Beleuchtungsfunktionen ohne die Verwendung von effizienzsenkenden Elementen wie Blenden ermöglicht werden.

Anwendungsfelder

Die entwickelten Algorithmen eignen sich zur Anwendung in allen Bereichen der Beleuchtungstechnik, insbesondere wenn eine Vorgabe der Ausgangsflächengeometrie erfolgen soll.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 13N10832 durchgeführt.

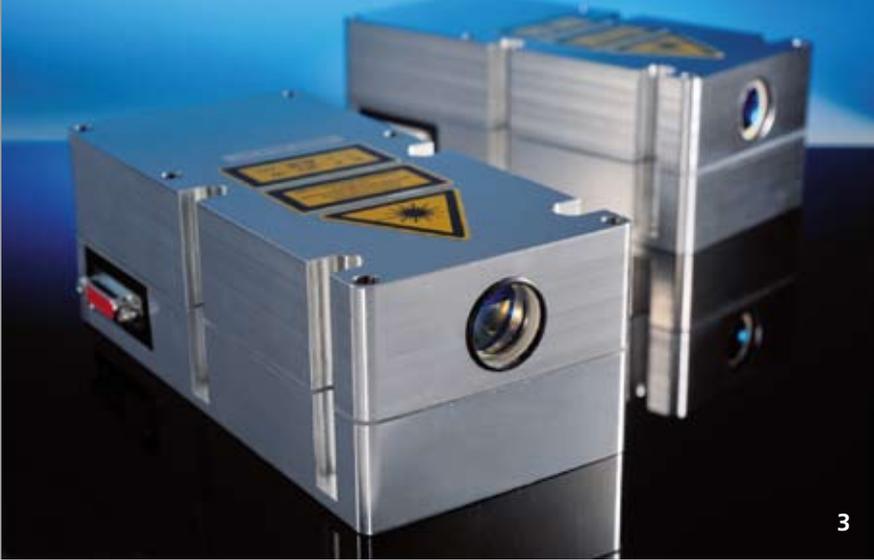
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Martin Traub
Telefon +49 241 8906-342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de

Dr. Rolf Wester
Telefon +49 241 8906-401
rolf.wester@ilt.fraunhofer.de

1 *Optikdesign.*

2 *Gefertigter Prototyp.*



GEPULSTES DIODENLASER-MODUL MIT LINIENFÖRMIGER INTENSITÄTSVERTEILUNG

Aufgabenstellung

Anspruchsvolle Anwendungen der Mess- und Belichtungstechnik erfordern linienförmige Intensitätsverteilungen im Bereich von 1 kW/cm^2 und eine Homogenität von > 90 Prozent in Kombination mit einstellbaren Pulsdauern im Bereich einiger Mikrosekunden.

Vorgehensweise

Wegen der grundmodigen Emission in vertikaler Richtung und der mehrmodigen Emission in lateraler Richtung sind Diodenlaser-Kantenemitter zur Erzeugung von linienförmigen Intensitätsprofilen sehr gut geeignet. Zur einfachen Integration in Anlagen ist die entwickelte Strahlquelle hermetisch abgedichtet und mit einer integrierten Treiberelektronik, Triggereingängen, Interlockschnittstelle und Monitorausgängen ausgestattet. Die Wärme wird passiv per Wärmeleitung abgeführt, so dass die Kosten eines Wasserkühlers entfallen. Bei Bedarf kann eine aktive Kühlung integriert werden.

Ergebnis

Die Pulsdauer des realisierten Diodenlasermoduls kann im Bereich zwischen $1 \mu\text{s}$ und 1 ms frei eingestellt werden. Der Demonstrator wird mit einer Repetitionsrate von 500 Hz und einer Pulsdauer von $5 \mu\text{s}$ betrieben. Die gemessene Anstiegszeit bis zum Erreichen der Maximalintensität beträgt 300 ns . Die Pulsspitzenleistung kann bei Bedarf von derzeit 10 W auf ca. 50 W vergrößert werden. Neben der Wellenlänge von 808 nm kann auch die Dimension der Linie an die Anwendung

angepasst werden. Bei einem Arbeitsabstand von 45 mm beträgt die demonstrierte Halbwertsbreite der Intensitätsverteilung $65 \mu\text{m}$ (FWHM) in vertikaler Richtung und 9 mm in lateraler Richtung. Die Standardabweichung der homogenen Intensitätsverteilung in lateraler Richtung beträgt trotz eines kostengünstigen Optikdesigns lediglich 4 Prozent.

Anwendungsfelder

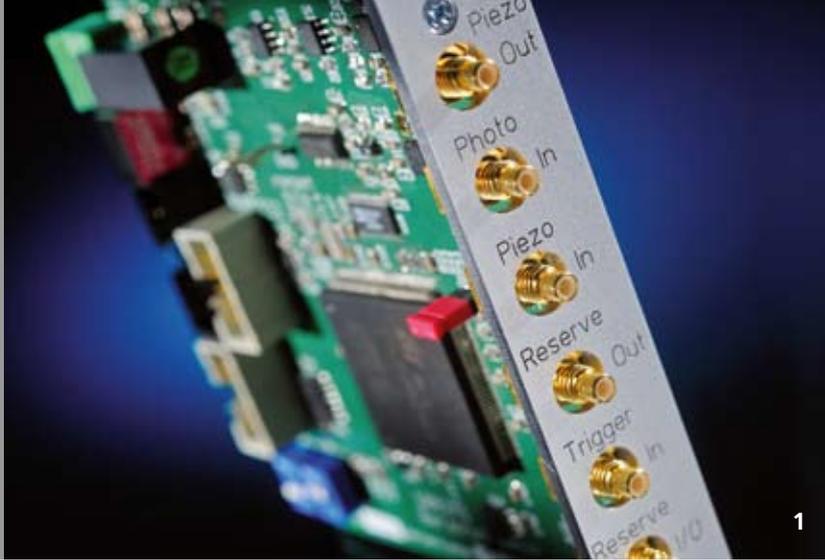
In der Mess- und der Belichtungstechnik werden linienförmige Intensitätsprofile mit definierter Geometrie zur Erfassung von Form und Lage im Bereich einiger Mikrometer bis in den Millimeterbereich verwendet. Strahlung mit Leistungsdichten bis 2 kW/cm^2 ermöglicht Messungen innerhalb weniger Mikrosekunden. Darüber hinaus wird durch die kurze Beleuchtungsdauer und die spektral schmalbandige Emission ein hohes Signal-Rauschverhältnis erreicht. Bei Anpassung der Pulsparameter sind die kostengünstigen Module auch zur präzisen Einbringung von Prozesswärme geeignet.

Ansprechpartner

Dr. Stefan Hengesbach
Telefon +49 241 8906-565
stefan.hengesbach@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Martin Traub
Telefon +49 241 8906-342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de

*3 Kompaktes, hermetisch
dichtes Diodenlasermodul.*



ANGEPASSTES CAVITY-CONTROL-VERFAHREN FÜR EINEN SINGLE-FREQUENCY-OSZILLATOR

Aufgabenstellung

Für den Lasertransmitter des satellitenbasierten CH₄-IPDA-Systems MERLIN werden Laserpulspaare im longitudinalen Einmodenbetrieb (single frequency) um 1645 nm benötigt. Single-Frequency-Pulse für derartige Anwendungen werden üblicherweise in gütegeschalteten und injection-geseedeten Oszillatoren erzeugt. Hierbei ist die optische Länge des Resonators resonant auf ein Vielfaches der eingestrahlenen halben Laserwellenlänge mit einer Genauigkeit von einem Bruchteil der Wellenlängen aktiv einzustellen. Als Aktor wird hierbei meist ein Piezo verwendet. Das bislang im Fraunhofer ILT vielfach erprobte Ramp&Fire-Verfahren soll insbesondere aufgrund der hohen mechanischen Belastungen und der verfahrenstypischen Synchronisierungsproblematik bei den hier geringen erwarteten Vibrationslasten durch ein Cavity-Dither-Verfahren ersetzt werden.

Vorgehensweise

Es wurde in Zusammenarbeit mit der Beratron GmbH eine entsprechende Elektronik entwickelt, um diese Regelaufgabe umzusetzen. Zur Bewertung der Resonanzgüte wird das durch den Oszillator transmittierte Licht der Seed-Quelle mit einer Photodiode detektiert. Während der Dither-Phase wird der Piezo von der Elektronik derart angesteuert, dass er die Länge des Resonators mit 1 kHz moduliert. Der Regler stellt nun die mittlere Position des Piezos so ein, dass ein symmetrisches

Photodiodensignal detektiert wird. Für die Phase der Pulserzeugung wird der Piezo statisch in die optimale Position gefahren.

Ergebnis

Mit dem Oszillator des MERLIN-Labordemonstrators konnten zuverlässig unter Verwendung dieses Verfahrens Single-Frequency-Laserpulse erzeugt werden. Der mechanische Hub des Piezos und damit die mechanische Belastung konnte deutlich im Vergleich zum Ramp&Fire-Verfahren reduziert werden. Ein finaler Test unter realistischen Vibrationslasten steht noch aus.

Anwendungsfelder

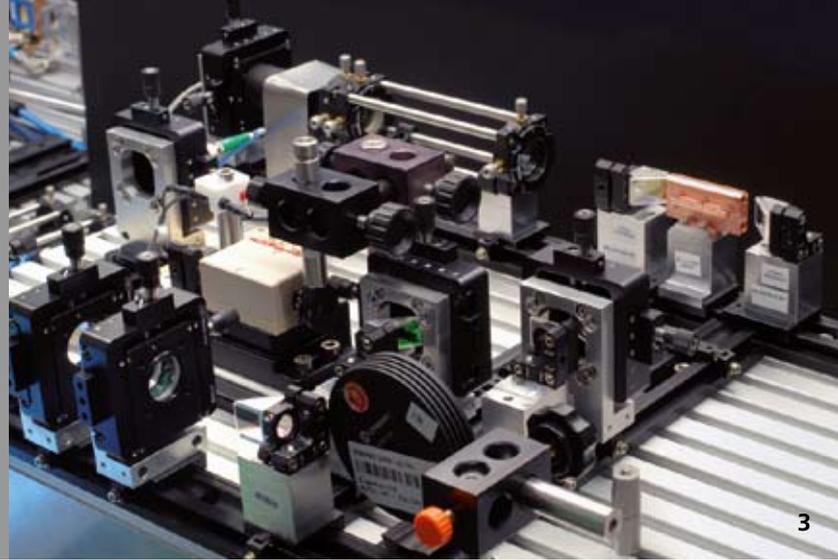
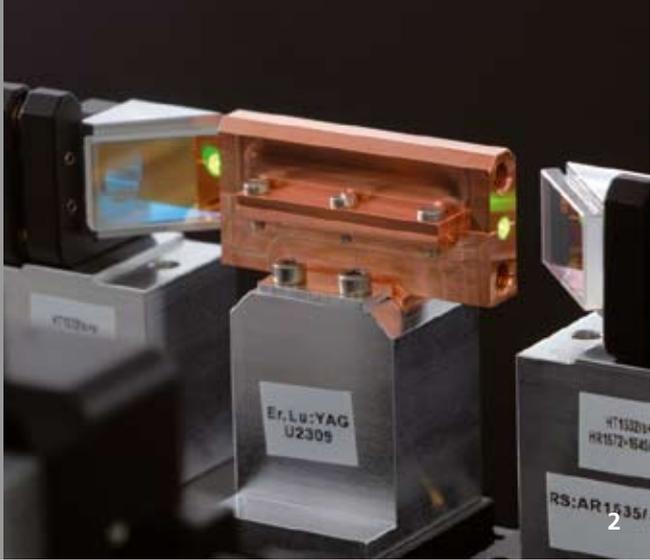
Die Regelelektronik steht nun als Hardwarelösung neben dem Ramp&Fire-Verfahren zur Verfügung und kann je nach Bedarf für die Entwicklung von Laserstrahlquellen eingesetzt werden. Beide Regelelektroniken sind elektrisch und optisch kompatibel und können über ein Controllersystem angesteuert werden, das bereits in mehreren Lasern zum Einsatz gekommen ist. Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 50EP1301 durchgeführt. Die Arbeiten sind Teil einer Kooperation zwischen DLR RfM und CNES im Rahmen des deutsch-französischen MERLIN-Satellitenprojekts. Das Fraunhofer ILT führt die Arbeiten im Unterauftrag der Firma Airbus DS GmbH durch.

Ansprechpartner

Dr. Jens Löhring
Telefon +49 241 8906-673
jens.loehring@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Marco Höfer
Telefon +49 241 8906-128
marco.hoefler@ilt.fraunhofer.de

1 Cavity-Control-Elektronik.



RESONANT DIODEN- GEPUMPTER ER:YLUAG-LASER

Aufgabenstellung

Für die globale und dauerhafte Vermessung von Methankonzentrationen in der Atmosphäre sind satellitenbasierte Lidarsysteme geeignet, wie sie beispielsweise für die deutsch-französische Kooperationsmission »MERLIN« entwickelt werden. Ein mögliches Konzept für die Laserstrahlquelle eines solchen Systems ist ein Festkörperlaser basierend auf einem Erbium-dotierten Granatkristall. Schmalbandige, gütegeschaltete Laserpulse bei einer Repetitionsrate von 100 Hz mit < 100 ns Pulsdauer, 1645 nm Wellenlänge und beugungsbegrenztem Strahlprofil sind für diese Anwendung gefordert.

Vorgehensweise

Ein stäbchenförmiger Laserkristall aus Er:YLuAG wird beidseitig mit spektral stabilisierten, fasergekoppelten Diodenlasermodulen kontinuierlich bei 1532 nm resonant gepumpt, d. h. Pumplichtabsorption findet zwischen denselben elektronischen Multipletts statt wie die Laserlichtemission. Mit einer Pockelszelle und einem Dünnschichtpolarisator werden Laserpulse erzeugt.

Ergebnis

Es werden Laserpulse mit Pulsenergien von 5,1 mJ und Pulsdauern von 80 ns bei einer Wellenlänge von 1645 nm und einer Repetitionsrate von 100 Hz gemessen. Die Steigungseffizienz bezogen auf die eingestrahlte Pumpleistung beträgt 15 Prozent und liegt damit im gleichen Bereich wie ein zuvor aufgebautes System mit hochbrillanten Faserlasern als Pumpquelle. Derzeit wird ein INNOSLAB-Verstärker für die Skalierung der Pulsenergie aufgebaut.

Anwendungsfelder

Neben der Messtechnik findet Laserstrahlung mit Wellenlängen um $1,6 \mu\text{m}$ auch in der Medizintechnik Anwendung. Zusätzlich kommt eine Nutzung zur Bearbeitung von im sichtbaren Wellenlängenbereich transparenten Materialien infrage. Der aufgebaute Laser kann kontinuierlich oder mit größeren Repetitionsraten im kHz-Bereich betrieben werden, wodurch auch die optische Effizienz deutlich größer wird.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 50EE1222 durchgeführt.

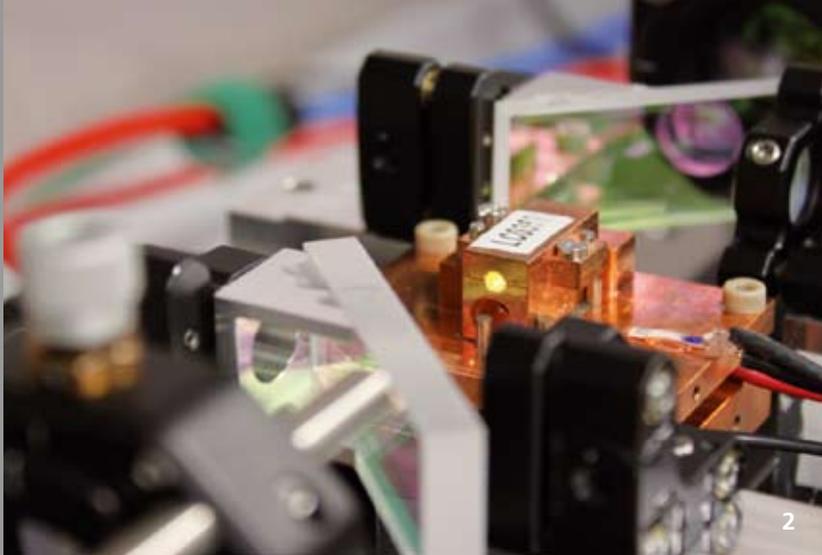
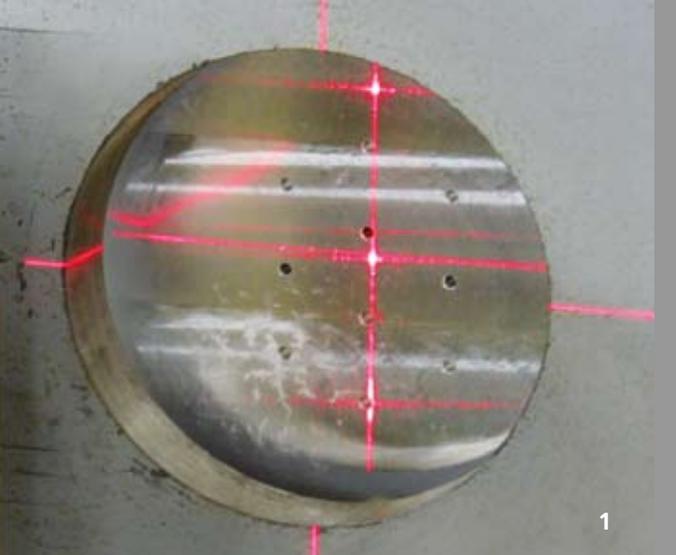
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Ansgar Meissner
 Telefon +49 241 8906-8232
 ansgar.meissner@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Marco Höfer
 Telefon +49 241 8906-128
 marco.hoefel@ilt.fraunhofer.de

2 Gepumpter Laserkristall.

3 Er:YLuAG-Laseroszillator.



STRAHLUNGSTESTS AN ER³⁺-DOTIERTEN GRANATEN

Aufgabenstellung

Für die globale und dauerhafte Vermessung von Methankonzentrationen in der Atmosphäre sind satellitenbasierte Lidarsysteme geeignet, wie sie beispielsweise für die deutsch-französische Klimamission MERLIN entwickelt werden. Ein mögliches Konzept für die Laserstrahlquelle eines solchen Systems ist ein Festkörperlaser basierend auf einem Erbium-dotierten Laserkristall. Zu diesen Kristallen gibt es bislang noch keine publizierten Studien zu ihrer Strahlungshärte gegenüber Protonen und Gammabestrahlung.

Vorgehensweise

Verschiedene Kristallproben aus Er:YAG, Er:YLuAG sowie Er,Ce:YLuAG werden mit Protonen entsprechend einem gegebenen Missionsszenario bestrahlt. Die strahlungsinduzierten Verluste für die einzelnen Prüflinge werden auf drei verschiedenen Wegen ermittelt:

- Vor und nach der Bestrahlung werden Transmissionsspektren der Prüflinge gemessen.
- Ein Test-Laserszillator wird aufgebaut und alle Prüflinge vor und nach der Bestrahlung in diesem Oszillator als Lasermedium eingesetzt. Die Laserschwellen und Steigungseffizienzen vor und nach der Bestrahlung werden für jeden einzelnen Prüfling gemessen.
- Mittels Photothermischer Common-Path-Interferometrie (PCI) wird die strahlungsinduzierte Volumenabsorption in den Prüflingen gemessen.

Ergebnis

Protonenstrahlungsinduzierte Verluste werden nur für mit zehnfacher Missionsdosis bestrahlte Prüflinge gemessen. Diese betragen ca. 2 Prozent/cm für Er:YAG und Er:YLuAG und ca. 0,5 Prozent/cm für Er,Ce:YLuAG. Alle Prüflinge sind hinreichend strahlungshart für den Einsatz im gegebenen Missionsszenario. Weiterhin ist nachgewiesen, dass die Kodo-tierung mit Cerium die Protonenstrahlungshärte vergrößert. Derzeit werden Gammastrahlungstests durchgeführt.

Anwendungsfelder

Die Ergebnisse zeigen, dass Erbium-dotierte Granatkristalle in strahlungsintensiven Umgebungen eingesetzt werden können. Neben der Luft- und Raumfahrt kommen beispielsweise auch Teilchenbeschleuniger in Betracht.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 50EE1222 durchgeführt.

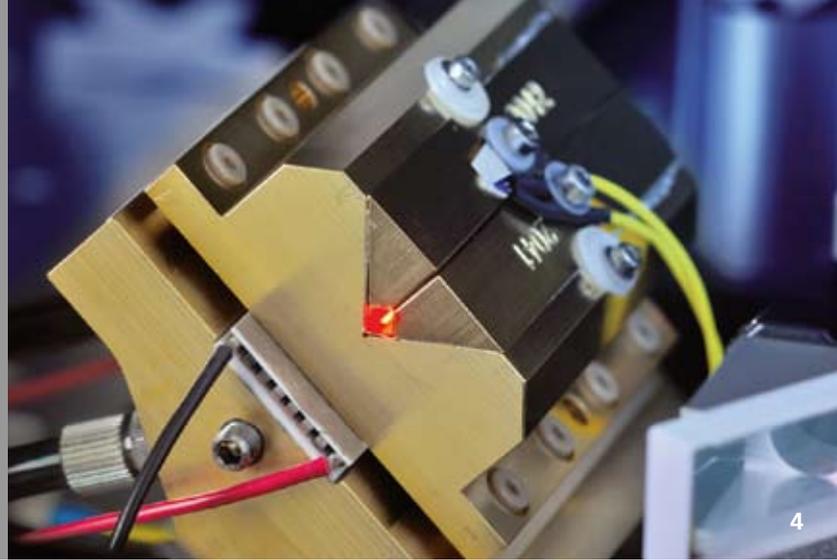
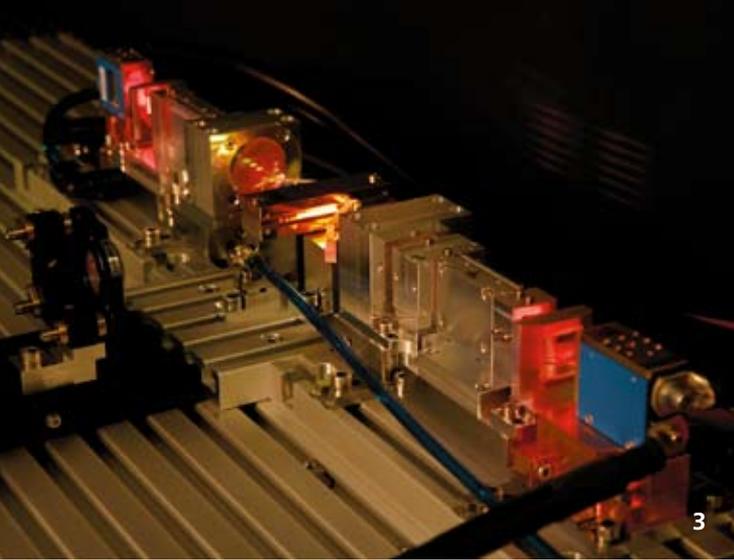
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Ansgar Meissner
Telefon +49 241 8906-8232
ansgar.meissner@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Marco Höfer
Telefon +49 241 8906-128
marco.hoefler@ilt.fraunhofer.de

1 Aufbau für die Protonenbestrahlung.

2 Prüfling im Test-Laserszillator.



GEPULSTER HO:YLF-LASER

Aufgabenstellung

Laserstrahlquellen im Wellenlängenbereich von 2 μm und mit Pulslängen im Nanosekundenbereich haben viele Anwendungsfelder: Materialbearbeitung, Fernerkundung, Wissenschaft und Militär machen sich die besonderen Absorptionseigenschaften von 2 μm Strahlung im Vergleich zu z. B. 1 μm zunutze. Im Rahmen des DLR-Projekts »CHOCLID« und des ESA-Projekts »HOLAS« wird eine gepulste, spektral schmalbandige Strahlquelle mit einer Wellenlänge von 2,051 μm zur Detektion von CO_2 in der Atmosphäre mittels LIDAR-Methoden entwickelt.

Vorgehensweise

Zur Erzeugung der geforderten Doppelpulse mit 45 mJ und 15 mJ Pulsenergie und einer Repetitionsrate von 50 Hz wurde mittels numerischer Simulationen ein Ho:YLF-MOPA System entworfen, das von diodengepumpten Tm:YLF-Lasern gepumpt wird. Dabei sollen im Oszillator Pulse mit einer konstanten Energie von 4 mJ erzeugt werden, die in einem INNOSLAB-Verstärker auf die jeweilige benötigte Pulsenergie skaliert werden. Besonderes Augenmerk bei der Auslegung galt der Einhaltung kritischer Energiedichten, um eine laserinduzierte Zerstörung von Optiken zu vermeiden.

Ergebnis

Als Pumpquelle für den Ho:YLF-Oszillator wurde ein Tm:YLF Stab-Laser mit einer cw Leistung von 25 W aufgebaut, dessen Leistung momentan durch die verwendeten Pumpdioden beschränkt ist. Der damit gepumpte Ho:YLF-Oszillator

erzeugt Pulse von 3,5 mJ Energie mit einer Pulsdauer von 35 ns bei einer Frequenz von 1 kHz und 11 mJ Energie mit einer Pulsdauer von 25 ns bei 100 Hz. Das Testen bei hohen Pulsenergien zeigt, dass beim Arbeitspunkt von 4 mJ die Zerstörschwellen nicht überschritten werden.

Als Pumpquelle für den im Folgenden aufzubauenden Ho:YLF-Verstärker wurde ein Tm:YLF-INNOSLAB-Laser mit 200 W cw Leistung und angepasster Strahlverteilung aufgebaut.

Anwendungsfelder

Außer als Master-Oszillator für die folgenden Verstärker kann der Oszillator im genannten Parameterfeld in der Materialbearbeitung eingesetzt werden. Die Ausgangswellenlänge von 2 μm ist weiterhin vorteilhaft für die Anwendung als Pumpquelle effizienter, langwelliger, optisch-parametrischer Oszillatoren.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 50EE1222 durchgeführt.

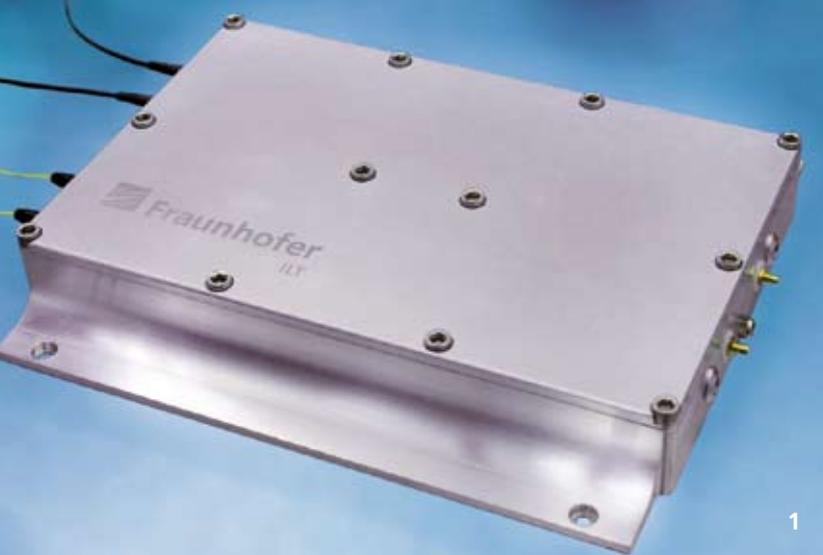
Ansprechpartner

M.Sc. Philipp Kucirek
Telefon +49 241 8906-8108
philipp.kucirek@ilt.fraunhofer.de

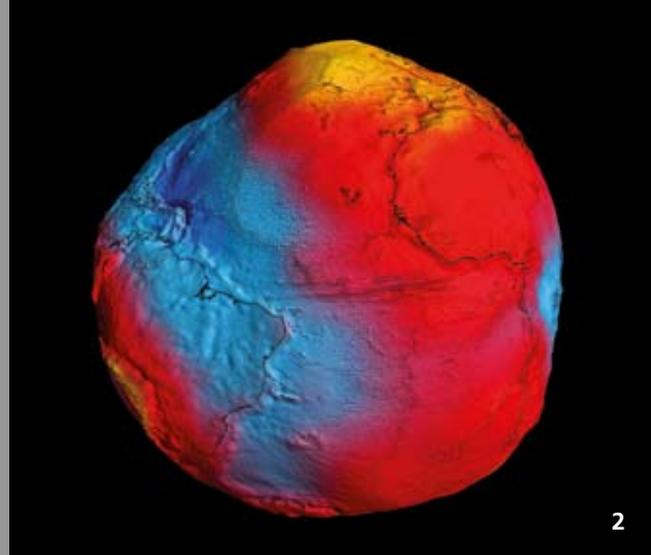
Dipl.-Phys. Marco Höfer
Telefon +49 241 8906-128
marco.hoefler@ilt.fraunhofer.de

3 Tm:YLF-INNOSLAB-Laser.

4 Ho:YLF-Oszillator.



1



2

HOCHSTABILER FASERVERSTÄRKER FÜR SCHMALBANDIGE SIGNALE

Aufgabenstellung

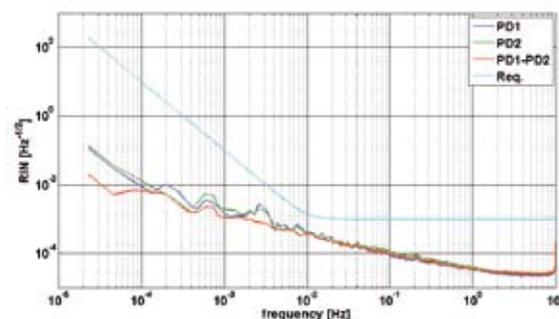
Im Rahmen des Erdbeobachtungsprogramms werden von der ESA Missionen zur Vermessung des Gravitationsfelds der Erde betreut. Um gegenüber früheren Missionen (GRACE) eine Verbesserung der Messauflösung zu erreichen, soll ein Laser bei 1064 nm entwickelt werden, der eine spektrale Bandbreite unter 10 kHz und eine extrem hohe Leistungsstabilität aufweist.

Vorgehensweise

Die Strahlquelle besteht aus einem am Fraunhofer ILT entwickelten Faserverstärker, der das Signal eines nicht-planaren Ringoszillators auf die gewünschte Ausgangsleistung skaliert, und einer beim Projektpartner entwickelten Referenzkavität, mit der der Laser in der Frequenz stabilisiert wird. Das aktive Medium des Verstärkers ist eine polarisationserhaltende Grundmodefaser mit Stufenindexprofil. Diese wird mit einer spektral stabilisierten Laserdiode bei einer Wellenlänge von 976 nm gepumpt, um dem Auftreten von stimulierter Brillouin-Streuung entgegenzuwirken. Mittels einer Fotodiode und einer angepassten, hochauflösenden Elektronik wird die Ausgangsleistung des Lasers über die Modulation der Pumpleistung aktiv stabilisiert.

Ergebnis

Die geforderte Ausgangsleistung 500 mW konnte unter Einhaltung der Stabilitätskriterien erfolgreich demonstriert werden. Bei einer Zentralwellenlänge von 1063,9 nm wurde der Verstärker bei einem Projektpartner auf eine Bandbreite



Stabilitätsmessung der Ausgangsleistung.

unter 3 kHz bei voller Ausgangsleistung stabilisiert. Der Polarisationsgrad beträgt über 99 Prozent. Durch die Verwendung von Grundmode-Fasern wird eine Strahlqualität von $M^2 < 1,1$ erreicht.

Anwendungsfelder

Aufgrund der extrem schmalen Bandbreite und Leistungsstabilität sowie der hohen transversalen Strahlqualität eignet sich der Verstärker neben dem Einsatz in der satellitengestützten Gravimetrie und Kommunikation auch als Strahlquelle in verschiedenen Bereichen der industriellen Messtechnik.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde von der Europäischen Weltraumorganisation ESA gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Martin Giesberts
 Telefon +49 241 8906-341
 martin.giesberts@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Oliver Fitzau
 Telefon +49 241 8906-442
 oliver.fitzau@ilt.fraunhofer.de

- 1 Faserverstärker-Modul.
- 2 Lokale Verteilung des Schwerefelds der Erde, Quelle: © ESA/HPFIDLR, GOCE Mission.



THERMOMECHANISCH ROBUSTER OPO-DEMONSTRATOR FÜR DIE KLIMAMMISSION MERLIN

Aufgabenstellung

Als Treibhausgas hat Methan einen wesentlichen Anteil an klimatischen Veränderungen. Allerdings sind die globale Verteilung sowie Quellen und Senken des Gases vergleichsweise wenig erforscht. Im Rahmen der deutsch-französischen Klimamission MERLIN soll ein satellitengestütztes LIDAR-System eingesetzt werden, um künftig detaillierte Dichteverteilungen mit globaler Abdeckung zu sammeln. Als Transmitter wird ein gütegeschalteter Nd:YAG-Laser als Pumplaser mit einem optisch parametrischen Oszillator (OPO) als Frequenzkonverter kombiniert. Der OPO konvertiert die Laserausgangswellenlänge von 1064 nm auf eine charakteristische Methanabsorptionslinie bei etwa 1645 nm. Hier soll die konstruktive Umsetzbarkeit des OPO als robuster Demonstrator gezeigt werden. Dies betrifft insbesondere die thermomechanische Stabilität des Aufbaus unter nichtoperationellen thermischen Transportbedingungen von -30 °C bis +50 °C. Für die Resonatoroptiken des OPO sind Kippstabilitäten im 10 µrad-Bereich einzuhalten.

Vorgehensweise

Die mechanische Umsetzung des Demonstrators basiert auf dem optischen Design des Laboraufbaus. Die optischen Elemente des OPOs, Kristalle und Spiegel, werden auf angepasste, metallische Halter gelötet. Diese wurden am Fraunhofer ILT für die Einsatzbedingungen satellitenbasierter Laser entwickelt und zeichnen sich durch eine große mechanische sowie thermomechanische Stabilität aus. Um eine hohe Qualität der Lötverbindung sicherstellen zu können, wurden

die Schmelzyklen und somit die Zahl der Justageschritte begrenzt. Für den Aufbau des OPO wurde daher die Strategie für die Justage der optischen Komponenten an diese Merkmale des Montageprozesses angepasst.

Ergebnis

Zwei OPO-Module wurden erfolgreich auf Basis der Löttechnologie aufgebaut und justiert und zeigten die gleiche Konversionseffizienz wie mit herkömmlichen Haltern aufgebaute OPOs. Auch nach dem Durchlaufen eines Klimazyklustests zeigen beide Module die gleiche Effizienz wie zuvor.

Anwendungsfelder

Die Umsetzung der stabilen Aufbautechnik kann auch bei OPOs in anderen Wellenlängenbereichen unter anspruchsvollen Umweltbedingungen eingesetzt werden. Dadurch kann eine Vielzahl von relevanten Gasen detektiert werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 50EP1301 durchgeführt. Die Arbeiten sind Teil einer Kooperation zwischen DLR RfM und CNES im Rahmen des deutsch-französischen MERLIN-Satellitenprojekts. Das Fraunhofer ILT führt die Arbeiten im Unterauftrag der Firma Airbus DS GmbH durch.

Ansprechpartner

M.Sc. Marie Jeanne Livrozet
Telefon +49 241 8906-8010
marie.livrozet@ilt.fraunhofer.de

Dr. Bernd Jungbluth
Telefon +49 241 8906-414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de

*3 Mechanisch stabiler, optisch
parametrischer Oszillator.*



LUFT- UND RAUMFAHRT GEEIGNETE LÖTKONZEPTE FÜR NICHTLINEARE OPTISCHE KRISTALLE

Aufgabenstellung

Insbesondere satellitenbasierte Laserstrahlquellen für LIDAR-Systeme erfordern mechanisch und thermisch robuste optomechanische Komponenten unter Vermeidung von organischen Materialien wie Klebstoffen. Angepasste Lötverbindungen eignen sich hier besonders gut. Die Montage von nichtlinearen optischen Kristallen wie BBO, LBO, KTP oder TGG ist aufgrund der besonderen Kristalleigenschaften und den im Einsatz auftretenden Randbedingungen (Temperaturlastwechsel, mechanische Schocks und Vibrationen) besonders kritisch. Besonders in nichtoperationellen Phasen können im Satelliteneinsatz thermische Wechsellasten von -30 °C bis $+50\text{ °C}$ die mechanische Festigkeit des Kristallinterface beeinträchtigen.

Vorgehensweise

Die nichtlinearen optischen Kristalle werden je nach Anwendung und Kristallart zwischen angepasste metallische Halter eingelötet. Dabei spielen die Geometrie und die Materialwahl eine entscheidende Rolle. Bei BBO-Kristallen ist die Halterung elastisch in Form von Blechen ausgeführt, die in ein Keramikgehäuse eingelötet ist. Da LBO- und KTP-Kristalle in den meisten Applikationen einer Temperierung bedürfen, werden diese Kristalle flächig auf wärmeausdehnungsangepasste Substrate gelötet. Die Geometrie der Halter ist hinsichtlich Wärmeleitung optimiert. Der TGG-Kristall wird in eine passiv gekühlte Halterung eingelötet, die bei hohen mittleren Leistungen die Verlustwärme abführt.

Ergebnis

Mit Hilfe der am Fraunhofer ILT entwickelten löftechnischen Montage für nichtlineare Kristalle wurden funktionstüchtige Baugruppen aufgebaut und erfolgreich getestet. Für die Untersuchungen wurden dabei Labordemonstratoren der Laserstrahlquellen eingesetzt, die die Eigenschaften der geplanten Fluglaser aufweisen.

Anwendungsfelder

Das beschriebene Montagekonzept kann neben den beschriebenen Kristallen für andere nichtlineare Kristallarten eingesetzt werden. Neben Raumfahrtanwendungen kann das Verfahren für Festkörperlaser aus der Medizintechnik oder Materialbearbeitung zum Einsatz kommen.

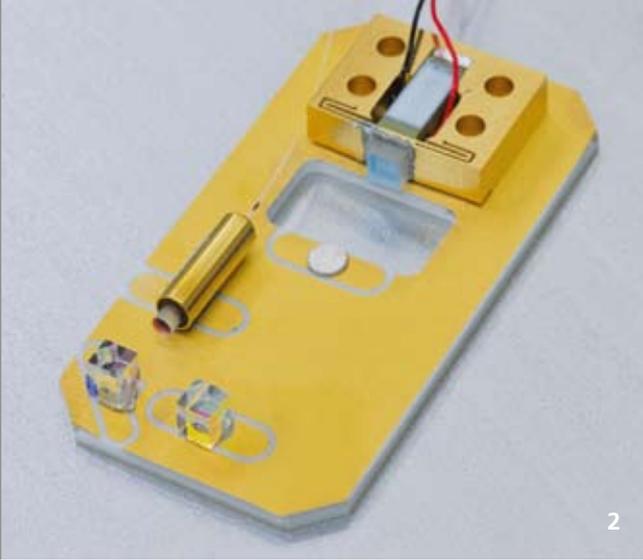
Teile der Arbeiten wurden im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie im Rahmen der diesem Bericht zugrundeliegenden FE-Vorhaben mit den Kennzeichen 50EE1235 und 50EP1301 durchgeführt. Die Arbeiten sind Teil einer Kooperation zwischen DLR RfM und CNES im Rahmen des deutsch-französischen MERLIN-Satellitenprojekts. Das Fraunhofer ILT führt die Arbeiten im Unterauftrag der Firma Airbus DS GmbH durch.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Heinrich Faidel
Telefon +49 241 8906-592
heinrich.faidel@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Löhring
Telefon +49 241 8906-673
jens.loehring@ilt.fraunhofer.de

1 Funktionstüchtige Prototypen
gelöteter nichtlinearer Kristalle
(von links: BBO, TGG, KTP, LBO).



2



3

MONTAGEVERFAHREN FÜR DIE FREISTRASHOPTIK EINES FREQUENZKAMMS

Aufgabenstellung

Für die weltraumgestützte Analyse klimarelevanter Gase in der Atmosphäre können auf laseroptischen Messverfahren basierende LIDAR-Systeme vorteilhaft eingesetzt werden. Ein wichtiger Bestandteil eines LIDAR-Systems ist ein Frequenzkammgenerator, der die Funktion einer absoluten Frequenzreferenz übernimmt. Dadurch kann die Wellenlänge der LIDAR-Strahlquelle auf ausgewählte Positionen im Spektrum des zu untersuchenden Spurengases langzeitstabil eingestellt bzw. umgeschaltet werden. Neben faserbasierten Baugruppen enthält ein Frequenzkamm eine Freistrahloptik, die mechanisch und thermisch stabil aufgebaut werden muss. Eine besondere Herausforderung stellen die Abmessungen der Komponenten und der zur Verfügung stehende Bauraum dar.

Vorgehensweise

Die Freistrahloptik besteht aus sechs Komponenten, die auf einer Keramikplatte mit einer Fläche von $26 \times 50 \text{ mm}^2$ aufgebaut werden. Zuerst wird der Piezohalter und anschließend der Retrospiegel mittels Reflowlötung auf dieser montiert. Danach wird die Keramikplatte auf einer wassergekühlten Vakuumaufnahme ausgerichtet. Im nächsten Schritt werden die Strahlteilungswürfel aktiv auf die vom Retrospiegel vorgegebene Strahlachse ausgerichtet und verlötet. Im letzten Schritt wird die Freistrahloptik mit Hilfe der Kollimatorjustage auf maximale Leistung justiert und der Kollimator mittels Lot fixiert.

Ergebnis

Durch das am Fraunhofer ILT entwickelte Montageverfahren konnte der Aufbau der Freistrahloptik hinsichtlich der geforderten Toleranzen (10 Prozent Leistungsabfall nach der Abkühlung) erfolgreich durchgeführt werden. Durch die Erhöhung der mechanischen Stabilität der Keramikplatte kann das Verhalten der Baugruppe weiter verbessert werden.

Anwendungsfelder

Das Anwendungsspektrum des beschriebenen Montageverfahrens erstreckt sich weit über den Luft- und Raumfahrtseinsatz hinaus. Das vorgestellte Konzept kann für alle Laserstrahlquellen mit vergleichbaren Anforderungen z. B. aus dem Bereich der Medizintechnik oder für Beschriftungsgeräte eingesetzt werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 50EE1227 durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Heinrich Faidel
Telefon +49 241 8906-592
heinrich.faidel@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Löhring
Telefon +49 241 8906-673
jens.loehring@ilt.fraunhofer.de

- 2 *Aufgebaute Freistrahloptik.*
3 *Vergößerte Darstellung einer Freistrahlobaugruppe.*



PRÄZISIONSMONTAGE-ANLAGE FÜR LASERKOMPONENTEN

Aufgabenstellung

Für die Montage optischer Komponenten in Festkörperlaser, die für den Einsatz im Weltraum bestimmt sind, wurde eine Montageanlage entwickelt, aufgebaut und in Betrieb genommen. Mit dieser Montageanlage soll es möglich sein, die für den Betrieb des Lasers notwendigen Optiken mittels Lötverfahren zu montieren und aktiv zu justieren. Die dazu einzuhaltenden Richtungs- und Positioniertoleranzen liegen dabei im Bereich von 10 µrad bzw. 10 µm.

Vorgehensweise

Die insgesamt acht Bewegungsachsen der Montageanlage sind so angeordnet, dass zwei spezielle Vakuumgreifer an zwei Bearbeitungsköpfen gleichzeitig arbeiten können, um an zwei optischen Komponenten gleichzeitig Justagetätigkeiten ausführen zu können. Weil einerseits große Verfahrswege zurückgelegt und andererseits hohe Positioniergenauigkeiten eingehalten werden müssen, werden die Bearbeitungsköpfe mit einem zusätzlichen Präzisionsbewegungssystem ausgestattet. Die Vorentwicklungen zu dieser Montageanlage haben gezeigt, dass das Parallelkinetiksystem für die Lötmontage geeignet ist. Die eigentliche Lötmontage wird mit einem speziell dafür entwickelten Greifer vorgenommen. Mit diesem Greifer wird nicht nur die zu montierende Optik zugeführt und

gehalten sondern der für das Widerstandslöten nötige elektrische Strom über zwei Elektroden an der Lötstelle eingepreßt. Die Anlage wird in einem Reinraum der Reinheitsklasse ISO 5 betrieben.

Ergebnis

Zwei luftgelagerte Linearachsen ermöglichen einen Verfahrweg von 950 mm x 350 mm. Diese Achsen sind auf Positionsstabilität und Steifigkeit optimiert, so dass mit den beiden Parallelkinematiksystemen auch unter mechanischer Belastung eine hohe Präzision erreicht wird. Optikelemente können mit Schrittweiten von 20 nm bzw. 1 µrad positioniert werden. Zwei Optikelemente können simultan justiert werden.

Anwendungsfelder

Am Beispiel des für die deutsch-französische Klimamission MERLIN entwickelten optisch parametrischen Oszillators (OPO) konnte die Montageanlage erfolgreich eingesetzt werden. Durch die hohe Positionstreuung und Stabilität der Montageanlage konnten die geforderten Spezifikationen eingehalten werden. Die Montage einer komplexen MOPA-Anordnung auf Nd:YAG-Basis steht in Kürze an.

Die hohe Flexibilität der Montageanlage lässt eine Übertragung auf andere Anwendungen zu, bei denen ähnliche Stabilitäten und Präzisionen gefordert werden. Dies trifft beispielsweise auch für Lasersysteme im industriellen Umfeld zu.

Ansprechpartner

Dr. Jörn Miesner
Telefon +49 241 8906-394
joern.miesner@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Löhring
Telefon +49 241 8906-673
jens.loehring@ilt.fraunhofer.de

1 Montageanlage.



AUFBAUTECHNOLOGIE FÜR LASEROPTISCHE KOMponentEN

Aufgabenstellung

Optische Komponenten in satellitenbasierten LIDAR-Lasersystemen sind extremen Umweltbedingungen wie Temperaturwechsel im Bereich von -30 °C bis $+50\text{ °C}$ sowie mechanischen Schocks und Vibrationen ausgesetzt und müssen dabei dauerhaft eine Kippstabilität von typischerweise $< 10\text{ }\mu\text{rad}$ aufweisen. Zudem wird gefordert, dass diese Komponenten justierbar, klein, leicht und frei von organischen Substanzen wie Klebstoffen sind. Darüber hinaus ist eine positionstreu verschraubung der gelöteten Komponenten auf einer Aluminiumbasis zu ermöglichen, die einen Austausch im Falle eines Defekts erlaubt.

Vorgehensweise

Um die genannten Anforderungen zu erfüllen, wurden verschiedene Aufbautechniken entwickelt und kombiniert. Die bereits am Fraunhofer ILT etablierten Löttechniken wie die »hochbelastbare Reflowlöttechnik für kompakte Optikmodule« einerseits und das »Pick&Align-Fügen von optischen Komponenten bei aktiver Justage« andererseits bilden die Grundlage einer klebefreien Aufbautechnologie. Zudem wurde eine wärmedehnungskompensierende Submountstruktur eingesetzt. Auf dieser Basis wurden optomechanische Halter entwickelt und deren Stabilität und Reproduzierbarkeit in Klimazyklus- und Vibrationstests vielfach nachgewiesen.

Ergebnis

Am Beispiel des für die deutsch-französische Klimamission MERLIN entwickelten optisch parametrischen Oszillators (OPO) konnte das Verfahren an einer repräsentativen Laserbaugruppe untersucht werden. Aspekte wie eine ausreichende Anzahl von Schmelzyklen sowie eine für die Optimierung der OPO-Parameter ausreichende Haltezeit oberhalb der Schmelztemperatur des Lots konnten an diesem Beispiel demonstriert werden. Es wurden zwei identische OPO-Module aufgebaut. Die gute Justierbarkeit sowie die hohe Positionstreu konnten anhand gleicher Konversionseffizienz im Vergleich zu Anordnungen mit herkömmlichen Haltersystemen gezeigt werden. Die Temperaturstabilität der Anordnung wurde im Klimatest nachgewiesen.

Anwendungsfelder

Neben Anwendungen im Bereich der Luft- und Raumfahrt eignet sich diese Aufbautechnologie insbesondere auch für den Aufbau robuster Laserstrahlquellen im industriellen Einsatz. Die erprobten Halterkonzepte lassen sich dabei ebenfalls auf neue Geometrien und Materialien erweitern.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 50EE1235 durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Winzen
Telefon +49 241 8906-173
matthias.winzen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Löhring
Telefon +49 241 8906-673
jens.loehring@ilt.fraunhofer.de

2 Laseroptische Komponenten im
optisch parametrischen Oszillator.

3 Pick&Align: Nachjustage mit Montageanlage.



FUNKTIONSORIENTIERTE MONTAGE VON OPTISCHEN SYSTEMEN

Aufgabenstellung

Die Justage und Montage optischer Systeme in der Lasertechnik erfolgt überwiegend manuell und verursacht hierdurch bis zu 80 Prozent der Kosten in der Wertschöpfungskette. Vor diesem Hintergrund wird eine teil- oder vollautomatisierte Lösung angestrebt. Bislang stehen besonders die Toleranzen der optischen Elemente sowie der Fügeprozess einer zeit- und kosteneffizienten, vollautomatisierten Montage der optischen Elemente im Weg.

Vorgehensweise

Mit Hilfe einer Toleranzanalyse wird eine optimierte Montage-reihenfolge für die zu montierenden optischen Komponenten modellbasiert errechnet, so dass der Fehler in der Montage über den gesamten Prozess minimiert wird. Während der Justage und Montage der einzelnen optischen Elemente werden durch die Integration von Ray-Tracing-Modellen in die Steuerung der Montagezelle Fehlstellungen bestimmt, damit diese im Prozess korrigiert werden können. Hierzu wird durch entsprechende Messtechnik und Algorithmen der unmittelbare Einfluss der optischen Elemente auf die gewünschte optische Funktionalität (z. B. Strahlparameterprodukt) detektiert.

Um die Flexibilität des Systems zu gewährleisten, sind die einzelnen Bestandteile des Montagesystems über ein Multi-Agenten-System miteinander vernetzt. Die Definition von Standard-Interfaces innerhalb dieses Systems ermöglicht unkomplizierte und schnelle Änderungen am Montagesystem.

Ergebnis

In den ersten Ausbaustufen des Montagesystems wurde die Robotik erfolgreich über standardisierte Schnittstellen an das optische Modell eines Strahlformungssystems gekoppelt, so dass Veränderungen im optischen Modell direkt im Montagesystem umgesetzt werden. Ebenso wurde eine Messstrategie entwickelt, um die Funktionalität und den Einfluss von optischen Elementen im System zu erfassen.

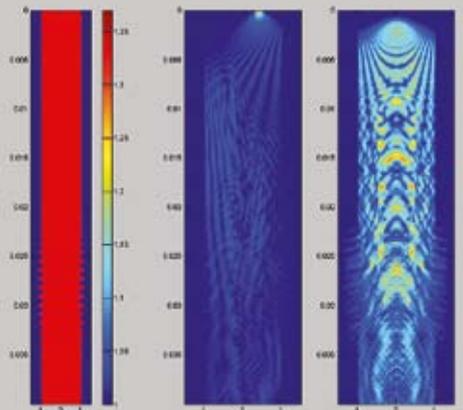
Anwendungsfelder

Die Ergebnisse können im Bereich der Montage von Lasersystemen mit geringen Stückzahlen mit dem Ziel eingesetzt werden, eine Vollautomatisierung zu erreichen. Die entwickelten Algorithmen können modifiziert und für weitere Justageanwendungen angepasst werden.

Ansprechpartner

M.Sc. Martin Holters
Telefon +49 241 8906-351
martin.holders@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jochen Stollenwerk
Telefon +49 241 8906-411
jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de



MODELLIERUNG UND SIMULATION WASSER- STRAHLGEFÜHRTER LASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

Laserstrahlung kann neben der Nutzung von Glasfasern auch durch einen Wasserstrahl geführt werden. Für die Mikrobearbeitung von Werkstoffen mit kurz gepulster Strahlung hat diese Art der Strahlungsführung besondere Vorteile. Allerdings sind mit dieser Technologie auch entsprechende Fragestellungen der Wasserstrahlstabilität und der Beugung bzw. Streuung der geführten Strahlung verbunden, die aufgrund der Unzugänglichkeit der Apparatur eine numerische Untersuchung/Beschreibung erfordern.

Vorgehensweise

Nach der bereits erfolgreich durchgeführten räumlich aufgelösten Beschreibung der freien Oberfläche des Wasserstrahls zur Darstellung hydrodynamischer Instabilitäten wird nun die Strahlungspropagation innerhalb des Wasserstrahls mittels der bewährten Techniken der Modellierung und Simulation

untersucht. Dazu werden verschiedene Gleichungen der Strahlungspropagation innerhalb der Medien Luft und Wasser gelöst, und zwar eine Modellformulierung zur Streuung der Strahlung an Partikelkontaminationen in der Düsenkammer und eine Formulierung zur Beugung der Strahlung innerhalb der Propagation entlang des entstehenden Wasserstrahls.

Ergebnis

Sowohl die Betrachtung der Strahlungspropagation im Wasserstrahl wie auch in der Wasserkammer und angrenzender Strahldüse konnten erfolgreich durchgeführt werden.

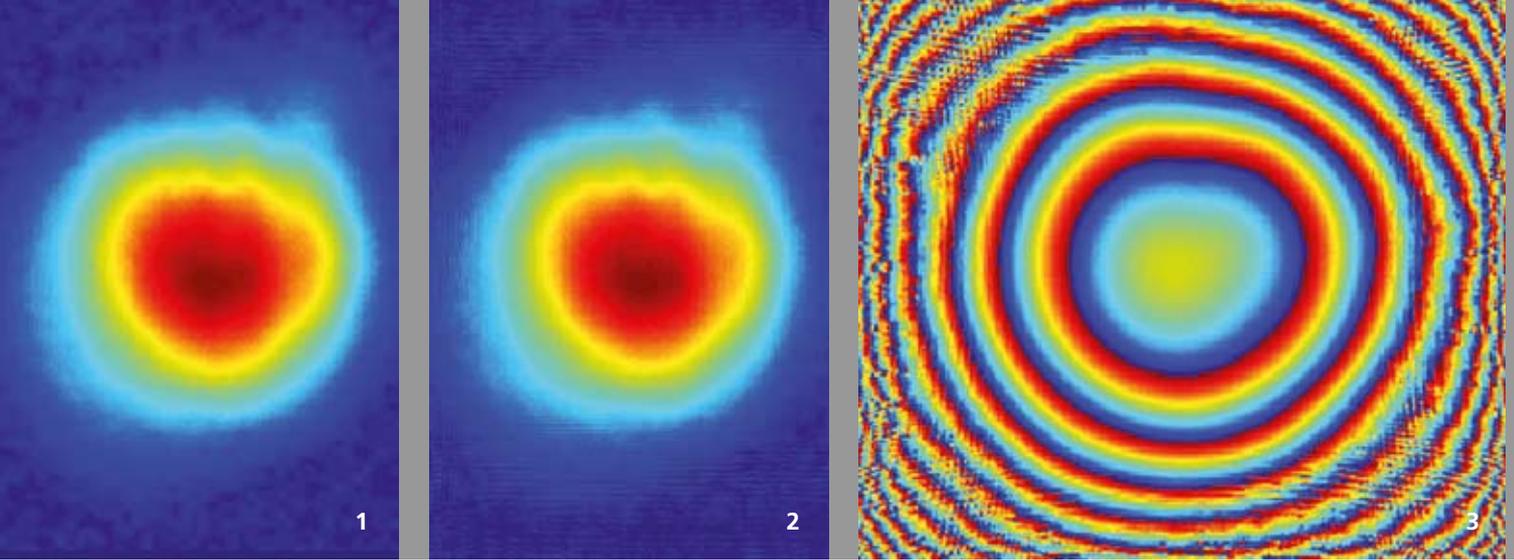
Anwendungsfelder

Die beiden erarbeiteten Simulationstechniken lassen sich bei Fragestellung der Strahlungspropagation in Fasern wie Streuproblemen anwenden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Urs Eppelt
 Telefon +49 241 8906-163
 urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de

- 2 Streusimulation in der Umgebung des Düsenkörpers.
- 3 Intensitätsprofil am Ausgang der Wasserfaser.
- 4 Simulation der Strahlungspropagation entlang der Wasserfaser.



REKONSTRUKTION DER PHASENVERTEILUNG ANHAND VON MESSUNGEN DES INTENSITÄTSPROFILS

Aufgabenstellung

Bei der für eine bestimmte Laseranwendung spezifischen Auslegung eines Laserstrahls ist die Verteilung der Intensität lateral zur Strahlachse eine Designgröße, die genutzt wird, um die Erfüllung der von der Anwendung geforderten Qualitätskriterien zu ermöglichen. Um einen gegebenen Laserstrahl so zu formen, dass er nach seiner Propagation eine gewünschte Intensitätsverteilung besitzt, ist die Kenntnis der Intensitäts- und Phasenverteilung des vorliegenden Strahls notwendig. Im Gegensatz zur Verteilung der Intensität ist die Messung der Phase nicht einfach möglich. Daher wird die Messung der Phase durch deren Rekonstruktion anhand von Messungen der Verteilung der Intensität an mehreren Positionen im Strahl ersetzt.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wird ein numerischer Algorithmus angewendet, der die Intensitätsmessungen aus kommerziell verfügbaren Messgeräten zur Bestimmung des Strahlprofils einliest und daraus die Phasenfronten des vermessenen Laserstrahls rekonstruiert. Dazu werden nach Gerchberg-

Saxton eine der gemessenen Intensitätsverteilungen und eine geeignet gewählte Phasenfront als Startverteilungen verwendet und die freie Propagation der Strahlung mit diesen Informationen berechnet. Durch Hin- und Rückpropagation zwischen den Messebenen wird in einem iterativen Verfahren die Phaseninformation rekonstruiert.

Ergebnis

Das Verfahren wird fortgesetzt, bis berechnete und gemessene Verteilungen der Intensität übereinstimmen. Die Phasenverteilung, mit der diese Übereinstimmung erzielt wird, entspricht dann der tatsächlich im Strahl vorliegenden Phasenverteilung und die Rekonstruktion ist somit abgeschlossen.

Anwendungsfelder

Das Verfahren ist für Aufgabenstellungen anwendbar, in denen ein Laserstrahl durch Formung des Intensitätsprofils spezifisch für eine Anwendung ausgelegt werden soll. Häufige Beispiele für solche Anwendungen sind – wie im von der EU geförderten Projekt »HALO« – das Schneiden mit Laserstrahlung von beispielsweise Glas oder Metall und Lasermedizinanwendungen.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Lisa Bürgermeister
Telefon +49 241 8906-610
lisa.buergermeister@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Urs Eppelt
Telefon +49 241 8906-163
urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de

1 Gemessene Verteilung der Intensität.

2 Rekonstruierte Verteilung der Intensität.

3 Rekonstruierte Phasenflächen.

TECHNOLOGIEFELD LASERMATERIALBEARBEITUNG

Zu den Fertigungsverfahren des Technologiefelds Lasermaterialbearbeitung zählen die Trenn- und Fügeverfahren in Mikro- und Makrotechnik sowie die Oberflächenverfahren. Ob Laserschneiden oder Laserschweißen, Bohren oder Löten, Laserauftragschweißen oder Reinigen, Strukturieren oder Polieren, Generieren oder Beschichten, das Angebot reicht von Verfahrensentwicklung und Machbarkeitsstudien über Simulation und Modellierung bis hin zur Integration der Verfahren in Produktionslinien.

Die Stärke des Technologiefelds beruht auf dem umfangreichen Prozess-Know-how, das auf die Kundenanforderungen zugeschnitten wird. So entstehen auch Hybrid- und Kombinationsverfahren. Darüber hinaus werden in Kooperation mit spezialisierten Netzwerkpartnern komplette Systemlösungen angeboten. Sonderanlagen, Anlagenmodifikationen und Zusatzkomponenten sind Bestandteil zahlreicher FuE-Projekte. So werden spezielle Bearbeitungsköpfe für die Lasermaterialbearbeitung nach Kundenbedarf entwickelt und gefertigt. Auch Prozessoptimierungen durch Designänderungen von Komponenten sowie Systeme zur Online-Qualitätsüberwachung zählen zu den Spezialitäten des Technologiefelds.

Der Kunde erhält somit laserspezifische Lösungen, die Werkstoff, Produktdesign, Konstruktion, Produktionsmittel und Qualitätssicherung mit einbeziehen. Das Technologiefeld spricht Laseranwender aus unterschiedlichen Branchen an: vom Maschinen- und Werkzeugbau über Photovoltaik und Feinwerktechnik bis hin zum Flugzeug- und Automobilbau.

LASERMATERIALBEARBEITUNG



INHALT

SLM-Belichtungskonzept zur einfachen Skalierung der Aufbaurate	60	Texturierung von Freiformflächen mit ultrakurzen Laserpulsen	87
Untersuchung der Schutzgasführung im SLM-Prozess	61	Laserinduzierte Nanostrukturen für nahfeldoptische Anwendungen	88
Analyse der Kosten der SLM-Fertigung	62	Laserstrukturierung von Bonddrahtverbindungen	89
Topologieoptimierter Kinematikhebel eines Business Class Sitzes	63	Strukturieren dünner Schichten im Rolle-zu-Rolle Verfahren	90
Verfahrensentwicklung zur Reparatur einkristalliner Turbinenschaufeln mittels SLM	64	Saphirbearbeitung durch Selective Laser-induced Etching	91
Fertigung von Turbinenkomponenten aus MAR-M-509®	65	Modellierung und Simulation der Erzeugung optischer Filamente mit UKP-Laserstrahlung	92
Gefügeeigenschaften von IN718 beim High Power SLM	66	Laserabtrag von Barrierschichten in der OLED-Produktion	93
Entwicklung einer neuartigen Aufbau- und Verbindungstechnik für Leistungshalbleiter mittels SLM	67	Präziser Schichtabtrag durch prozessangepasste Strahlformung	94
Vergleich der additiven Verfahren SLM und LMD	68	Modellierung und Simulation des Bohrens mit Laserstrahlung	95
Entwicklung von Prozessdiagrammen für das Laserauftragschweißen	69	Präzisionswendelbohren mit hohem Aspektverhältnis	96
Prozesssimulation zum Laserauftragschweißen	70	Laserstrahlbohren der Primärdüse eines Strahltriebwerks	97
Prozessüberwachung beim Hartauftragschweißen von Rohrrinnenflächen	71	Präzisionswendelschneiden von dielektrischen Werkstoffen mit Laserstrahlung	98
Modulare Zoomoptik	72	Laserstrahlmikroschweißen von Kupferberyllium an Silber	99
Dreistrahl-Pulverzufuhrdüsen mit verbesserter Performance	73	Mikroschweißen von thermischen Isolatoren aus Titan	100
Roboterbasierte Systemtechnik zum Laserauftragschweißen	74	Nahtformung durch örtliche Leistungsmodulation beim Mikroschweißen	101
Beschichten von Hydraulikzylindern durch Hochgeschwindigkeitslaserauftragschweißen	75	Laser-Impuls-Schmelzbonden (LIMBO)	102
Laserauftragschweißen zur Reparatur von Triebwerksschaufeln aus Titanaluminiden	76	Laserstrahlschweißen von Lithium-Ionen-Zellen	103
Additives Laserauftragschweißen zur 3D-Bauteilmodifikation im Automobilbau	77	Prozessüberwachung beim Laserstrahlschweißen von Batterieelektroden	104
Mikro-Laserauftragschweißen mit Goldpasten	78	Leichtbau-Energiepack	105
Korrelation zwischen Schmelzbadgeometrie und Verfahrensparametern beim Laserauftragschweißen	79	Geregeltes Laserstrahllöten von Solarzellen	106
Verbesserung der Kaltumformung von ZE-Güten durch lokale Laserwärmebehandlung	80	TWIST-Laserschweißen von Kunststofffolien mit 1567 nm Erbium-Faserlaserstrahlung	107
Laserbasierte Herstellung polymerer Korrosionsschutzschichten	81	Zerstörungsfreie Prüfung von Laserkunststoffschweißnähten	108
Multimaterialschichten für elektronische Anwendungen	82	T-Stoß-Verbindung aus Kunststoff und Metall	109
Innenbearbeitungsoptik (IBO) für das Laserpolieren	83	Modulare Fertigungskette für Kunststoff-Fahrzeug-Außenhautkomponenten	110
Erhöhung der Flächenrate beim Laserpolieren durch Verwendung räumlich angepasster Intensitätsverteilungen	84	Qualitätssicherung für das Laserstrahlhartlöten	111
Mikrostützen für Vakuumisolierverglasungen durch Laserumschmelzstrukturierung	85	Präzisionsschweißen von Sensorträgern in der Raumfahrt	112
Laserumschmelzstrukturierung (LUST) auf IN 718	86	Laserstrahlschweißen hochmanganhaltiger Stähle	113
		Schweißen und Schneiden von FVK-Leichtbauteilen	114
		Laserschneiden von faserverstärkten Kunststoffen	115
		Laserschneiden mit elliptischer Strahlformung	116
		In-situ-Diagnose beim Laserstrahlschneiden	117
		Metamodellierung und die parametrische Optimierung des Laserschneidens	118
		Metamodellierung zur Analyse multi-dimensionaler Parameterabhängigkeiten	119
		Laser-based Equipment Assessment	120



1



2

SLM-BELICHTUNGSKONZEPT ZUR EINFACHEN SKALIERUNG DER AUFBAURATE

Aufgabenstellung

Die generative Fertigung mit Selective Laser Melting (SLM) wird seit mehreren Jahren erfolgreich für die Prototypen- und Kleinserienfertigung überwiegend kleinvolumiger Bauteile eingesetzt. Allerdings fordern Anwender eine höhere Produktivität durch höhere Aufbauraten sowie gesteigerte Flexibilität hinsichtlich der verfügbaren Bauräume. Weiterhin sind eine robuste Prozessführung mit reproduzierbarer Bauteilqualität sowie eine Prozessüberwachung von essentieller Bedeutung für die Serienfertigung. Das derzeit verwendete optische System in SLM-Anlagen (Einzelstrahl, Scanner und Fokussieroptik) führt hierbei jedoch zu wesentlichen Restriktionen.

Vorgehensweise

Vor diesem Hintergrund wird am Fraunhofer ILT ein neues Belichtungs- und Anlagenkonzept entwickelt, welches gänzlich auf Scannersysteme verzichtet und stattdessen einen Bearbeitungskopf mit mehreren, einzeln steuerbaren Diodenlasern einsetzt. Dies ermöglicht die Steigerung der Aufbaurate des Systems über die nahezu beliebige Erhöhung der Strahlquellenanzahl, ohne dass eine Anpassung der Anlagenauslegung, der Steuerungssoftware zur Belichtung und der Verfahrensparameter erforderlich wird.

1 *Bearbeitungskopf der SLM-Laboranlage.*

2 *Gesamtansicht der Anlage.*

Außerdem lässt sich mit dem neuen Anlagenkonzept eine Bauraumvergrößerung allein durch größere Verfahrswege des Achssystems ohne Änderung des optischen Systems realisieren.

Ergebnis

Am Fraunhofer ILT wurde mit Mitteln des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« eine Laboranlage zur Untersuchung des neuen Belichtungskonzepts entwickelt, konstruiert und aufgebaut. Der Bearbeitungskopf besteht aus fünf Diodenlasern, deren fokussierte Strahlen in verschiedenen Konfigurationen (z. B. einer Linie) in der Bearbeitungsebene angeordnet werden können. Darüber hinaus verfügt er über ein lokales Schutzgasführungssystem zur Gewährleistung eines gleichbleibenden Schutzgasstroms an der Bearbeitungsstelle über beliebig große Bauräume. Wesentlicher Forschungsinhalt ist derzeit die Untersuchung der mit diesem Konzept erzielbaren Bauteilqualität.

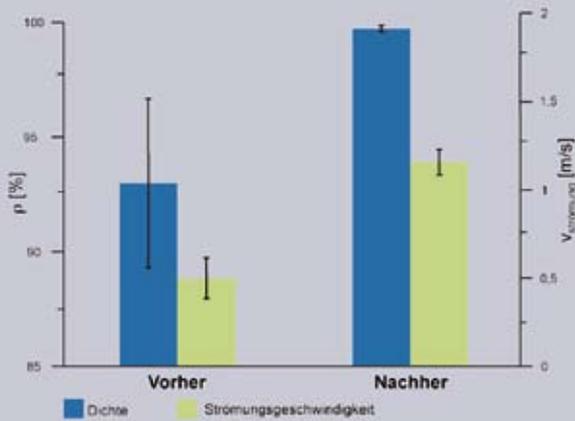
Anwendungsfelder

Mit dem neuen Belichtungs- und Anlagenkonzept lassen sich flexibel skalierbare SLM-Systeme zur Herstellung von Metallbauteilen realisieren, deren Einsatzgebiete vom Prototypenbau in der Vorentwicklung bis hin zur industriellen Serienproduktion reichen.

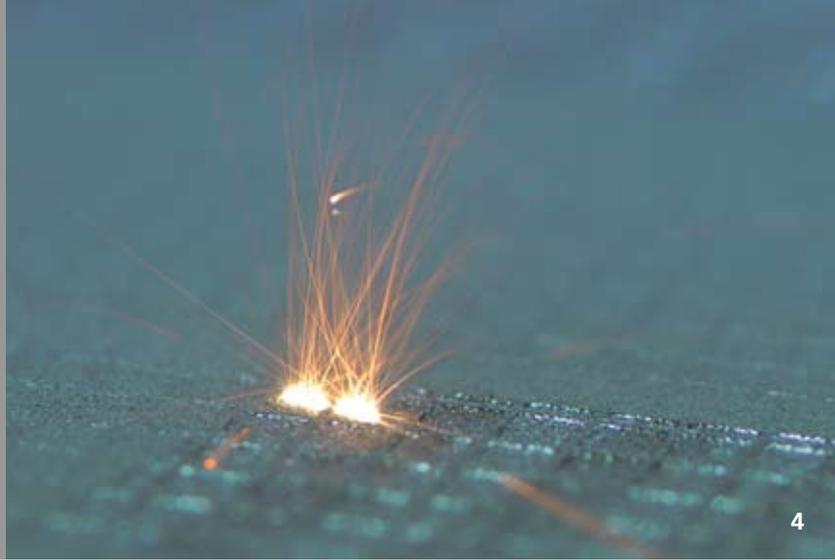
Ansprechpartner

M.Sc. Florian Eibl
Telefon +49 241 8906-193
florian.eibl@ilt.fraunhofer.de

Dr. Wilhelm Meiners
Telefon +49 241 8906-301
wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de



3



4

UNTERSUCHUNG DER SCHUTZGASFÜHRUNG IM SLM-PROZESS

Aufgabenstellung

Ein wichtiges Qualitätsmerkmal von generativ mittels SLM gefertigten Bauteilen ist deren resultierende Dichte. Es hat sich gezeigt, dass nicht nur die Prozessparameter sondern auch die konstruktive Gestaltung der Maschine, wie etwa die Schutzgasströmung über der Baufläche, erheblichen Einfluss auf die Bauteildichte haben. Eine zentrale Aufgabe der Schutzgasströmung ist es, Rauch und Spritzer von der Laser-Werkstoff-Wechselwirkungszone abzuführen. Geschieht dies nur unzureichend, so kann die gewünschte Bauteildichte nicht erreicht werden. Daher soll eine Korrelation der Schutzgasströmung mit der Bauteildichte erarbeitet werden.

Vorgehensweise

Als erster Schritt wird die Schutzgasströmung durch die lokale Strömungsgeschwindigkeit des Schutzgases charakterisiert. Dies geschieht über ein thermisches Anemometer, mit welchem an verschiedenen Messpunkten die Strömungsgeschwindigkeit über der Baufläche vor dem Aufbau der Proben ermittelt wird. Anschließend werden Prüfkörper an diesen Messpunkten aufgebaut und die Korrelation zwischen Bauteildichte und der Strömungsgeschwindigkeit erstellt. Zur Variation des erzeugten Strömungsfelds über der Baufläche werden verschiedene Düsengeometrien des Schutzgasauslasses generativ gefertigt und der Volumenstrom variiert.

Ergebnis

Es konnte gezeigt werden, dass bei sonst gleichen Parametern die lokale Bauteildichte mit der Strömungsgeschwindigkeit der Schutzgasströmung korreliert. Dabei führt eine höhere Strömungsgeschwindigkeit zu einer Steigerung der Bauteildichte und zur Verringerung von lokalen Dichteschwankungen. Erreicht wird dies durch die Anpassung der Düsengeometrie, welche die Steigerung von Schutzgasvolumenstrom und Geschwindigkeit ermöglicht ohne das Pulverbett aufzuwirbeln.

Anwendungsfelder

Die Ergebnisse richten sich an Anlagenhersteller oder Anwender, die ihre SLM-Prozesse weiter optimieren möchten.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Maximilian Schniedenharn
 Telefon +49 241 8906-8111
 maximilian.schniedenharn@ilt.fraunhofer.de

Dr. Wilhelm Meiners
 Telefon +49 241 8906-301
 wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de

3 Korrelation von Dichte und Strömungsgeschwindigkeit.

4 Spritzer im SLM-Prozess.



ANALYSE DER KOSTEN DER SLM-FERTIGUNG

Aufgabenstellung

Den größten Kostenanteil von mittels Selective Laser Melting (SLM) gefertigten Bauteilen stellen die Maschinenkosten dar. Jedoch fehlt ein grundlegendes Verständnis darüber, von welchen Maschinenkomponenten dieser größte Kostenanteil verursacht wird und wie sich unterschiedliche Maschinenkonzepte auf die Bauteilkosten auswirken. Heutige SLM- Maschinenkonzepte unterscheiden sich beispielsweise in der Anzahl und Leistung der verwendeten Laserstrahlquellen und in ihrer Bauraumgröße. Die Einflüsse der SLM-Maschinenteknik auf die Bauteilkosten sollen systematisch untersucht und in einem Modell zur Vorhersage der Kostentreiber SLM-gefertigter Bauteile zusammengefasst werden.

Vorgehensweise

Um sämtliche Kostenarten und -elemente während der Maschinenanschaffung (Maschinenpreis) und während der Nutzungsphase der Maschine (Energie, Schutzgas, Pulver, Instandhaltung) zu berücksichtigen, wird die Methode der Lebenszykluskostenrechnung gewählt. Hierzu wird zunächst ein Maschinenstrukturmodell entwickelt, in dem die SLM-Maschinenteknik in einzelne kostenverursachende Baugruppen aufgegliedert wird. Anhand eines Referenzprozesses sollen typische SLM-Einsatzszenarien (z. B. Fertigung von kleinen oder großen Bauteilen) abgebildet werden.

Ergebnis

Das Ergebnis ist ein grundlegendes Kostenmodell, welches zur Identifikation der Lebenszykluskosten bestehender SLM-Maschinen und zum Vergleich dieser untereinander eingesetzt werden kann. Die unterschiedlichen Kostenarten können direkt den Baugruppen zugeordnet werden. Somit können bereits während der frühen Entwicklungsphase von SLM-Maschinen die Lebenszykluskosten überprüft und gegebenenfalls Optimierungsmaßnahmen eingeleitet werden. Das Modell erlaubt es, die Kostenentwicklung für generativ gefertigte Bauteile bei Steigerung der Gesamtlaserleistung und durch Parallelisierung des SLM-Prozesses durch Verwendung mehrerer Laserstrahlquellen gegeneinander darzustellen.

Anwendungsfelder

Diese Kostenmethode kann sowohl von Anwendern als auch von Herstellern von SLM-Maschinen genutzt werden, um diese hinsichtlich der verursachten Lebenszykluskosten zu analysieren.

Die Arbeiten wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Johannes Schrage
Telefon +49 241 8906-8062
johannes.schrage@ilt.fraunhofer.de

Dr. Wilhelm Meiners
Telefon +49 241 8906-301
wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de



2

TOPOLOGIEOPTIMIERTER KINEMATIKHEBEL EINES BUSINESS CLASS SITZES

Aufgabenstellung

Anhand eines Kinematikhebels eines Business Class Sitzes von Recaro soll das Potenzial der Symbiose zwischen Additiver Fertigung und Topologieoptimierung dargestellt werden. Im Gegensatz zur subtraktiven Fertigung werden die Fertigungszeit und damit die Prozesskosten der Additiven Fertigung zum großen Teil von dem aufzubauenden Volumen beeinflusst. Die Topologieoptimierung ist ein Verfahren zur belastungsgerechten Auslegung von Bauteilen, so dass kein aus mechanischen Aspekten unnötiges Volumen aufgebaut wird. Die herausragenden geometrischen Möglichkeiten der Additiven Fertigung können zur Fertigung komplexer Optimierungsergebnisse, die konventionell nur schwer oder gar nicht herstellbar sind, eingesetzt werden. Damit bilden die Additive Fertigung und die Topologieoptimierung eine ideale Symbiose, um Bauteile funktionsgerecht und zu vergleichsweise geringen Bauteilkosten für die Additive Fertigung auszulegen.

Vorgehensweise

Konventionell wird der Kinematikhebel mit einer Fräsbearbeitung aus dem Aluminiumwerkstoff 7075 hergestellt. In einer komplexen Bewegung ist der Kinematikhebel ein zentrales Bauteil des Business Class Sitzes beim Einnehmen der Liegeposition. Die bei dieser Bewegung auftretende dynamische Belastung des Bauteils wird für die Topologieoptimierung in fünf Belastungsfälle aufgeteilt, die die Spannungsspitzen zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Bewegung berücksichtigen. Ein sogenannter Optimierungsdummy wird konstruiert, der den maximal zur Verfügung stehenden Bauraum vorgibt.

Dabei ist darauf zu achten, dass ein kollisionsloser Bewegungsablauf gewährleistet ist. Materialdaten, Auflager und unveränderliche Bereiche des Bauteils (bspw. Verbindungsstellen zu anderen Bauteilen) werden in der Optimierungssoftware Abaqus ATOM festgelegt. Als Zielkriterium für die Optimierung wird die maximal mögliche Steifigkeit des Bauteils bei einer vorher definierten Volumenreduzierung eingestellt. Das Optimierungsergebnis wird mittels Meshlab leicht geglättet und in einer abschließenden FEM erneut validiert. Das finale Optimierungsergebnis wird für die generative Fertigung mittels SLM vorbereitet, auf einer EOS M270 mit hergestellt und nachbearbeitet.

Ergebnis

Das finale Optimierungsergebnis weist Spannungsspitzen von ca. 300 MPa auf, die unterhalb der Fließspannung von 410 MPa der Aluminiumlegierung 7075 liegen. Im Vergleich zum für die Fräsbearbeitung optimierten Bauteil ist das SLM-Bauteil ca. 15 Prozent leichter. Da es sich beim Kinematikhebel um ein Luft- und Raumfahrtbauteil handelt, können geringere Betriebskosten über einen geringeren Treibstoffverbrauch erzielt werden.

Anwendungsfelder

Wesentliche Anwendungsfelder sind die Branchen Luft- und Raumfahrt und Automobilbau.

Ansprechpartner

Dipl.-Wirt.Ing. Simon Jens Merkt
Telefon +49 241 8906-658
simon.merkt@ilt.fraunhofer.de

2 *Topologieoptimierter Kinematikhebel eines Business Class Sitzes von Recaro.*



1



2

VERFAHRENTWICKLUNG ZUR REPARATUR EINKRIS- TALLINER TURBINENSCHAU- FELN MITTELS SLM

Aufgabenstellung

Hochdruckturbinenschaufeln (HD-Schaufeln) werden in der Luftfahrtindustrie heutzutage in vielen Fällen als Einkristalle mittels spezieller Feingussverfahren hergestellt. Eine Schädigung im Bereich der Schaufelspitze durch Abbrand, abrasiven Verschleiß oder Rissbildung ist fatal, wenn diese bis in die innere Kavität der Schaufel und die Kühlstruktur reicht. Derartige Schädigungen können mit den aktuell verfügbaren Verfahren nicht repariert werden. Aufgrund der Möglichkeit komplexe Geometrien endkonturnah zu fertigen, wird das generative Fertigungsverfahren Selective Laser Melting (SLM) als mögliches Reparaturverfahren betrachtet.

Vorgehensweise

Die für HD-Schaufeln verwendeten Nickelbasis-Superlegierungen wurden speziell für eine gerichtete (DS) oder einkristalline (SX) Erstarrung entwickelt und sind stark rissanfällig bei der Verarbeitung mittels SLM. Dazu wird in Zusammenarbeit mit der Firma MTU Aero Engines die Verarbeitung der DS-Legierung René 142® auf SX-Substrat aus René N5® mittels SLM bei sehr hohen Vorheiztemperaturen auf einer modifizierten Laboranlage untersucht. Gefertigte Proben werden mittels REM und EBSD hinsichtlich Defektbildung und Kornstruktur untersucht.

1 Zeitstandsprobe (links: René N5 SX, rechts: René 142 SLM).

2 Querschliff von René 142® auf René N5® mit sichtbarer Kornstruktur.

Ergebnis

Bei Vorheiztemperaturen deutlich größer 1000 °C in der Bearbeitungsebene können rissfreie Proben mit kleiner Porosität (< 0,2 Prozent) gefertigt werden. Das Gefüge weist homogen angeordnete und in Aufbaurichtung gerichtet erstarrte Körner auf. Die Orientierung der <001> Kristalllage ist parallel zur Aufbaurichtung und weist nur eine kleine Streuung von max. ca. ± 7° auf. Die Zeitstandsfestigkeit von wärmebehandelten Proben, bestehend zur Hälfte aus René N5® und René 142®, ist bei 980 °C und identischer Prüfspannung größer als die der weit verbreiteten Nickelbasis-Superlegierung MAR-M-247LC® (DS).

Anwendungsfelder

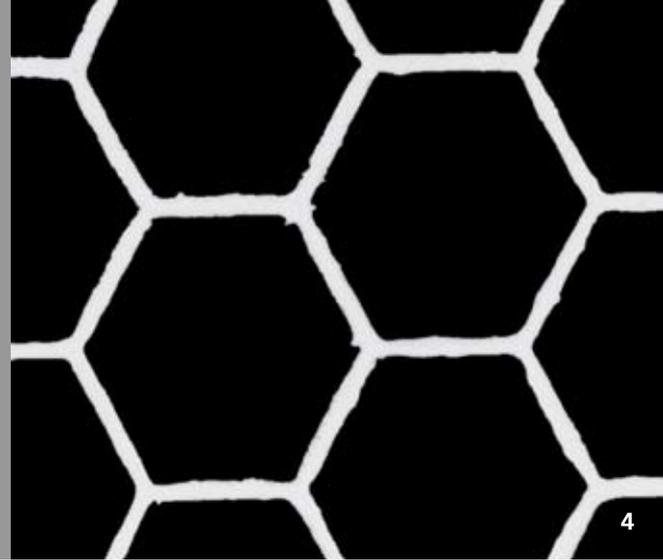
Die Reparatur von Bauteilen mit DS- oder SX-Gefügestruktur ist insbesondere für den Turbomaschinenbau in der Luftfahrt und der Energietechnik von Interesse.

Die dargestellten Ergebnisse wurden mit Mitteln der europäischen Union im 7. Rahmenprogramm gewonnen (Zuwendungsvereinbarung 266271).

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jeroen Risse
Telefon +49 241 8906-135
jeroen.risse@ilt.fraunhofer.de

Dr. Wilhelm Meiners
Telefon +49 241 8906-301
wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de



FERTIGUNG VON TURBINENKOMPONENTEN AUS MAR-M-509®

Aufgabenstellung

Komponenten im Heißgasbereich von Turbomaschinen müssen eine große Hochtemperaturfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Die Kobaltbasis-Superlegierung MAR-M-509® erfüllt diese Anforderungen und wird vorzugsweise für statische Komponenten wie Leitschaufeln in Flugzeugtriebwerken und stationären Gasturbinen eingesetzt. Die derzeit nur gießtechnisch verarbeitete Legierung soll zukünftig auch mittels Selective Laser Melting (SLM) verarbeitet werden können. Ziel ist die monolithische Fertigung von z. B. Schaufeldichtungen mit Honeycomb oder Komponenten mit inneren Kühlstrukturen, beides konventionell derzeit nur eingeschränkt oder gar nicht möglich.

Vorgehensweise

Im Rahmen des BMBF geförderten Projekts »EFCOPOST« wird die Prozessführung zur Fertigung möglichst dünnwandiger und komplexer Strukturen aus MAR-M-509® auf einer kommerziellen SLM-Anlage entwickelt. Darauf aufbauend werden sowohl die Mikrostruktur analysiert (Poren, Risse, Kornstruktur) als auch mechanische Kennwerte im wärmebehandelten Zustand ermittelt (Härte, Zugfestigkeit bei Raumtemperatur und bis zu 900 °C).

Ergebnis

Mit den entwickelten Verfahrensparametern wird, bei Einhaltung bestimmter Toleranzen der chemischen Zusammensetzung des Pulvers, ein rissfreies Gefüge mit einer Dichte > 99,8 Prozent erzielt. Die erzielbare minimale Wandstärke ist abhängig von der Geometrie und deren Orientierung in Relation zur Baurichtung. Im günstigsten Fall wird bei Aufbauwinkeln < 20 ° eine mittlere Wandstärke von < 100 µm erzielt. Aufgrund der schichtweisen Fertigung weist das Gefüge in Aufbau- richtung langgestreckte Körner und eine kristallographische Vorzugsorientierung auf, die zu anisotropen mechanischen Eigenschaften führen. Unabhängig davon ist die Zugfestigkeit, sowohl parallel als auch senkrecht zur Aufbaurichtung, bei Raumtemperatur und Temperaturen bis zu 900 °C deutlich größer als die vom Gusswerkstoff. Im Gegensatz dazu ist das E-Modul im gesamten Temperaturbereich kleiner als das vom Gusswerkstoff.

Anwendungsfelder

Die generative Fertigung von Komponenten aus MAR-M-509® ist in erster Linie für Anwendungen im Turbomaschinenbau von Interesse. Die Legierung kann allerdings auch z. B. in der Ofentechnik und Glasverarbeitung für Hochtemperaturanwendungen eingesetzt werden.

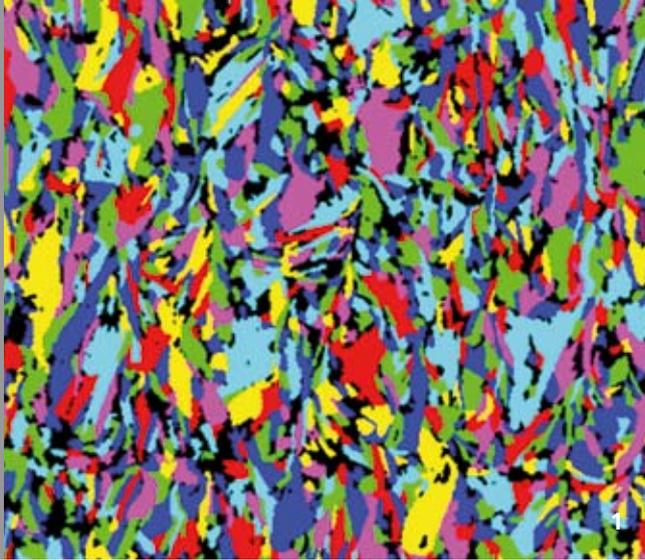
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jeroen Risse
Telefon +49 241 8906-135
jeroen.risse@ilt.fraunhofer.de

Dr. Wilhelm Meiners
Telefon +49 241 8906-301
wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de

3 Mockup einer Laufschaufeldichtung
mit Honeycomb.

4 Honeycomb im Querschliff.



GEFÜGEEIGENSCHAFTEN VON IN718 BEIM HIGH POWER SLM

Aufgabenstellung

Beim generativen Fertigungsverfahren Selective Laser Melting (SLM) besteht ein zunehmendes Interesse seitens der Endanwender, dieses Verfahren für die Serienfertigung mit gesteigerten Stückzahlen zu nutzen. Aus diesem Grund werden in den letzten Jahren zunehmend höhere Laserleistungen ($P_L \leq 1 \text{ kW}$) in kommerziellen SLM-Anlagen genutzt, um die Produktivität des SLM-Prozesses zu vergrößern. Zur Verwendung dieser Laserleistungen ist in Abhängigkeit des zu verarbeitenden Werkstoffs eine Anpassung der Verfahrensparameter (z. B. Laserstrahldurchmesser, Scangeschwindigkeit und Schichtdicke) notwendig, wodurch sich die Abkühl- und Erstarrungsbedingungen im Schmelzbad und dadurch die resultierenden Gefüge- und Werkstoffeigenschaften verändern.

Vorgehensweise

Aus diesem Grund werden im Rahmen des EU-Projekts »AMAZE« grundlegende Untersuchungen zum Einfluss der High-Power-SLM-Prozessführung auf die resultierenden Gefüge- und Werkstoffeigenschaften für den Werkstoff IN718 durchgeführt. Diese Untersuchungen umfassen Analysen der entstehenden Mikrostruktur (bspw. Korngröße bzw. -orientierung) und die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften (bspw. Zugfestigkeit, Bruchdehnung). Zusätzlich wird der Einfluss angepasster Wärmenachbehandlungen auf die Werkstoffeigenschaften untersucht.

1 EBSD-Analyse konv. SLM ($P_L = 300 \text{ W}$ | $d_s \approx 70 \mu\text{m}$).

2 EBSD-Analyse HP-SLM ($P_L \leq 1,5 \text{ kW}$ | $d_s \approx 720 \mu\text{m}$).

Ergebnis

Im ersten Schritt konnte eine Prozessführung für unterschiedliche Laserstrahldurchmesser mit Laserleistungen von $P_L \leq 1,5 \text{ kW}$ für Dichten $\geq 99,5$ Prozent entwickelt werden. Die anschließende Charakterisierung des Gefüges (REM, EBSD) zeigt, dass bei einem Laserstrahldurchmesser von $d_s \approx 70 \mu\text{m}$ ein feines Gefüge (Dendritenarmabstand DAA $\approx 1,6 \mu\text{m}$) entsteht, bei dem das Kornwachstum von Schicht zu Schicht neu initiiert wird (Bild 1). Im Vergleich dazu bilden sich bei einer Laserleistung von $P_L = 1,5 \text{ kW}$ und angepassten Verfahrensparametern Körner aus, die epitaktisch in Aufbau-richtung (DAA $\approx 2,3 \mu\text{m}$) orientiert sind (Bild 2). Ursache für die unterschiedlichen Ausbildungen des Gefüges sind die signifikant unterschiedlichen Erstarrungsgeschwindigkeiten (Konv. SLM: EG $\approx 580 \text{ mm/s}$ | HP-SLM: EG $\approx 60 \text{ mm/s}$). Im nächsten Schritt wird der Einfluss dieser Gefügeeigenschaften auf die mechanischen Eigenschaften ermittelt.

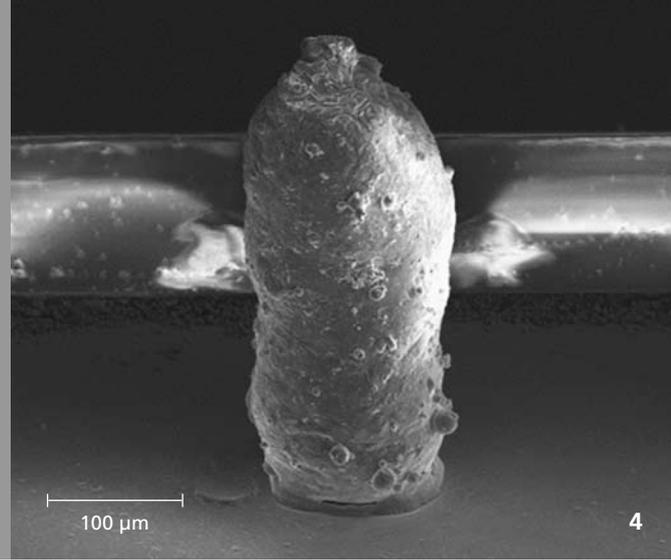
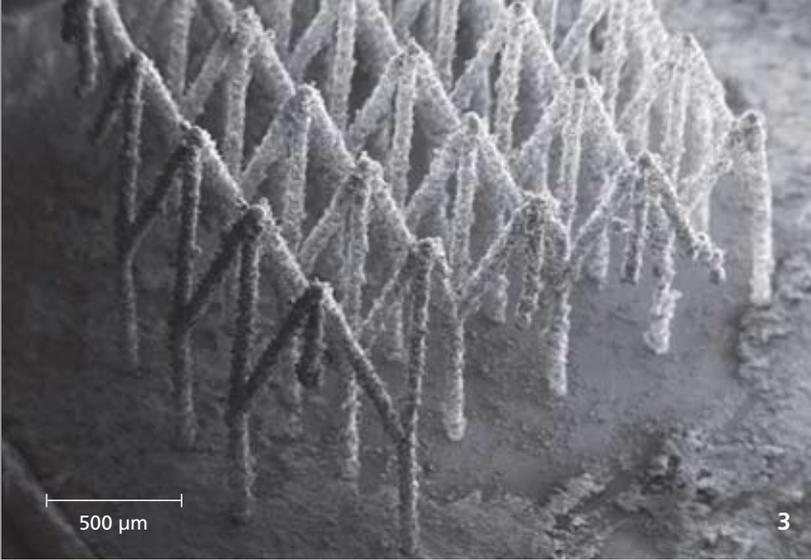
Anwendungsfelder

Die Anwendungsfelder für generativ gefertigte Bauteile aus IN 718 sind zumeist in den Bereichen Luft- und Raumfahrt sowie Energietechnik.

Ansprechpartner

Dipl.-Wirt.Ing. Sebastian Bremen
Telefon +49 241 8906-537
sebastian.bremen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Wilhelm Meiners
Telefon +49 241 8906-301
wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de



ENTWICKLUNG EINER NEUARTIGEN AUFBAU- UND VERBINDUNGSTECHNIK FÜR LEISTUNGSHALBLEITER MITTELS SLM

Aufgabenstellung

Moderne metallisierte Leistungshalbleiter ermöglichen selbst bei hohen Spannungen (Spannungsklasse im Bereich von 3 kV) hohe Schaltfrequenzen (bis zu 100 kHz). Die reduzierte Größe der passiven Komponenten und folglich der Gesamtgröße des leistungselektronischen Systems und die schnellen Schaltzeiten der modernen Geräte verursachen unabhängig von dem Halbleitermaterial, z. B. Si, SiC oder GaN, erhebliche parasitäre Schaltströme, die durch die Kopplungskapazitäten und Streuinduktivitäten der Verbindungsmaterialien zwischen der aufgedampften Metallisierungsschicht und den Kontakt-drähten entstehen. Eine Reduktion dieser Ströme ist notwendig, um eine Erhöhung der Schaltfrequenzen der Leistungshalbleiter zu ermöglichen. Darüber hinaus wird durch den Wärmewiderstand der Verbindungsmaterialien an den Anschlüssen und den daraus resultierenden Verlustleistungen und Temperaturgradienten an den Kontaktflächen die Lebensdauer der Schaltelemente erheblich verringert. Durch Einsatz von SLM können Kontaktstrukturen aus den zur Metallisierungsschicht identischen Materialien direkt auf der Oberfläche der Leistungshalbleiter aufgebaut werden. Dadurch wird der Einsatz von Verbindungsmaterialien vermieden und die parasitären Schaltströme werden reduziert. Die Kontaktstrukturen (ca. 100 µm Durchmesser und 3 - 5 mm Höhe) werden auf einer Aluminium-Metallisierungsschicht der Dicke von ca. 15 µm aufgebaut. Das darunterliegende Si-Substrat darf dabei nicht beschädigt werden.

Vorgehensweise

Zur schädigungsfreien Kontaktierung werden grundlegende Untersuchungen zur Herstellung der Strukturen durch Punktbelichtung von AlSi10Mg Pulver mit einer Korngröße < 25 µm auf einer Aluminium-Metallisierungsschicht durchgeführt. Eine neue Methode des Pulverauftrags zur Verbesserung der Qualität der ersten Pulverschicht wurde entwickelt, da die Qualität des Pulverauftrags auf der Metallisierungsschicht sich als entscheidend für die Anbindung der aufgebauten Kontaktstrukturen ohne Halbleiterschäden erwiesen hat. Dabei wird das Pulver als Suspension auf die Metallisierungsschicht aufgebracht; nach der Verdampfung des flüssigen Anteils entsteht eine hochwertige Pulverschicht. Untersuchungen verschiedener Aufbaustrategien von diversen Kontaktstrukturen wurden durchgeführt.

Ergebnis

Kontaktstrukturen mit einem Durchmesser von 100 - 200 µm, einer Höhe von 3 - 5 mm und einem Abstand von ca. 100 µm konnten aufgebaut werden. Ein funktionierender Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode konnte erfolgreich mit den erzeugten Strukturen kontaktiert werden.

Anwendungsfelder

Die Verbesserung der Schaltzeiten von Halbleiterschaltioden ist ein wichtiges Forschungsfeld in der modernen Elektronik.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Andrei Diatlov
Telefon +49 241 8906-608
andrei.diatlov@ilt.fraunhofer.de

3 Mit SLM hergestellte Kontaktstruktur auf einer Al-Metallisierungsschicht.

4 Ausschnittvergrößerung einer Kontaktstruktur.



1



2

VERGLEICH DER ADDITIVEN VERFAHREN SLM UND LMD

Aufgabenstellung

Das Selective Laser Melting (SLM) und das Laser Metal Deposition (LMD) sind die wichtigsten Verfahren im Bereich der laserbasierten additiven Fertigung von metallischen Werkstoffen. Die beiden Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich ihrer inhärenten Eigenschaften. Diese bedingen Unterschiede in den jeweils erzielbaren Bauteileigenschaften (z. B. Geometrietreue) und haben direkten Einfluss auf eine anwendungsspezifische Verfahrenseignung. Ziel des Verfahrensvergleichs im Rahmen des Fraunhofer-Innovationsclusters AdaM ist es, eine Entscheidungsbasis für eine anwendungsspezifische Verfahrensauswahl zu erarbeiten.

Vorgehensweise

Der Vergleich der Verfahren SLM und LMD erfolgt in drei Kategorien. Diese sind die erzielbaren geometrischen Eigenschaften, die mechanischen Eigenschaften bei statischer Belastung und die Werkstoffgefüge. Als Werkstoff wird Inconel 718 (Kornfraktion 15 - 45 μm) verwendet. Der Vergleich der erzielbaren geometrischen Eigenschaften erfolgt anhand von fünf Testgeometrien (Hohlquader, Hohlzylinder, Vollquader, Vollzylinder und vertikaler Steg). Zu statistischen Zwecken wird jede Testgeometrie viermal pro Verfahren und Parametersatz aufgebaut und sowohl taktil als auch optisch vermessen. Die Bestimmung der erzielten Wandstärken der Testgeometrien erfolgt anhand von Gefügeschliffen.

1 Mittels LMD hergestellte Testgeometrien.

2 Mittels SLM hergestellte Testgeometrien.

Ergebnis

Die Testgeometrien wurden mit beiden Verfahren gefertigt. Für alle Testgeometrien können geringste Formabweichungen ($< 50 \mu\text{m}$) im SLM-Prozess mit einem Strahldurchmesser $d_{\text{Laser}} \approx 100 \mu\text{m}$ erreicht werden. Die geringste Oberflächenrauheit weisen die LMD-Proben bei verwendeten Strahldurchmessern $d_{\text{Laser}} \approx 1300 \mu\text{m}$ und $d_{\text{Laser}} \approx 2000 \mu\text{m}$ auf (R_a ca. $6 \mu\text{m}$).

Anwendungsfelder

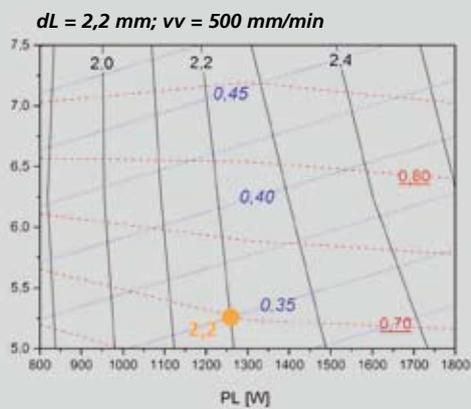
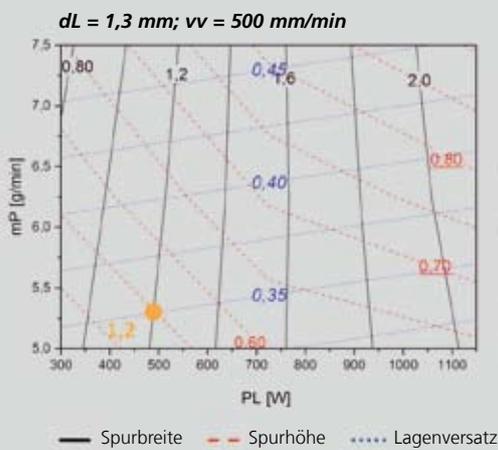
Die aktuellen Untersuchungen für den Werkstoff Inconel 718 sind in erster Linie auf Anwendungen im Turbomaschinenbau ausgerichtet, allerdings können die hier gewonnenen Erkenntnisse (z. B. die Ermittlung der geometrischen Eigenschaften) auch in anderen Branchen genutzt werden.

Der Fraunhofer-Innovationscluster »AdaM« wird gefördert durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) »Investition in Zukunft«.

Ansprechpartner

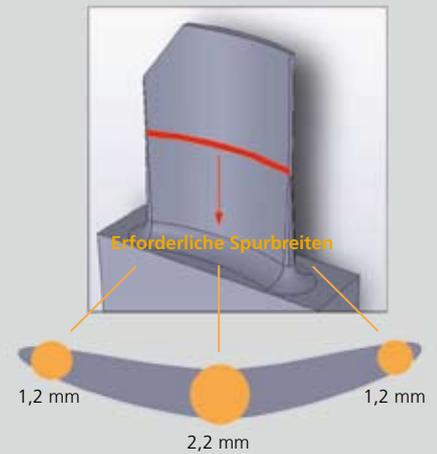
Dipl.-Ing. Moritz Alkhatay
 Telefon +49 241 8906-445
 moritz.alkhatay@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andres Gasser
 Telefon +49 241 8906-209
 andres.gasser@ilt.fraunhofer.de



3

Schaufelmockup



4

ENTWICKLUNG VON PROZESSDIAGRAMMEN FÜR DAS LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Die Entwicklung eines Reparaturprozesses z. B. für Schaufelspitzen von Turbomaschinen durch Laserauftragschweißen (LA) ist abhängig von der Geometrie und der Werkstoffkombination (Substrat und Zusatzwerkstoff). Um den erforderlichen Entwicklungsaufwand zu reduzieren, wird im Rahmen des Fraunhofer-Innovationsclusters AdaM ein »Technologieprozessor« entwickelt. Dieser soll, auf Basis von experimentellen und modelltheoretischen Ergebnissen mittels einer Datenbank und einem Modellierungstool, Startwerte für Verfahrensparameter und Vorschläge für Bearbeitungsstrategien zum LA von Schaufelspitzengeometrien ausgeben. Um die experimentellen Erkenntnisse für den Anwender darzustellen, sollen Prozessdiagramme für das Laserauftragschweißen entwickelt werden.

Vorgehensweise

Mittels statistischer Versuchsplanung wird für den Zusatzwerkstoff Inconel 718 ein Verfahrensparameterfeld für drei Laserstrahldurchmesser dL , drei Vorschubgeschwindigkeiten vv und jeweils drei Laserleistungen PL und Pulvermassenströme mP aufgestellt. Anschließend werden Spuren und Stege mit diesen Parametern aufgeschweißt, metallographisch analysiert und die Spurbreite, Spurbhöhe und der erzielbare Lagenversatz dokumentiert. Die erzielten Geometrien werden in Abhängigkeit der Verfahrensparameter dargestellt (vgl. Bild 3).

Ergebnis

Durch die Prozessdiagramme ist eine Darstellung entwickelt worden, mit der die Verfahrensparameter Laserleistung PL , Strahldurchmesser dL , Pulvermassenstrom mP und Vorschubgeschwindigkeit vv in einer Ebene dargestellt und Schweißergebnisse bzgl. der Geometrie abgelesen werden können. In Bild 4 ist eine Schaufel mit einer Profilbreite von 1,2 - 2,2 mm dargestellt, die im Schaufelspitzenbereich aufgeschweißt werden soll. Aus den Prozessdiagrammen werden für die Spurbreiten 1,2 und 2,2 mm bei einem konstanten Pulvermassenstrom (z. B. $mP = 5,25 \text{ g/min}$) die erforderliche Laserleistung und der erzielbare Lagenversatz (Bild 3: Spurbreite als vertikale, schwarze Linien; Lagenversatz als diagonale blau gepunktete Linie) als Startverfahrensparameter abgelesen. Des Weiteren dienen die ermittelten Versuchsergebnisse als Stützpunkte für weiterführende modelltheoretische Untersuchungen.

Anwendungsfelder

Die entwickelten Prozessdiagramme sind auf viele Reparaturfälle anwendbar. Anwendungsfelder sind insbesondere der Turbomaschinen- und allgemeine Maschinenbau.

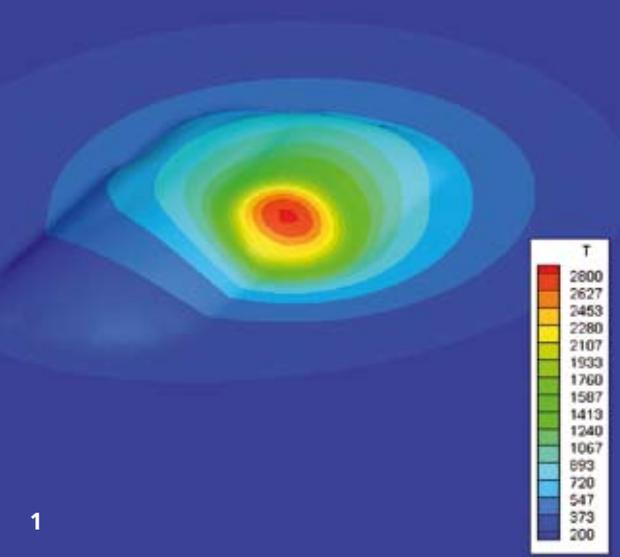
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Marco Göbel
Telefon +49 241 8906-8058
marco.goebel@ilt.fraunhofer.de

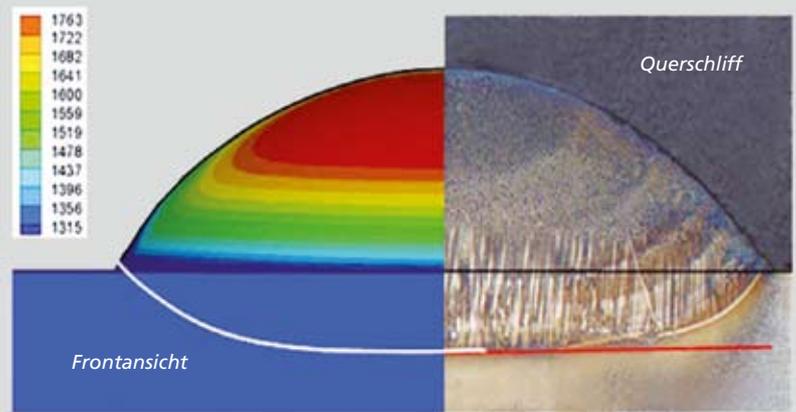
Dr. Andres Gasser
Telefon +49 241 8906-209
andres.gasser@ilt.fraunhofer.de

3 Prozessdiagramme für die Strahldurchmesser dL 1,3 und 2,2 mm für Inconel 718.

4 Schaufel, die im Spitzenbereich aufgeschweißt werden soll. Die Verfahrensparameter ergeben sich aus den Prozessdiagrammen.



1



2

PROZESSSIMULATION ZUM LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Gemäß Stand der Forschung und Technik existiert zzt. kein grundsätzliches methodisches Vorgehen für das pulverbasierte Laserauftragschweissen (LA), die Prozessstrategie und Prozessparameter werkstoff- und bauteilspezifisch so einzuschränken, dass der experimentelle Aufwand signifikant reduziert werden kann.

Deswegen soll ein Simulationstool für das LA erstellt werden. Mit diesem Tool soll der Anwender in der Lage sein, für eine konkrete Aufgabenstellung vorab rechnerisch den Prozess unter verschiedenen Prozessstrategien und Parameter-einstellungen zu simulieren und auf Basis dieser Ergebnisse ein Prozessfenster so einzugrenzen, dass der verbleibende experimentelle Entwicklungsaufwand signifikant reduziert wird.

Vorgehensweise

Das LA stellt mathematisch ein freies Randwertproblem dar, dessen Lösung auf einer Integration der transienten Wärmeleitungsgleichung und der Druckbilanzgleichung unter Berücksichtigung einer Massenbilanz bezüglich der in die Schmelze aufgenommenen Pulverpartikel pro Zeiteinheit basiert. Für das Simulationstool sind zwei Module erstellt worden. Mit dem ersten wird die Wechselwirkung der Partikel mit der Laserstrahlung analysiert und die transmittierte Laserstrahlung und Partikeltemperatur als Input für das zweite Modul

berechnet. Mit dem zweiten Modul werden zeitaufgelöst die Spurgeometrie und die Temperaturverteilung als Funktion der Prozessstrategie und -parameter und der thermophysikalischen Materialeigenschaften berechnet (Bild 1).

Ergebnis

Das Simulationstool ist zzt. in der Validierungsphase und erste Vergleiche zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen experimentellen und modelltheoretischen Ergebnissen (Bild 2).

Anwendungsfelder

Das Simulationstool kann bei Aufgabenstellungen, die eine werkstoff- und bauteilspezifische Adaption der Prozessführung erfordern, eingesetzt werden.

Das Fraunhofer-Innovationsclusters »AdaM« wird gefördert durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) »Investition in Zukunft«.

Ansprechpartner

Dr. Norbert Pirch
Telefon +49 241 8906-636
norbert.pirch@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach
Telefon +49 241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de

1 Spurgeometrie und Temperaturverteilung.

2 Vergleich Experiment – Modellrechnung.



PROZESSÜBERWACHUNG BEIM HARTAUFRAG- SCHWEISSEN VON ROHRINNENFLÄCHEN

Aufgabenstellung

Ein wachsendes Anwendungsfeld der Laserauftragschweißtechnik (Laser Metal Deposition, LMD) ist die Panzerung von stark beanspruchten Innenflächen von z. B. Lagern, Gehäusen oder Zylinderbohrungen. Mit Hilfe einer speziell hierfür entwickelten Innenbeschichtungsoptik wird eine Hartauftrags- und Reparaturtechnologie für Komponenten verfügbar, deren Innenflächen mit Standardköpfen vorher nicht erreichbar waren. Mit der Integration von Sensoren und Systemen zur coaxialen Prozessüberwachung wird der Prozess für den Maschinenbediener online beobachtbar und damit beherrschbarer.

Vorgehensweise

Die Entwicklung und die Auslegung der INCLAD-Optik erfolgen in Abstimmung und Kooperation mit dem Systemlieferanten und dessen industriellem Anwender. Um den Prozess sicher zu transferieren, wird die Systemkonfiguration entsprechend den Anforderungen des industriellen Anwenders konzeptioniert und betrieben. Die technologische Reife (Technology Readiness Level, TRL) und der Fertigungs-Akzeptanztest werden sowohl beim Lieferanten als auch beim industriellen Anwender durchgeführt.

Ergebnis

Bisher werden die Arbeiten zur Konzepterprobung mit einer Innenbeschichtungsoptik mit einer Länge von 800 mm durchgeführt. Daran ist ein Hochleistungslaser mit einer Nennleistung von 4 kW und mit einer Emissionswellenlänge von 1085 nm über eine Lichtleitfaser angeschlossen. Ein dichroitischer Umlenkspiegel zwischen Kollimator und INCLAD-Optik ermöglicht die coaxiale Messung des vom Prozess emittierten Temperaturstrahlungsflusses als auch die Prozessvisualisierung mittels CMOS-Kamera.

Anwendungsfelder

Mit dem LMD-Prozess lassen sich vorteilhaft teurere Komponenten reparieren, deren Oberflächen nur eingeschränkt zugänglich sind und die hohe Anforderungen bezüglich Beanspruchung und Korrosion erfüllen müssen, wie z. B. Bohrwerkzeuge in der Öl- und Gas-Industrie, Extrudergehäuse oder Gleitlager in Werkzeugmaschinen.

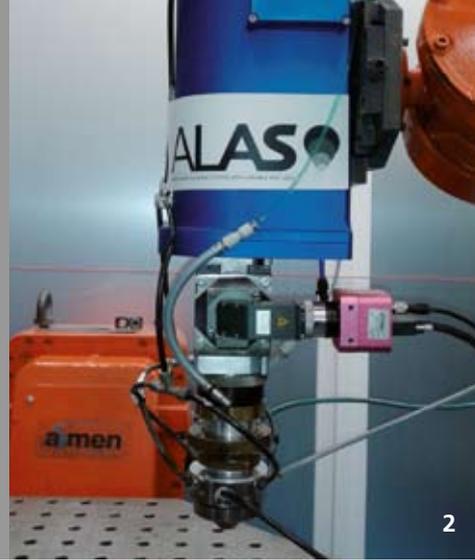
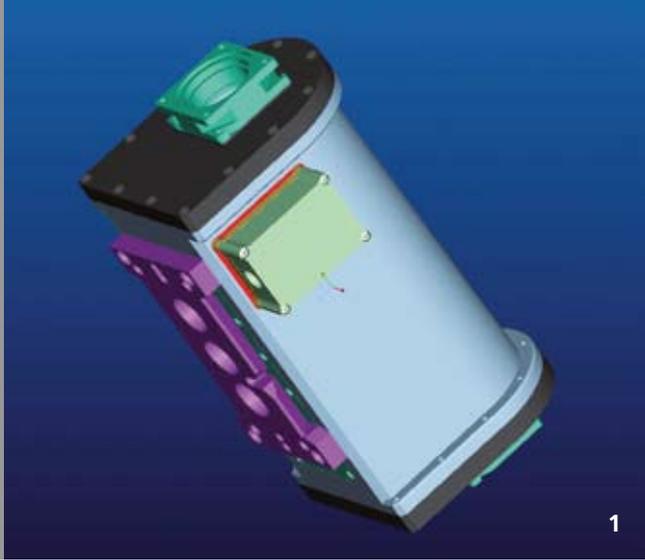
Die Arbeiten im Projekt LASHARE-INCLAD werden mit Mitteln aus dem Programm HORIZON 2020 der Europäischen Union gefördert.

Ansprechpartner

Dr. Alexander Drenker
Telefon +49 241 8906-223
alexander.drenker@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon +49 241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

*3 INCLAD-Optik für die Innenbeschichtung
von Bohrungen mit einer Tiefe von bis zu 800 mm.*



MODULARE ZOOMOPTIK

Aufgabenstellung

Das Laserstrahlauftragschweißen hat sich als Verfahren zur Funktionalisierung von Oberflächen, zur Reparatur und Modifikation von Bauteilen sowie zur Herstellung von Neuteilen (Generieren) etabliert. Die wichtigsten Anwendungsgebiete umfassen den Maschinen-, Werkzeug-, Triebwerks- und Motorenbau. Beim Auftragschweißen wird durch das Aufschmelzen der Werkstückoberfläche und die Zufuhr von geschmolzenem Metallpulver ein Materialauftrag erzielt. Eine Variation der Spurbreite während der Bearbeitung erlaubt den Aufbau auch komplexer Geometrien in einer Spur.

Vorgehensweise

Für die kontrollierte Einstellung der Spurbreite und damit der Aufbaurate wurde eine modulare Zoomoptik entwickelt. Über motorisch gesteuerte Linsen wird eine stufenlose Aufweitung der Laserstrahlung ermöglicht. Gleichzeitig erlaubt die optische Auslegung den Erhalt der Strahlparameter über den gesamten Vergrößerungsbereich. Dadurch können auch »Top-Hat«-Verteilungen der Laserleistung bei der Anpassung an die aufzubauende Stegbreite genutzt werden. Im Vergleich zu einer Strahlaufweitung durch Verschiebung der Fokusslage relativ zum Werkstück kann hierdurch ein gezielter und definierter Energieeintrag und damit auch ein definiertes Aufschmelzen und Auftragen erreicht werden. Vorteilhaft ist die einfache Adaption verschiedenster Komponenten wie Kollimation, Strahlteiler und Fokussieroptiken an die modulare Zoomoptik.

1 CAD-Ansicht des Zoommoduls.

2 ALAS-Prototyp.

Ergebnis

Mit der modularen Zoomoptik kann mit vorhandenen Strahlführungskomponenten ein Bearbeitungskopf für das Auftragschweißen mit Laserstrahlung leicht aufgebaut werden, der damit eine gesteuerte oder geregelte dynamische Anpassung der Spurbreite während der Bearbeitung erlaubt.

Anwendungsfelder

Zu den Anwendungsgebieten zählen alle Aktivitäten im Bereich Auftragschweißen mit Laserstrahlung, bei denen eine Anpassung der Spurbreite von Vorteil ist.

Die Forschungsergebnisse wurden von der EU im 7. Rahmenprogramm über die REA (Research Executive Agency) unter dem Förderbescheid FP7-SME-2012-315614-ALAS gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Stefan Mann
 Telefon +49 241 8906-321
 stefan.mann@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels
 Telefon +49 241 8906-428
 peter.abels@ilt.fraunhofer.de



3



4

DREISTRAHL-PULVERZUFUHR-DÜSEN MIT VERBESSERTER PERFORMANCE

Aufgabenstellung

Ein wichtiges Ziel beim Laserauftragschweißen ist die Erhöhung des Pulverwirkungsgrads. Dreistrahl-Pulverdüsen zeichnen sich durch eine hohe Robustheit und 3D-Fähigkeit aus. Bisher werden mit diesen Düsen Pulverwirkungsgrade im Bereich von 50 - 70 Prozent bei einem Pulverfokus von ca. 2,5 mm und einer aufgetragenen Spurbreite von 2 mm erzielt. Die Erhöhung des Pulverwirkungsgrads erfordert daher die Entwicklung neuer verbesserter Pulverzufuhrdüsen. Für das Auftragschweißen wird eine Dreistrahl-Pulverdüse entwickelt, die einen kleineren Pulverfokus (< 1,5 mm) erzeugt.

Vorgehensweise

Die Dreistrahldüse erzeugt über drei Pulverkanäle drei einzelne Pulverstrahlen, die unterhalb der Düse zu einem Pulverfokus zusammengeführt werden. Im Rahmen der Weiterentwicklung der Dreistrahl-Pulverdüsen wird der Durchmesser der Pulverbohrungen zwischen 0,5 mm und 2,0 mm variabel gestaltet. Die unterschiedlichen Pulverkanäle werden mittels Einsätzen aus Hartmetall mit verschiedenen Innendurchmessern realisiert. Die Einsätze verringern zum einen den Abrieb der Pulverkanäle durch z. B. abrasive Pulvermaterialien und erhöhen damit die Standfestigkeit der Düse, zum anderen können diese Einsätze ausgetauscht werden (Reparaturfall).

Ergebnis

Es werden Versuche mit verschiedenen Pulverbohrungsdurchmessern durchgeführt und der Pulverfokus fotografisch festgehalten. Der Vergleich mit herkömmlichen Dreistrahl-Pulverdüsen zeigt eine deutliche Verkleinerung des Pulverstrahldurchmessers von 2,5 mm auf < 1,5 mm, eine Vergrößerung der Standzeit der Pulverdüsen und eine Erhöhung des Pulverwirkungsgrads auf über 80 Prozent bei einer Spurbreite von 2 mm.

Anwendungsfelder

Anwendungen sind das Auftragschweißen von Strukturen < 2 mm, die eine 3D-Fähigkeit der Pulverdüse und einen hohen Pulverwirkungsgrad erfordern. Beispiele sind das 3D-Auftragschweißen von stegförmigen Strukturen im Turbomaschinenbau. Das durch die verbesserten Pulverzufuhrdüsen eingesparte Metallpulver hat zusätzlich einen positiven Kosteneffekt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing (FH) Stefan Jung
Telefon +49 241 8906-409
stefan.jung@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andres Gasser
Telefon +49 241 8906-209
andres.gasser@ilt.fraunhofer.de

3 Pulvergasstrahl der Dreistrahl-Pulverdüse mit Einsätzen aus Hartmetall.

4 Dreistrahl-Pulverdüsen mit Einsätzen aus Hartmetall.



ROBOTERBASIERTE SYSTEMTECHNIK ZUM LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Im Rahmen des Fraunhofer-Innovationsclusters AdaM (Adaptive Produktion für Ressourceneffizienz in Energie und Mobilität) werden unterschiedliche Prozessketten für die Instandsetzung von Turbomaschinenkomponenten untersucht. Aufgrund ihrer geringen Anschaffungskosten und der großen Flexibilität kommen immer häufiger roboterbasierte Anlagen zum Einsatz. Im Innovationscluster wird deshalb eine roboterbasierte Anlage, bestehend aus einem 6-Achs-Knickarm-Roboter mit einem Drehkippsmodul, aufgebaut und für die Reparatur von Turbomaschinenanwendungen getestet.

Vorgehensweise

Verschiedene Komponenten (4 kW Laser, 6-Achs-Knickarm-Roboter, Dreh-Kippmodul, Zoomoptik, Pulverförderer) werden in einer flexiblen Roboterzelle zusammengeführt. Mit den Zusatzachsen hat der Roboter somit insgesamt 10 Achsen (6 + 1 Dreh- und 1 Kippachse + 2 Optikachsen), die simultan über die SPS gesteuert werden. An die Zoomoptik ist eine Fraunhofer ILT-Dreistrahl-Düse montiert, mit der auch Schweißungen in Zwangslagen durchgeführt werden können.

Ergebnis

Durch die Verwendung der Zoomoptik lassen sich verschieden große Laserstrahldurchmesser (und damit Spurbreiten) stufenlos von ca. 0,2 bis 2 mm ohne ein manuelles Verstellen der Optikkomponenten realisieren oder auch während des Prozesses verändern. Hiermit können die meisten Reparaturfälle im Turbomaschinenbau abgedeckt werden. In weiteren Untersuchungen werden Probekörper auftragsgeschweißt und eine Fraunhofer ILT-offline-Programmierung implementiert.

Anwendungsfelder

Aufgrund seiner großen Flexibilität ist der Roboter prinzipiell für alle Arten von Reparaturanwendungen in verschiedenen Branchen (z. B. Luftfahrt, Turbomaschinenbau, Werkzeugbau) geeignet. Durch seine größere Bewegungsfreiheit gegenüber kartesischen Anlagen kann er besonders für Anwendungen interessant sein, bei denen die Zugänglichkeit zur Bearbeitungsstelle stark eingeschränkt ist.

Der Fraunhofer-Innovationscluster »AdaM« wird gefördert durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) »Investition in Zukunft«.

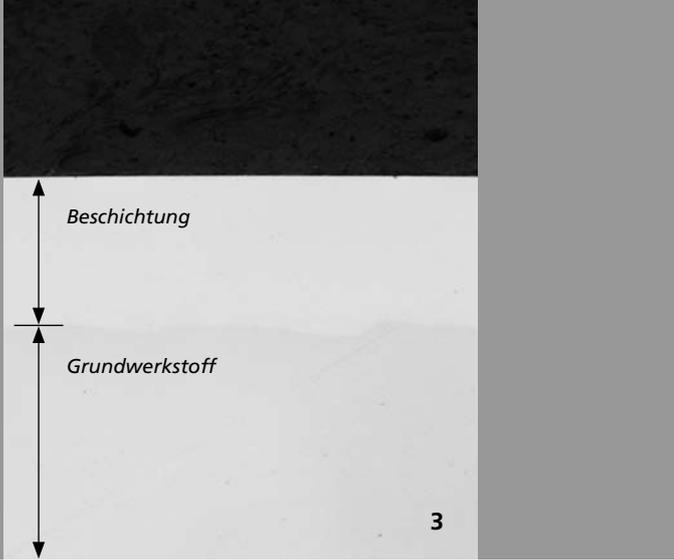
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Patrick Albus
Telefon +49 241 8906-479
patrick.albus@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andres Gasser
Telefon +49 241 8906-209
andres.gasser@ilt.fraunhofer.de

1 Laserauftragschweißprozess mit Roboter
an BLISK-Schaufeln.

2 Laserauftragsgeschweißte Schaufelspitzen.



BESCHICHTEN VON HYDRAULIKZYLINDERN DURCH HOCHGESCHWINDIGKEITSLASERAUFTRAGSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Im Bereich des Verschleiß- und Korrosionsschutzes von hochwertigen Hydraulikzylindern werden derzeit überwiegend elektrochemisch hergestellte Chrombeschichtungen eingesetzt. Aufgrund der Verwendung von umwelt- und gesundheits-schädlichen Substanzen im Produktionsprozess gewinnt unter ökologischen als auch wirtschaftlichen Gesichtspunkten die Erforschung von alternativen Beschichtungsverfahren zunehmend an Bedeutung. Das Laserauftragschweißen (LA) konnte sich für diesen Anwendungsbereich bis dato nur für einzelne Applikationen etablieren. Mit LA können hochqualitative, poren- und rissfreie Schichten mit metallurgischer Anbindung und geringer Aufmischung aus einer großen Werkstoffpalette hergestellt werden, jedoch sind typische Schichtdicken ($> 500 \mu\text{m}$) für den Verschleiß- und Korrosionsschutz häufig zu groß und erzielbare Flächenraten im Bereich von $10 - 40 \text{ cm}^2/\text{min}$ für großflächige Beschichtungen deutlich zu gering.

Vorgehensweise

Vor diesem Hintergrund wird am Fraunhofer ILT das Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (HoLA) als neue Variante des LA im Schichtdickenbereich von $10 - 300 \mu\text{m}$ und Flächenraten $> 50 \text{ cm}^2/\text{min}$ entwickelt. Das Vorgehen besteht darin, eine deutliche Vergrößerung der erzielbaren Prozessgeschwindigkeit beim LA dadurch zu erreichen, dass der pulverförmige Zusatzwerkstoff durch die Laserstrahlung

bereits auf eine Temperatur möglichst nahe der Schmelztemperatur erhitzt wird, bevor dieser in das Schmelzbad geführt wird. Da der Verlust des Wärmestroms durch den Temperaturengleich zwischen Pulverpartikeln und Schmelzbad verringert wird, wird die Zeit zum Aufschmelzen der Pulverpartikel im Schmelzbad gesenkt – dies wiederum verringert die Zeit, die für die Schichtbildung notwendig ist.

Ergebnis

Mit HoLA wurde mit einer Flächenrate von ca. $50 \text{ cm}^2/\text{min}$ erfolgreich eine ca. $150 \mu\text{m}$ dicke, poren- und rissfreie Verschleiß- und Korrosionsschutzschicht (Stellit 6) auf eine Kolbenstange aufgetragen. Die Härte der Beschichtung beträgt etwa $600 \text{ HV}0.3$.

Anwendungsfelder

Im Vordergrund steht die Entwicklung des HoLAs zur Beschichtung von rotationssymmetrischen Bauteilen zum Schutz gegen Korrosion sowie Abrasiv- und Adhäsivverschleiß. Die dafür erforderlichen großen Vorschubgeschwindigkeiten von $10 - 500 \text{ m/min}$ werden durch Rotation der Bauteile realisiert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Thomas Schopphoven
 Telefon +49 241 8906-8107
 thomas.schopphoven@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andres Gasser
 Telefon +49 241 8906-209
 andres.gasser@ilt.fraunhofer.de

- 3 Querschliff einer Beschichtung mit Stellit 6. Schichtdicke ca. $150 \mu\text{m}$.
- 4 Mit Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen beschichtete und nachbearbeitete Kolbenstange.



1



2

LASERAUFTRAGSCHWEISSEN ZUR REPARATUR VON TRIEBWERKSSCHAUFELN AUS TITANALUMINIDEN

Aufgabenstellung

Titanaluminide vereinen geringes Gewicht und große Festigkeit mit hoher Korrosionsbeständigkeit und werden daher zunehmend in der Luftfahrt, speziell für Niederdruckturbinenschaufeln, bei Temperaturen von ca. 700 °C eingesetzt. Das Laserauftragschweißen ist bereits als Reparaturverfahren im Bereich des Triebwerksbaus z. B. für Ni-Basis-Super- und Titanlegierungen etabliert. Eine entsprechende Technologie für die Reparatur von TiAl-Schaufeln (Fertigungsfehler und Verschleiß) existiert bisher nicht. Besondere Herausforderungen beim Auftragschweißen auf und mit TiAl stellen die große Sprödigkeit sowie die große Sauerstoffaffinität dar.

Vorgehensweise

Im Rahmen des LuFo-Projekts »REPTIL« (gefördert durch das BMWi) wird seit Anfang 2014 gemeinsam mit Partnern aus Industrie (Laservorm, Mabotic, TLS) und Forschung (Access) eine vollständige Prozesskette von der Bauteilerfassung über die artgleiche Reparatur mittels Laserauftragschweißen bis zur nachbearbeiteten und einsatzfähigen Turbinenschaufel entwickelt. Am Fraunhofer ILT wird die Prozessführung hinsichtlich Vorheizung (> 750 °C) und geeigneter Schutzgasabschirmung

erarbeitet, um sowohl rissfreie als auch sauerstoffarme Volumina zu erzeugen. Hierfür werden im ersten Schritt geeignete Verfahrensparameter ermittelt. Im Folgenden werden Bearbeitungsstrategien an die geometrischen Gegebenheiten der jeweiligen Reparaturbereiche einer Turbinenschaufel angepasst.

Ergebnis

Erste würfelförmige Probekörper (Kantenlänge ca. 10 mm) aus der TiAl-Legierung GE4822 konnten in einer Ar-Schutzgasatmosphäre bei Vorwärmtemperaturen von 780 °C rissfrei hergestellt werden. Die Bestimmung der Gefügestruktur, die Wärmebehandlung und die Ermittlung mechanischer Eigenschaften sind Gegenstand laufender Untersuchungen.

Anwendungsfelder

Im Vordergrund steht die Entwicklung einer auf eine Vielzahl von Schaufel- und Defekttypen sowie anderer spröder metallischer Werkstoffe übertragbaren Technologie. Das Verfahren ist damit für eine Vielzahl von Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Energieerzeugung interessant.

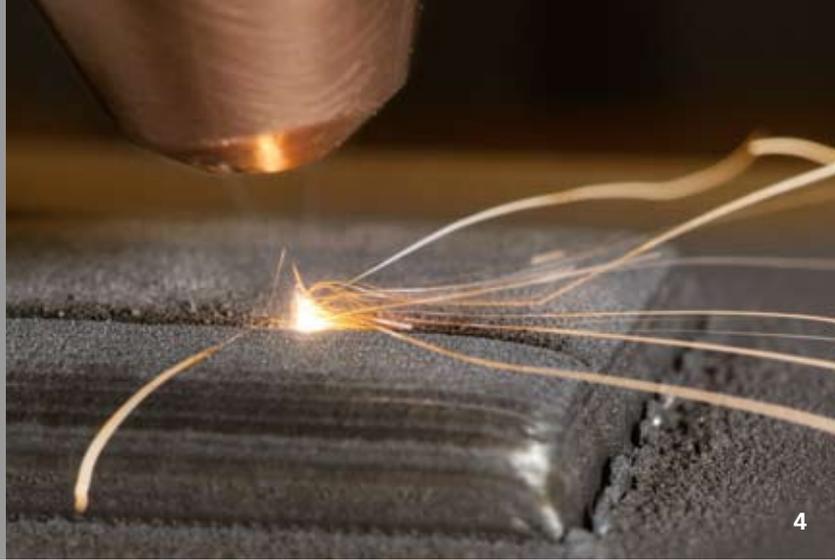
Ansprechpartner

M.Sc. Silja-Katharina Rittinghaus
Telefon +49 241 8906-8138
siljakatharina.rittinghaus@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andreas Weisheit
Telefon +49 241 8906-403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de

1 TiAl-Turbinenschaufel.

2 Laserauftraggeschweißte Probekörper
aus TiAl.



ADDITIVES LASERAUFTRAGS- SCHWEISSEN ZUR 3D-BAUTEILMODIFIKATION IM AUTOMOBILBAU

Aufgabenstellung

Der Einsatz von Aluminium-Schmiedebauteilen ist ein Beitrag zur Gewichtseinsparung in Fahrzeugen. Eine stetige Herausforderung ist hierbei u. a. die Reduzierung des Fertigungsaufwands für möglichst viele Fahrzeugvarianten bei gleichzeitig höchsten Ansprüchen an die Betriebsfestigkeit der Bauteile. Alternativ zur kostenintensiven Neufertigung von Bauteilvarianten wurde in Zusammenarbeit mit der BMW Group das additive Laserauftragschweißen zur Modifikation von Funktionsprototypen und Kleinserien untersucht. Ziel ist, mit minimalem Material- und Fertigungsaufwand Eigenschaften zu verändern.

Vorgehensweise

Zunächst wurden Verfahrensparameter des Laserauftragschweißens von 3D-Oberflächen eines Fahrwerksbauteils aus Aluminium erarbeitet. Im zweiten Schritt wurde das Bauteil optisch gescannt, ein Oberflächenmodell erstellt und unter Verwendung der ILT-eigenen Software LMDCAM eine konturangepasste Aufbaustrategie entworfen, welche im letzten Schritt auf Original-Fahrwerksbauteile der BMW Group angewendet wurde.

Ergebnis

Mit einer für die Geometrie angepassten Strategie konnten sowohl flächige als auch stegartige Volumina mit einer metallurgischen Verbindung zum Bauteil präzise mit einem Aufmaß der Größenordnung 0,3 - 0,5 mm appliziert werden. Durch erfolgreiche Verknüpfung der Schritte Oberflächenerfassung, Bahnerzeugung und Laserauftragschweißen konnte zudem das Potenzial zur Automatisierbarkeit des Verfahrens auch bei komplexer Aufgabenstellung demonstriert werden.

Anwendungsfelder

Neben der additiven Modifikation von Aluminiumbauteilen ist das Verfahren für zahlreiche weitere metallische Werkstoffe und 3D-Oberflächen vielfältiger Geometrien adaptierbar. Zielgerichtete Funktionsintegration von mechanischen und Oberflächeneigenschaften machen den Einsatz insbesondere für die Bauteilmodifikation von Prototypen und Kleinserien attraktiv.

Mit freundlicher Genehmigung der BMW Group.

Ansprechpartner

M.Sc. Silja-Katharina Rittinghaus
Telefon +49 241 8906-8138
siljakatharina.rittinghaus@ilt.fraunhofer.de

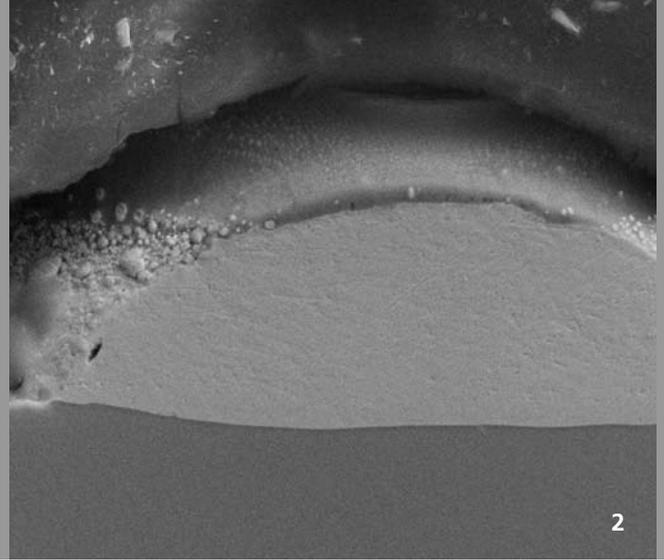
Dr. Andreas Weisheit
Telefon +49 241 8906-403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de

3 Aluminium-Schmiedebauteil.

4 LMD-Prozess.



1



2

MIKRO-LASERAUFTRAG- SCHWEISSEN MIT GOLDPASTEN

Aufgabenstellung

In der Elektronikindustrie ist die zunehmende Funktionsintegration und die damit einhergehende Variantenvielfalt der Baugruppen ein treibender Faktor, welcher die Entwicklung von ortsselektiven und flexiblen Beschichtungsverfahren vorantreibt. Leitfähige Kontaktschichten aus z. B. Gold und Silber werden überwiegend mittels flächiger Beschichtungsverfahren wie z. B. Galvanik aufgebracht. Durch pulverbasiertes Mikro-Laserauftragschweißen von einzelnen Edelmetallkontaktpunkten kann die gleiche Funktionalität bei jedoch signifikant geringerem Materialverbrauch erreicht werden. Eine Variante dieses Verfahrens ist das Drucken einer Paste mit hohem Edelmetallgehalt > 70 Prozent und anschließender Funktionalisierung durch Laserstrahlung.

Vorgehensweise

Mittels eines Dispensers wird die Paste berührungslos auf das Substrat appliziert. Der mittlere Durchmesser der dispensten Spots beträgt ca. 700 µm bei einer Dicke von ca. 40 µm. Wesentlich für die anschließende Laserbearbeitung ist die vollständige Trocknung der Paste, um eine schlagartige Verdampfung der Lösungsmittel beim Umschmelzen zu vermeiden. Anschließend schmilzt die Laserstrahlung sowohl die Metallpartikel als auch eine Randschicht des Substratmaterials auf.

Ergebnis

Sowohl die Trocknung als auch die Funktionalisierung können mit derselben Strahlquelle durchgeführt werden. Die besten Ergebnisse bei beiden Schritten werden mit gepulster Laserstrahlung erzielt. Innerhalb von 50 ms wird die Goldpaste vollständig aufgeschmolzen und ist metallurgisch an das Substrat angebunden. Die aufgeschweißten Goldkontaktpunkte weisen ein homogenes Gefüge ohne Poren auf. Die Aufmischung mit dem Grundsubstrat ist gering (Au: 95 - 97 Gew.-%), so dass die Kontakteigenschaften des Goldes weitgehend erhalten bleiben. Durch die Kombination von Drucktechniken und Laserbehandlung kann somit eine ortsselektive und ressourceneffiziente Kontaktierung realisiert werden.

Anwendungsfelder

Mikro-Laserauftragschweißen mit Goldpasten kann überall eingesetzt werden, wo selektiv die hervorragenden elektrischen Eigenschaften von Edelmetallen benötigt werden, aber eine herkömmliche großflächige Beschichtung nicht wirtschaftlich ist. Anwendungsfelder sind zu finden in der Elektronik, der Brennstoffzellenfertigung aber auch bei Heizleitern.

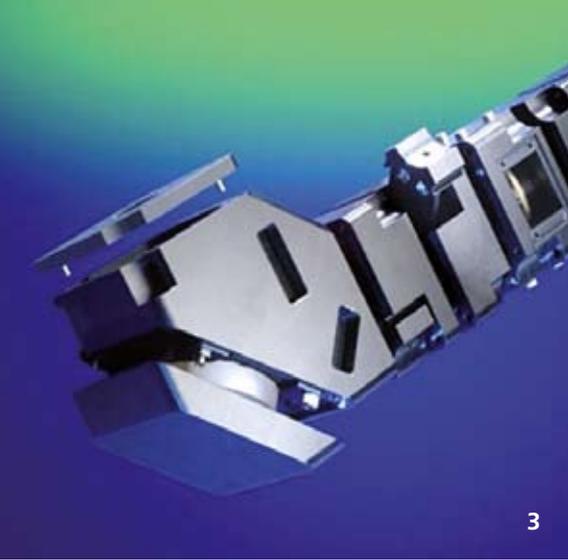
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Matthias Belting
Telefon +49 241 8906-624
matthias.belting@ilt.fraunhofer.de

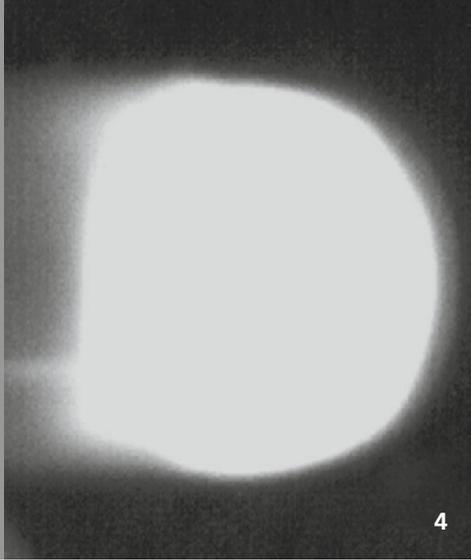
Dr. Andreas Weisheit
Telefon +49 241 8906-403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de

1 Kontaktloses Dispensieren von Goldpaste.

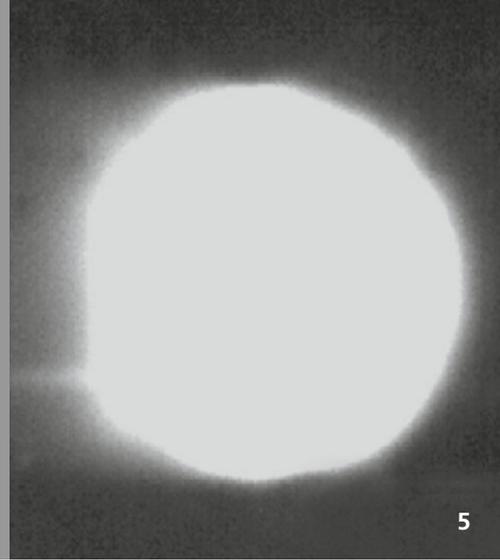
2 REM-Aufnahme: Querschliff eines Goldkontaktpunkts.



3



4



5

KORRELATION ZWISCHEN SCHMELZBADGEOMETRIE UND VERFAHRENSPARAMETERN BEIM LASER-AUFTRAGSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Die Qualität von generativ hergestellten Bauteilen und Beschichtungen mit dem Laserauftragschweißen (LA) ist stark von der Prozessstabilität abhängig. Moderne Hochleistungswerkstoffe z. B. der Luftfahrt/Raumfahrt und des Werkzeugbaus lassen sich zumeist nur in einem kleinen Prozessfenster defektfrei herstellen, wodurch bereits kleine Abweichungen das Prozessergebnis empfindlich stören. Um Schwankungen im Prozess, welche z. B. durch die Bauteilgeometrie oder Aufheizung während des Prozesses bedingt sind, durch Anpassung der Verfahrensparameter zu minimieren, ist die Kenntnis deren Korrelationen zur Schmelzbadgeometrie notwendig.

Vorgehensweise

Für die Beobachtung des Schmelzbads während des Prozesses wird ein in die Anlage koaxial integriertes Kamerasystem mit einer Bildfrequenz bis 1000 Hz eingesetzt. Die Einflüsse der wesentlichen Verfahrensparameter Laserleistung, Vorschubgeschwindigkeit und Pulvermassenstrom auf die Schmelzbadgeometrie werden systematisch analysiert. Zusätzlich werden Auswirkungen weiterer Einflussgrößen wie die Aufheizung eines Bauteils, z. B. durch Wärmestau beim Aufbau dünnwandiger Strukturen, auf das Schmelzbadverhalten untersucht.

Ergebnis

Anhand der ermittelten Korrelationen zwischen Verfahrensparametern und Schmelzbadgeometrie lassen sich dünnwandige Strukturen mit einer konstanten Schmelzbadgeometrie herstellen (vgl. Bild 4 und 5). Hierfür wird eine Anpassung der Verfahrensparameter in Abhängigkeit von der gemessenen Schmelzbadgeometrie während des Prozesses ggf. sogar innerhalb einer Schicht durchgeführt.

Anwendungsfelder

Die gewonnenen Erkenntnisse tragen zur Verbesserung der Bauteilqualität und der Prozesssicherheit in allen Bereichen der generativen Fertigung und Beschichtung von Bauteilen mit LA bei. Insbesondere die Verarbeitung von Werkstoffen, welche hohe Anforderungen hinsichtlich konstanter Prozessbedingungen stellen, wie z. B. in der Luft- und Raumfahrt und im Werkzeugbau, kann hierdurch signifikant verbessert werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Sörn Ocylok
Telefon +49 241 8906-567
soern.ocylok@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andreas Weisheit
Telefon +49 241 8906-403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de

- 3 Koaxiales Prozessbeobachtungssystem.
- 4 Schmelzbadgeometrie ohne Parameteranpassung beim LA von Steggeometrien.
- 5 Schmelzbadgeometrie mit Parameteranpassung beim LA von Steggeometrien.



VERBESSERUNG DER KALTUMFORMUNG VON ZE-GÜTEN DURCH LOKALE LASERWÄRMEBEHANDLUNG

Aufgabenstellung

Die Diskussionen über Klimaschutz und gesetzliche Forderungen nach CO₂-Reduzierungen forcieren den Leichtbau in vielen Anwendungsbereichen. Beim Kaltband geht die Tendenz zu immer dünneren Blechdicken und damit zwangsläufig zu höchstfesten Werkstoffen, die aber dennoch komplexe Umformoperationen zulassen sollen. Die Firma BILSTEIN hat hierfür mikrolegierte ZE-Güten entwickelt, die eine Streckgrenze bis 1200 MPa erreichen, dadurch aber verminderte Umformgrade bei der Weiterverarbeitung zulassen. Im Rahmen des BMBF-Projekts »KLASSE« wird die lokale Wärmebehandlung mit Laserstrahlung untersucht, die lokal die Kaltumformbarkeit der ZE-Güten signifikant verbessern soll. Das Ziel ist, mittels Laserwärmebehandlung die hochfesten Stahlplatinen in umformkritischen Bereichen durch thermisch induzierte Gefügeumwandlung (z. B. Rekristallisation) lokal zu entfestigen. Hierdurch wird die Duktilität gesteigert und damit werden hohe Umformgrade ohne Rissbildung möglich.

1 *Biegeversuche ohne (links) und mit lokaler Entfestigung (rechts).*

2 *Kragenziehversuche ohne (oben) und mit lokaler Entfestigung (unten).*

Vorgehensweise

Kaltverfestigte Platinen werden mit Laserstrahlung lokal wärmebehandelt. Die Wärmebehandlung erfolgt temperaturgeregelt mit einem fasergekoppelten 12 kW Diodenlaser und einem rechteckigen Strahl mit Top-Hat ähnlicher Leistungs-dichteverteilung.

Ergebnis

Im wärmebehandelten Bereich wird das kaltverfestigte Gefüge rekristallisiert. Bei einem ZE 1100 wird dadurch die Bruchdehnung A80 etwa um das Zwei- bis Dreifache gesteigert bei gleichzeitig abnehmender Festigkeit. Die Umformbarkeit wurde in Kragenzieh- und Biegetests untersucht. Bei kaltverfestigten Platinen wird nur eine Kragenhöhe h von 4,55 mm bis zum ersten Anriss erreicht. Bei einem entfestigten Bereich von 15 x 15 mm² steigt die Kragenhöhe um 36 Prozent und bei einem entfestigten Bereich von 20 x 20 mm² um 43 Prozent. Durch die lokale Entfestigung steigt in einem einfachen Biegeversuch der Biegewinkel von 30° auf 127° bevor erste Risse auftreten.

Anwendungsfelder

Hauptanwendungsfeld ist die Automobilindustrie (Karosserie, Fahrwerk), aber auch Applikationen z. B. in der Möbelindustrie (Schienen und Profile mit engen Biegeradien) sind von Interesse.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Sabrina Vogt
Telefon +49 241 8906-633
sabrina.vogt@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andreas Weisheit
Telefon +49 241 8906-403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de



LASERBASIERTE HERSTELLUNG POLYMERER KORROSIONS- SCHUTZSCHICHTEN

Aufgabenstellung

Nachhaltigen Anti-Korrosionsstrategien fällt aufgrund des weltweit steigenden Energie- und Materialverbrauchs eine wachsende Bedeutung zu. Insbesondere im Bereich der alternativen Energieerzeugung erfordert eine erfolgreiche und wirtschaftliche Umsetzung bestehender Konzepte oftmals die Erschließung von Einsatzbereichen, die durch sehr starke korrosive Belastung geprägt sind. Die Verwendung von hochtemperaturbeständigen, thermoplastischen Kunststoffen wie Polyetheretherketon (PEEK) als Beschichtungswerkstoff stellt dabei eine vielversprechende Alternative zu konventionellen Korrosionsschutzschichten dar. Eine besondere Herausforderung ergibt sich durch die Verwendung von anlassemempfindlichen Stählen mit Anlasstemperaturen von 180 - 200 °C als Grundmaterial der zu beschichtenden Komponenten.

Vorgehensweise

Die zu beschichtenden Stahlsubstrate werden zunächst mittels gepulster Laserstrahlung vorbehandelt. Die dadurch induzierte Ausbildung einer dünnen Oxidschicht dient der Haftvermittlung zwischen Stahlsubstrat und Polymer. Das PEEK-Pulver (\varnothing 5 - 20 μ m) wird anschließend als Dispersion per Spray- oder Rakelverfahren auf das Substrat aufgetragen und mittels IR-Laserstrahlung über die Schmelztemperatur von 340 °C erhitzt. Im schmelzflüssigen Zustand finden Verdichtung der Schicht sowie Haftvermittlung zum Grundmaterial statt. Durch die im Vergleich zu Ofenverfahren kurzen Wechselwirkungszeiten des Laserverfahrens wird die thermische Belastung des anlassemempfindlichen Grundmaterials reduziert und eine funktionsrelevante Beeinflussung der beschichteten Komponente verhindert.

Ergebnis

Mittels des vorgestellten laserbasierten Verfahrens können haftfeste und dichte PEEK-Schichten auf Stahlsubstraten hergestellt werden. Diese Schichten weisen in Klimawechseltests bereits einen guten Korrosionsschutz auf. Da die Anlasstemperatur im Grundmaterial derzeit noch überschritten wird, stellt die weitere Reduzierung der thermischen Belastung den Schwerpunkt kommender Untersuchungen dar.

Anwendungsfelder

Das Hauptanwendungsfeld für diese Schichten stellen hochpräzise Komponenten in der alternativen Energieerzeugung dar, insbesondere im Bereich solarthermischer Kraftwerke, Offshore-Windenergieanlagen sowie Strömungskraftwerke.

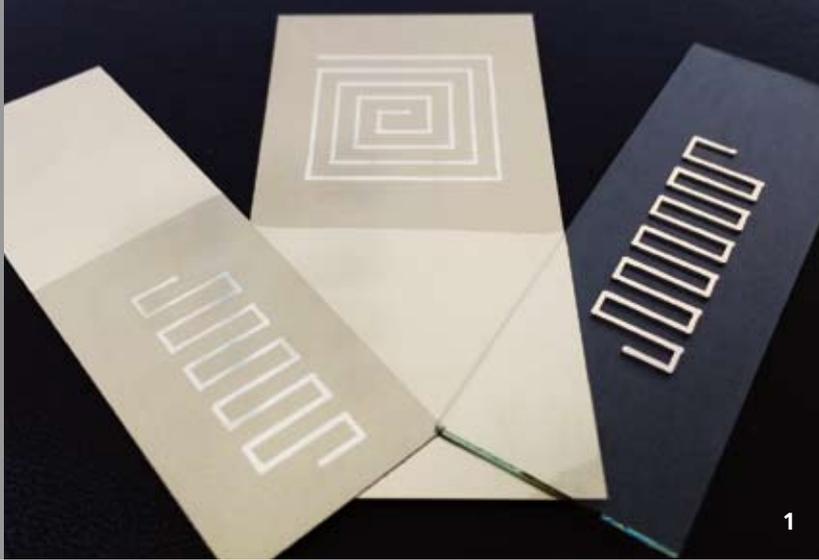
Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben »RESKORR« wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 03X3564F durchgeführt.

Ansprechpartner

M.Sc. Hendrik Sändker
Telefon +49 241 8906-361
hendrik.saendker@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jochen Stollenwerk
Telefon +49 241 8906-411
jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de

- 3 PEEK-beschichtetes Stahlsubstrat, hinten: Ausgangszustand (re) und nach Laservorbehandlung (li), vorne: vor (re) und nach (li) laserbasierter Funktionalisierung.
4 Offshore-Windpark Ostsee, © BWE / C. Hinsch.



MULTIMATERIALSCHICHTEN FÜR ELEKTRONISCHE ANWENDUNGEN

Aufgabenstellung

Moderne elektronische Bauelemente bestehen häufig aus günstigen aber komplexen Multimaterialschichten. Vor allem auf elektrisch leitfähigen Bauteilen sind Isolationsschichten notwendig, um Leiterbahnen oder andere funktionelle Schichten vom Substrat abzuschirmen. Digitale Druckprozesse erlauben es, diese Funktionsschichten flexibel, strukturiert und inlinefähig aufzubringen. Durch die laserbasierte thermische Nachbehandlung der Schichten ist es möglich, diese inlinefähig zu funktionalisieren, d. h. zu trocknen, zu härten, zu sintern oder auch zu kristallisieren. Besonders im Bereich temperaturempfindlicher Komponenten und Substrate bringt die lokale und kurzzeitige Energieeinbringung durch Laserstrahlung große Vorteile.

Vorgehensweise

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts »KombiFun« wird u. a. ein Laserverfahren zur Trocknung und Aushärtung von Sol-Gel basierten Isolationsslacken entwickelt. Die Isolationsschichten werden mittels Laserstrahlung der Wellenlänge 1064 nm aufgeheizt und dabei getrocknet und gehärtet. Weitere Funktionsschichten wie z. B. Silberleiterbahnen können mittels Druckverfahren und anschließender Laserbearbeitung ortsselektiv aufgebracht und funktionalisiert werden.

1 Gedruckte und laserbearbeitete Funktionsschichten:
Isolationsschichten mit Silberleiterbahn auf metallischen Substraten und Glas.

Ergebnis

In enger Zusammenarbeit mit dem Lackhersteller FEW Chemicals sind auf den Laserprozess optimierte, elektrisch isolierende Lacke entwickelt worden. Diese können in kürzester Zeit (< 1 s) mittels Laserstrahlung ausgehärtet werden und erreichen Durchschlagsfestigkeiten von bis zu 1 kV. Leitfähige Beschichtungen der Lacke können in Form von lasergesinterten Silberleiterbahnen, welche auf Nanopartikel-Tinten basieren, hergestellt werden. Dabei können Leitfähigkeiten von bis zu 50 Prozent des Bulkmaterials erzielt werden. Diese Werte erfüllen die Anforderungen vieler Produkte aus dem elektronischen Massenmarkt, wie z. B. Sensoren, Signalleitung oder Individualbeleuchtung.

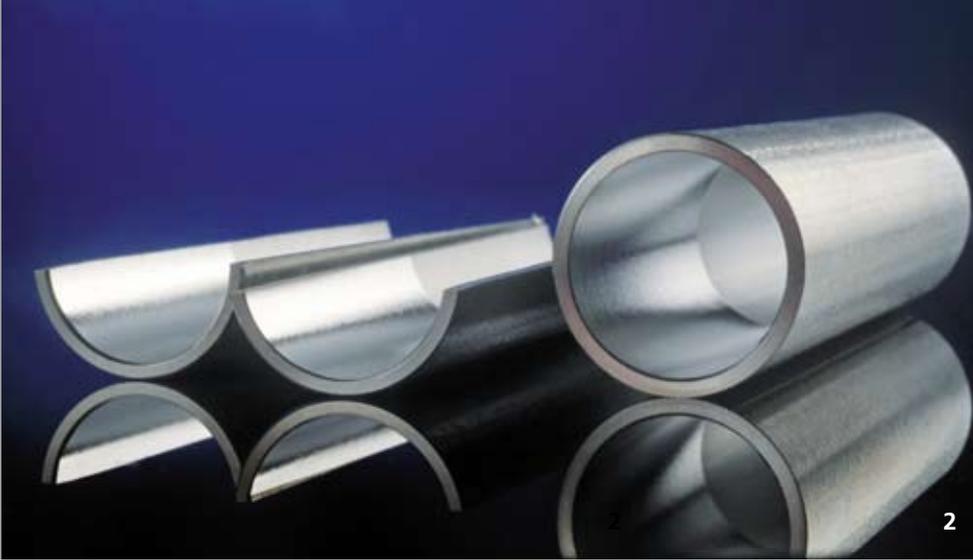
Anwendungsfelder

Zu den Anwendungsfeldern gehören isolierte, flexible und komplexe elektronische Bauteile. Dabei können sowohl metallische Substrate zum Einsatz kommen als auch temperaturempfindliche Kunststoffe oder Baugruppen.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Melanie Meixner
Telefon +49 241 8906-626
melanie.meixner@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jochen Stollenwerk
Telefon +49 241 8906-411
jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de



INNENBEARBEITUNGS- OPTIK (IBO) FÜR DAS LASERPOLIEREN

Aufgabenstellung

Bisher wurde das Polieren mittels Laserstrahlung für 3D-Freifformflächen entwickelt. Das Laserpolieren der inneren Fläche von Bohrungen oder Rohren ist aufgrund der eingeschränkten Zugänglichkeit bei der Verwendung von Scannersystemen limitiert. Das maximal mögliche Verhältnis von Bohrungstiefe zu -durchmesser beträgt ca. 1,5 und ist für viele Anwendungen zu gering. Aus diesem Grund soll eine Bearbeitungsoptik entwickelt werden, welche die Politur von zylindrischen Innenflächen mit höherem Verhältnis von Bohrungstiefe zu -durchmesser erlaubt.

Vorgehensweise

Ziel ist die Entwicklung einer geeigneten Optik für die Laserpolitur der inneren Flächen von Rohren, welche eine maximale Länge von 100 mm und einen Innendurchmesser von 15 - 30 mm aufweisen. Aufgrund der insbesondere beim Polieren mittels gepulster Laserstrahlung verwendeten hohen Scangeschwindigkeiten muss diese Innenbearbeitungsoptik (IBO) für Drehzahlen bis zu 700 1/min geeignet sein. Die Anforderungen sind daher wesentlich höher als an Innenbearbeitungsoptiken für das Laserauftragschweißen, welche bei Drehzahlen bis 5 1/min verwendet werden.

Ergebnis

Die IBO besteht aus einer gelagerten Hohlwelle, welche durch einen Riementrieb angetrieben wird und an deren Ende ein Umlenkspiegel angeordnet ist. In der Welle befindet sich vor

dem Umlenkspiegel eine Fokussierlinse, deren Position durch die Verwendung unterschiedlicher Zwischenringe variiert werden kann, wodurch eine Anpassung der Fokusslage an Rohrrinnendurchmesser von 14 - 30 mm möglich ist, d. h. das Verhältnis von Bohrungstiefe zu -durchmesser kann bis zu 6,7 betragen. Die maximale Drehzahl der Optik beträgt 1000 1/min.

Mit der IBO wurde die Innenfläche des oben dargestellten Rohrs aus Titan Grade 2 (Innendurchmesser 16,5 mm, Länge 80 mm) mit gepulster Laserstrahlung zur Hälfte poliert. Die Bearbeitungszeit beträgt ca. 2 - 3 min (netto) bei einer Drehzahl der IBO von ca. 600 1/min.

Anwendungsfelder

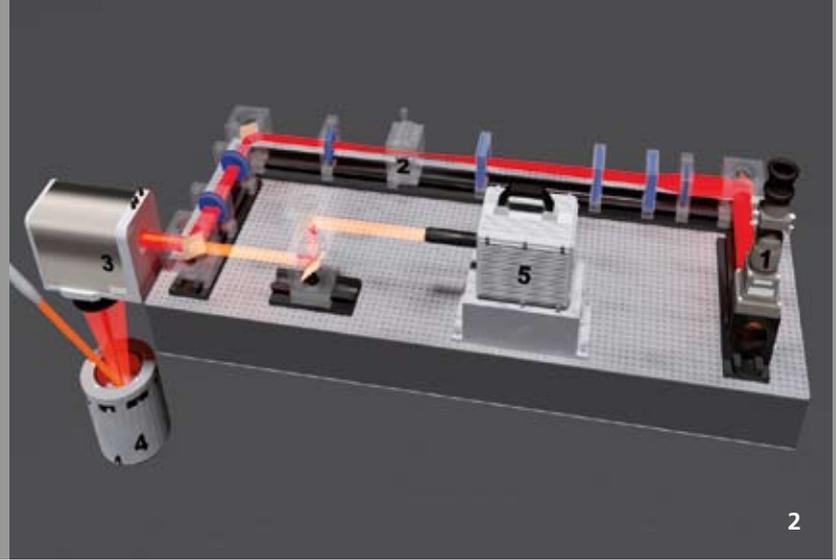
Die Innenbearbeitungsoptik kann für die Laserpolitur von Rohren für verschiedenste Anwendungen verwendet werden. Dies sind beispielsweise blutführende Implantate für die Medizintechnik oder Komponenten für die Automobil- oder die chemische Industrie. Neben dem Einsatz für das Polieren ist die Optik auch für andere Lasermaterialbearbeitungsprozesse geeignet.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Christian Nüsser
Telefon +49 241 8906-669
christian.nuesser@ilt.fraunhofer.de

Dr. Edgar Willenborg
Telefon +49 241 8906-213
edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de

2 Partiiell (vorne) innenpoliertes Rohr aus Titan
Grade 2 mit Innendurchmesser 16,5 mm.



ERHÖHUNG DER FLÄCHEN- RATE BEIM LASERPOLIEREN DURCH VERWENDUNG RÄUMLICH ANGEPASSTER INTENSITÄTSVERTEILUNGEN

Aufgabenstellung

Laserpolieren ist ein innovatives Verfahren zum automatisierten Polieren metallischer Werkstücke. Hierbei wird eine dünne Randschicht umgeschmolzen und die Oberfläche in Folge der Grenzflächenspannung geglättet. Stand der Technik beim Laserpolieren mit kontinuierlicher Laserstrahlung sind kreisförmige, gauß- und top-hat Intensitätsverteilungen. Bei Laserstrahldurchmessern von 150 bis 600 μm liegt der Bahnversatz dy typischerweise zwischen 30 und 75 μm . Teilweise sind mehrere Überfahrten notwendig, um die erforderliche Oberflächenqualität zu erreichen. Daraus resultieren Flächenraten im Bereich von 1 cm^2/min . Im Maschinen- und Anlagenbau ist die Flächenrate des Laserpolierens von 1 cm^2/min allerdings für viele Anwendungen noch zu gering für einen wirtschaftlichen Einsatz. Durch Verwendung einer an den Werkstoff und den Ausgangszustand angepassten Intensitätsverteilung soll die Flächenrate durch Vergrößerung des Bahnversatzes dy gesteigert werden.

1 Lichtmikroskopie einer polierten Oberfläche mit linienförmiger Intensitätsverteilung auf dem Werkstoff 1.4435, $FR = 7,2 \text{ cm}^2/\text{min}$, $Ra = 0,7 \mu\text{m}$.

2 Flexibler Versuchsaufbau (1: Kollimation, 2: flexible Blende, 3: Scanner, 4: Prozesskammer, 5: Hochgeschwindigkeitskamera).

Vorgehensweise

Mit einem Versuchsaufbau, bei dem eine in einem Zwischenfokus positionierte, flexibel einstellbare Blende mit Laserstrahlung homogen ausgeleuchtet und anschließend auf die Werkstückoberfläche abgebildet wird, wird das Laserpolieren mit verschiedenen Intensitätsverteilungen im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts »polieren10X« untersucht. Die Untersuchungen werden an dem rostfreien austenitischen Stahl 1.4435 durchgeführt.

Ergebnis

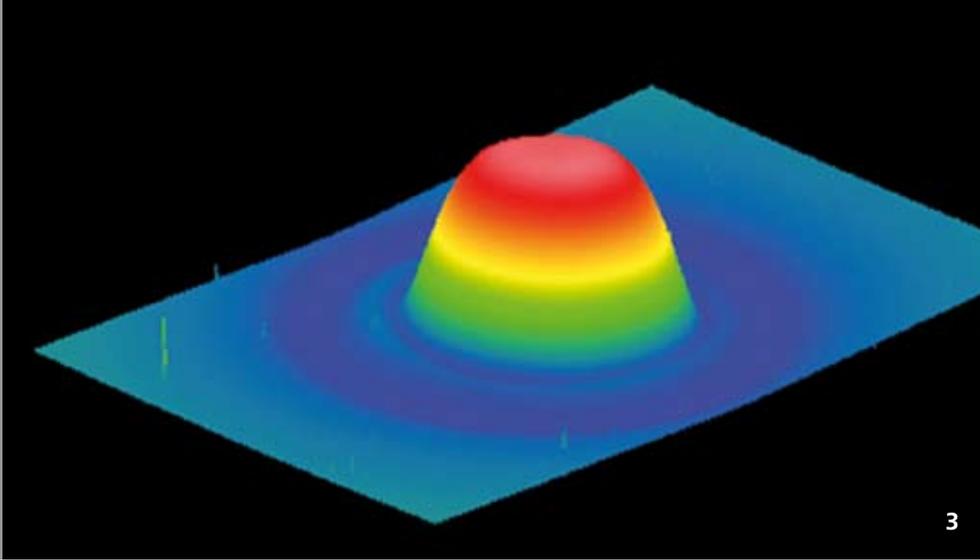
Auf dem Werkstoff 1.4435 kann bei einer gleichbleibenden Oberflächenqualität von $Ra = 0,6 \mu\text{m}$ die Flächenrate von $FR = 1,2 \text{ cm}^2/\text{min}$ bei kreisförmiger Intensitätsverteilung auf $FR = 7,2 \text{ cm}^2/\text{min}$ mit einer linienähnlichen Intensitätsverteilung gesteigert werden. Die Übertragbarkeit auf andere Werkstoffe ist nicht gegeben. Die Intensitätsverteilung zur Flächenratensteigerung muss an den verwendeten Werkstoff angepasst werden.

Anwendungsfelder

Mögliche Anwendungsfelder ergeben sich in Bereichen, in denen metallische Oberflächen mit einer mittleren Qualität ($Ra = 0,1 - 0,8 \mu\text{m}$) poliert werden müssen. Insbesondere im Werkzeug- und Formenbau, aber auch in der Medizintechnik, dem Automobilbau und dem allgemeinen Maschinenbau kann das Laserpolieren mit erhöhter Flächenrate als wirtschaftliches automatisiertes Polierverfahren eingesetzt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Judith Kumstel
Telefon +49 241 8906-8026
judith.kumstel@ilt.fraunhofer.de



MIKROSTÜTZEN FÜR VAKUUMISOLIERVERGLASUNGEN DURCH LASERUMSCHMELZSTRUKTURIERUNG

Aufgabenstellung

Die Vakuumisolierverglasung bietet aufgrund der signifikanten Verringerung der Gesamtfensterdicke neue Möglichkeiten zur energieeffizienten Fassadengestaltung. Insbesondere können Vakuumisolierverglasungen einfachverglaste Fenster in Altbauten ersetzen und somit den Wärmeverlust reduzieren. Die einzelnen Glasscheiben in der Vakuumisolierverglasung werden zurzeit durch metallische Abstandshalter voneinander getrennt. Diese sind jedoch sichtbar und erfordern eine komplexe Montage. Durch Stützen aus Glas, die mittels Laserstrahlung direkt aus der Oberfläche strukturiert werden, sollen die metallischen Abstandshalter ersetzt werden.

Vorgehensweise

Durch die Verwendung von CO₂-Laserstrahlung ist es möglich, die Oberfläche von Floatglas lokal zu erwärmen. Bei ausreichender Wechselwirkungszeit und Intensität wird auf der Oberfläche ein Schmelzbad erzeugt. Durch eine Schmelzbewegung wird das Material so umverteilt, dass aufgrund der schnellen Erstarrung eine Mikrostütze entsteht.

Ergebnis

Auf Floatglas werden mittels Laserumschmelzstrukturieren Mikrostützen mit einer Höhe von bis zu 50 µm und einer Breite von 1 - 2 mm generiert. Durch eine Variation der

Prozessparameter wie z. B. Laserleistung oder Wechselwirkungszeit kann die Höhe und Form der Mikrostützen angepasst werden. Die Prozesszeit beträgt weniger als 500 ms pro Stütze. Die Gesamtprozesszeit mehrerer Stützen wird durch eine Parallelisierung, indem viele Stützen gleichzeitig generiert werden, weiter reduziert. Die derzeitigen Arbeiten konzentrieren sich auf die Reduzierung der Breite der Stützen, um somit auch die Sichtbarkeit weiter zu reduzieren.

Anwendungsfelder

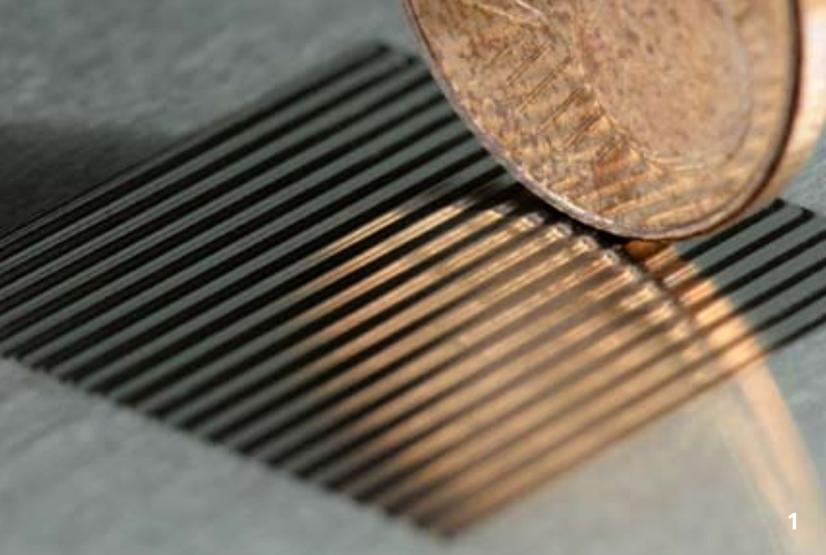
Die Mikrostützen sollen nach der weiteren Reduzierung der Sichtbarkeit auf der Glasoberfläche als Abstandshalter in Vakuumisolierverglasungen verwendet werden und damit die sichtbaren metallischen Stützen ersetzen. Durch eine Integration in den Herstellungsprozess von Floatglas sowie durch den Wegfall der Montage der metallischen Abstandshalter kann der Herstellungsprozess der Vakuumisolierverglasung deutlich verkürzt werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben »ILHVG« wird im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 03V0714 durchgeführt. Die Arbeiten wurden u. a. unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die im Rahmen des EFRE-Programms für Nordrhein-Westfalen im Ziel »Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung« 2007-2013 unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

Ansprechpartner

M.Sc. Christian Weingarten
Telefon +49 241 8906-282
christian.weingarten@ilt.fraunhofer.de

3 Weißlichtinterferometeraufnahme einer Mikrostütze (Höhe: ca. 25 µm, Breite ca. 2 mm).



LASERUMSCHMELZ- STRUKTURIERUNG (LUST) AUF IN 718

Aufgabenstellung

In vielen Bereichen sind Bauteile mit strukturierten Oberflächen heutzutage nicht mehr wegzudenken. Die Nickelbasissuperlegierung IN 718 findet in vielen Branchen ein breites Anwendungsspektrum, insbesondere für Komponenten im Luftfahrt-, Automobil- oder Energieerzeugungsbereich. Derzeit verwendete Strukturierungsverfahren (z. B. Ätzen, Laserabtrag...) sind jedoch oftmals zeit- und/oder kostenintensiv und basieren auf einer Strukturierung durch Materialabtrag. Beide Verfahren erzeugen oftmals raue Oberflächen, die z. B. für strömungsoptimierte Anwendungen im Motoren- oder Triebwerksbereich nur eingeschränkt eingesetzt werden können. Defizite liegen weiterhin häufig in den geringen Abtragraten.

Verfahrensprinzip

Daher wird ein neuartiges Verfahren zur Laserumschmelzstrukturierung (LUST) entwickelt. Dabei schmilzt ein Laserstrahl die Metalloberfläche durch Wärmeeintrag lokal auf. Gleichzeitig wird die Laserleistung mit Frequenzen zwischen 10 Hz - 100 Hz moduliert. Dies führt zu einer kontinuierlichen Veränderung der Schmelzbadgröße, so dass das Material umverteilt wird. Dabei werden Berge und Täler erzeugt, die zur Hälfte oberhalb und zur anderen Hälfte unterhalb ihres Ausgangsniveaus liegen. Die Randschicht erstarrt direkt aus der Schmelze, so dass neben der Strukturierung die Oberfläche gleichzeitig poliert wird. Zur Erweiterung des Spektrums der mittels LUST

bearbeitbaren Materialien (bisher Werkzeugstahl 1.2343 und Titanlegierung Ti6Al4V) werden im Rahmen des von der VW-Stiftung geförderten Projekts »WaveShape« systematische experimentelle Untersuchungen für IN 718 anhand von Einzelspuren durchgeführt.

Ergebnis und Anwendungsfelder

Die Untersuchungen zeigen, dass sich IN 718 grundsätzlich sehr gut zur LUST eignet (Bild 1). Dabei wird anhand von Einzelspuren gezeigt, dass Strukturen mit einer Höhe von mehr als 10 µm durch einen einzigen Bearbeitungsschritt erzeugt werden können. Dies entspricht ungefähr der doppelten Strukturhöhe, die mit vergleichbaren Verfahrensparametern auf dem Werkzeugstahl 1.2343 erzeugt werden kann. Weiterhin zeigen die Untersuchungen, dass die Scangeschwindigkeit bei entsprechender Anpassung der Verfahrensparameter mit 100 mm/s ebenso ungefähr doppelt so groß gewählt werden kann, so dass Bearbeitungszeiten von 1 min/cm² für ca. 200 µm hohe Strukturen ermöglicht werden. Das Verfahren eignet sich dabei zur Erzeugung einer breiten Palette von aperiodischen und periodischen Strukturen (Bild 2). Die strukturierten Oberflächen weisen dabei eine kleine Mikrorauheit ($R_a < 0,1 \mu\text{m}$) auf. Anwendungsfelder für derartige Strukturen liegen u. a. in allen Bereichen, in denen neuartige funktionale, z. B. strömungsoptimierte, Elemente verwendet werden sollen.

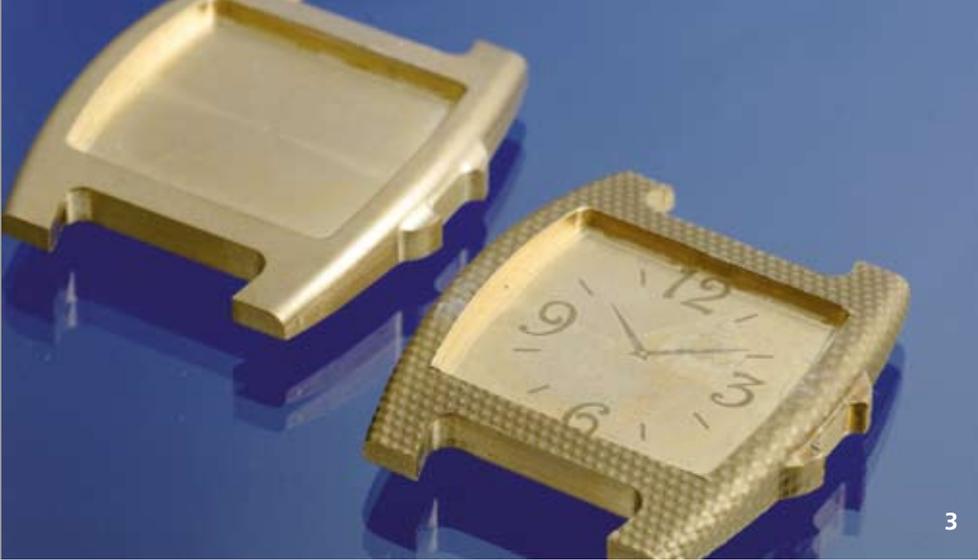
Die Arbeiten wurden u. a. unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die im Rahmen des EFRE-Programms für Nordrhein-Westfalen im Ziel »Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung« 2007-2013 unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

Ansprechpartner

Dr. Dr. André Temmler
Telefon +49 241 8906-299
andre.temmler@ilt.fraunhofer.de

1 Wellenstruktur auf IN 718.

2 Mit Laserumschmelzstrukturierung erzeugte Demostruckturen.



TEXTURIERUNG VON FREIFORMFLÄCHEN MIT ULTRAKURZEN LASERPULSEN

Aufgabenstellung

Designstrukturen auf Bauteilen, wie Armaturenbrettern aber auch Haushaltsgeräten, erfüllen sowohl optische, haptische als auch häufig funktionale Anforderungen. Die Herstellung solcher Mikrostrukturen auf großformatigen Abformwerkzeugen zur Erzeugung dekorativer Oberflächen im Spritzguss und Prägeverfahren basierte lange Zeit im Wesentlichen auf ätztechnischen und mechanischen Verfahren. Seit einiger Zeit sind jedoch Lasermaschinen verfügbar, mit denen Freiformflächen derartiger Werkzeuge übergangslos und großdimensional mit beliebigen Texturen versehen werden können. Die bei diesen Maschinen verwendeten Faserlaser mit Pulslängen im Nanosekundenbereich sind leistungsstark und relativ günstig. Aufgrund dieser Pulslängen ist der Laserabtrag allerdings mit einer Schmelzebildung verbunden und damit bezüglich Auflösung und Qualität limitiert.

Vorgehensweise

Beim Laserabtrag mit ultrakurzen Pulsen (UKP, ps, fs) lassen sich bei Pulsfrequenzen bis zu einigen MHz und Pulsenergien bis $10 \mu\text{J}$ Genauigkeiten im sub- μm Bereich erzielen. Strukturgrößen kleiner $10 \mu\text{m}$ für funktionale Bauteiloberflächen können dabei genauso erzeugt werden wie Designoberflächen mit Strukturen von $50 - 100 \mu\text{m}$.

Die Technologie des ps-Laserabtrags ermöglicht unter Beibehaltung der für den Abtragprozess nötigen Pulsenergie eine Steigerung der Pulsfrequenz bis zu einigen 10 MHz und kann, verbunden mit schnellen Scanstrategien, die Abtragleistung von ns-Lasern erreichen und übertreffen.

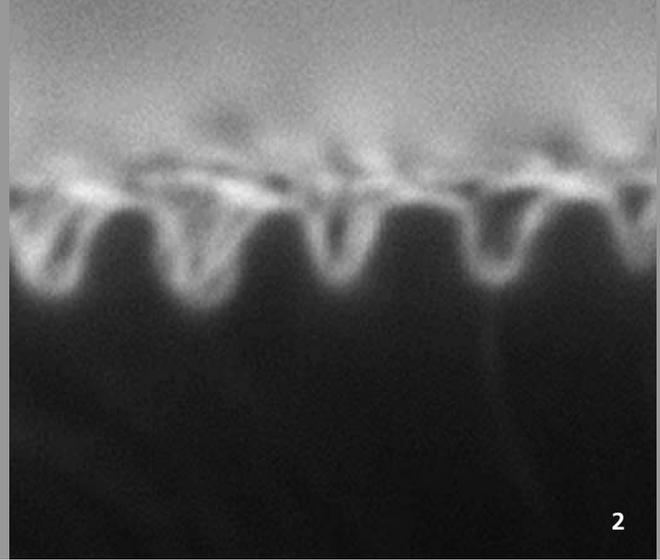
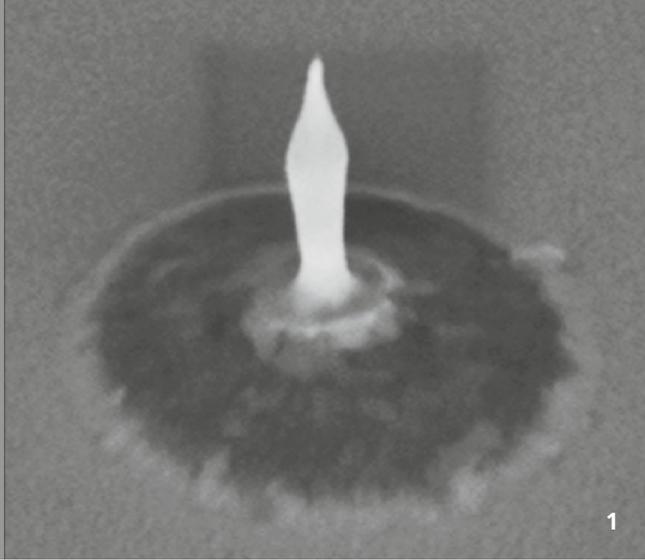
Ergebnis

Die 5-achsige Bearbeitung von Freiformflächen mit ultrakurzen Laserpulsen ist für Bauteile von einigen kg Gewicht seit einiger Zeit realisiert. Für große Bauteile sind die aktuellen Bearbeitungszeiten jedoch zu lang. Gemeinsam mit einem Maschinenhersteller werden daher Lösungen zur Effizienzsteigerung über Multistrahlansätze bzw. ultraschnelle Scantechniken entwickelt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Andreas Dohrn
Telefon +49 241 8906-220
andreas.dohrn@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



LASERINDUZIERTE NANO-STRUKTUREN FÜR NAHFELD-OPTISCHE ANWENDUNGEN

Aufgabenstellung

Zur Detektion von geringsten Konzentrationen von Verbindungen wie Sprengstoffen, Narkotika oder Toxinen kommen zunehmend hochsensitive Spektroskopieverfahren zum Einsatz. Die Sensitivität dieser Verfahren kann durch die Verwendung nahfeldverstärkender Substrate auf einige ppm (parts per million) gesteigert werden. Die verstärkende Wirkung der Substrate wird dabei durch strukturbedingte Feldüberhöhungen geeigneter Mikro- bzw. Nanostrukturen hervorgerufen. Damit die Steigerung der Sensitivität realisiert werden kann, müssen die Eigenresonanzen der Strukturen auf die zu analysierende Verbindung angepasst werden. In einem DFG-Projekt werden die für die Entstehungsdynamik relevanten Wechselwirkungsprozesse eingehend untersucht und damit die reproduzierbare, maßgeschneiderte Herstellung laserinduzierter Nanostrukturen ermöglicht.

Vorgehensweise

Wird eine Golddünnschicht mit einem ultrakurzen Laserpuls bestrahlt, können Goldantennen erzeugen werden (Bild 1). In dem bestrahlten Golddünnschicht wird dabei eine stressbasierte Schmelzbaddynamik induziert, die zu einem Materialaustrieb im Zentrum des bestrahlten Bereichs führt. Aufgrund der großen Abkühlraten des Dünnschicht erstarrt das ausgetriebene

Material in Form eines Jets. Bei der Strukturierung von Halbleitern ermöglicht die große Intensität der verwendeten ultrakurzen Laserpulse die Anregung von elektromagnetischen Oberflächenwellen. Die Interferenz dieser Wellen mit der einfallenden Laserstrahlung führt auf der Oberfläche zu periodischen Riffelstrukturen (Bild 2) mit einer parameter-abhängigen Periode bis in den sub-100 nm-Bereich.

Ergebnis

Auf der Basis der experimentellen Daten werden modelltheoretische Ansätze entwickelt, welche die ursächlichen Prozesse der entsprechenden Formationsdynamiken beschreiben. Die daraus ermittelten Abhängigkeiten der Strukturgrößen von den Prozessparametern erlauben die maßgeschneiderte anwendungsspezifische Herstellung von Nanostrukturen mit einer Präzision im Bereich einiger 10 nm.

Anwendungsfelder

Die nahfeldverstärkende Wirkung der Mikro- bzw. Nanostrukturen wird vermehrt in den analytischen Bereichen der Chemie, der Biologie und der Sicherheitstechnik eingesetzt. Weiterhin können Riffelstrukturen angewendet werden, um die Absorption von Halbleitern in photovoltaischen Anwendungen zu vergrößern.

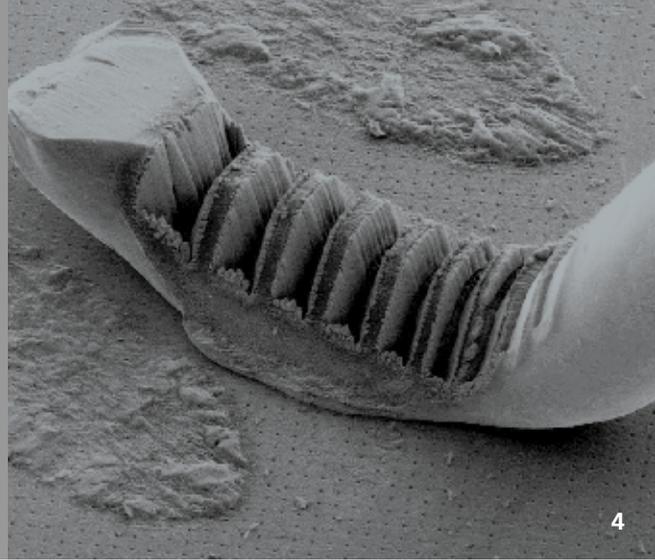
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Martin Reininghaus
Telefon +49 241 8906-627
martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

1 Gold-Nanojet.

2 Querschnitt einer Riffeloberfläche.



LASERSTRUKTURIERUNG VON BONDdraHTVERBINDUNGEN

Aufgabenstellung

Die Fortschritte in der Leistungselektronik und die Erhöhung der Leistungsfähigkeit dieser Bauteile erfordern neue Aufbau- und Verbindungstechniken mit höherer elektrischer und mechanischer Zuverlässigkeit sowie Reproduzierbarkeit. Als etablierte elektrische Verbindungstechnik ist hier das Draht- oder Bändchenbonden zu nennen, das jedoch bei größeren Querschnitten und Anbindungsflächen nicht unerhebliche Kräfte auf die Kontaktflächen ausübt. Für diesen Anwendungsfall soll mittels gezielt eingebrachter Laserschnitte das erreichte Zuverlässigkeitsniveau gesichert bzw. gesteigert werden. Dies geschieht auf der Rückseite der Trägersubstrate (direct copper bond) unmittelbar unter den Leistungsbau-elementen und an den Kontaktierungsstellen der Drähte.

Vorgehensweise

Die einzubringenden Laserstrukturierungen sollen dazu dienen, die thermomechanischen Eigenschaften von Bonddraht und Anbindungsterminal zu verbessern. Das Einbringen von Schnitten behindert dabei den Aufbau von Spannungen durch die thermisch induzierten und nicht zu vermeidenden Dehnungen im Material. Die Schnitte sind dergestalt auszuführen, dass die bearbeitete Struktur bzw. das Bauelement nicht geschwächt oder gar beschädigt wird. Um dies zu gewährleisten, ist die Verwendung von ultrakurzen Laserpulsen im Bereich einiger Pikosekunden unerlässlich.

Ergebnis

Für die Erzeugung spannungsreduzierender Schnitte in Bonddrähten wurden nach dem Bondvorgang Abtragskavitäten mit unterschiedlicher Tiefe und Anordnung in die Drähte eingebracht. Dabei konnte gezeigt werden, dass die elektrische Funktion von Bonddraht und Baugruppe nicht geschädigt wurde. Die Baugruppen wurden anschließend einem Dauertest unterzogen, der eine deutlich verbesserte Zuverlässigkeit der Verbindung ergeben hat.

Anwendungsfelder

Die Durchdringung vieler Branchen mit Leistungselektronik hat gerade erst begonnen und ist im Hinblick auf Steigerung von Effizienz und Zuverlässigkeit noch lange nicht zufriedenstellend vollzogen. Insbesondere die Steigerung der erneuerbaren Energieressourcen erfordert eine Vielzahl von Umrichtern mit hoher Langzeitstabilität. Mit dem gezeigten Verfahren verändert die Laserbearbeitung positiv das Alterungsverhalten der Elektronikbauteile und lässt deren Lebensdauer gezielt steigen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Andreas Dohrn
Telefon +49 241 8906-220
andreas.dohrn@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

- 3 Vergleich einer unbehandelten und einer laserstrukturierten Bondverbindung.
4 REM-Aufnahme eines 0,7 mm dicken Bonddrahts mit lasergenerierten Einschnitten.



STRUKTURIEREN DÜNNER SCHICHTEN IM ROLLE-ZU-ROLLE VERFAHREN

Aufgabenstellung

In der Polymerelektronik werden die Produkte in der Regel im Rolle-zu-Rolle Verfahren hergestellt. Hierdurch können kosteneffiziente Produkte für ein breites Anwendungsfeld angeboten werden, da sowohl preiswerte Substratmaterialien als auch hochproduktive Rolle-zu-Rolle Prozesse zum Einsatz kommen. Allerdings sind die konventionellen Strukturierungsverfahren wie Lithographie nur bedingt auf diese Art der Bauteilfertigung zu übertragen. Der Einsatz von laserbasierten Prozessen ermöglicht nun die Bearbeitung sowohl polymerer als auch anorganischer Funktionsschichten sowie eine signifikante Erhöhung der Auflösung.

Vorgehensweise

Durch den Einsatz hochrepetierender Ultrakurzpuls-Laserstrahlquellen in Kombination mit optischen Systemen zur Strahlführung und Parallelisierung werden leistungsfähige Verfahrenskomponenten in ein Rolle-zu-Rolle Fertigungssystem integriert. Mit angepassten Ablationsstrategien sowie zeitlicher und örtlicher Energiemodulation lassen sich hohe Prozessgeschwindigkeiten und eine selektive Funktionalisierung von dünnen Schichtsystemen erreichen. Die Laserbearbeitungsverfahren werden auf die Inline-Strukturierung von organischen und anorganischen Photoabsorptionsschichten angewendet und für die Rolle-zu-Rolle Produktion qualifiziert.

1 *Inline Strukturierung mit Festoptik und Scaneinheit.*

2 *Rolle-zu-Rolle Bahnverlauf.*

Ergebnis

Für die kontinuierliche laserbasierte Strukturierung von halbleitenden Schichten aus dem Bereich der Dünnschichtphotovoltaik wurde in der Rolle-zu-Rolle Anlage ein Demonstrator umgesetzt. Mittels angepasster optischer Systeme ist das Fertigungssystem in der Lage, eine selektive Materialbearbeitung bei hohen kontinuierlichen Durchsatzraten vorzunehmen. Durch die sensorische Überwachung des zu bearbeitenden Bandmaterials in Verbindung mit dem Einsatz von Galvanometer-scannern ist zudem eine geometrisch flexible Bearbeitung möglich.

Anwendungsfelder

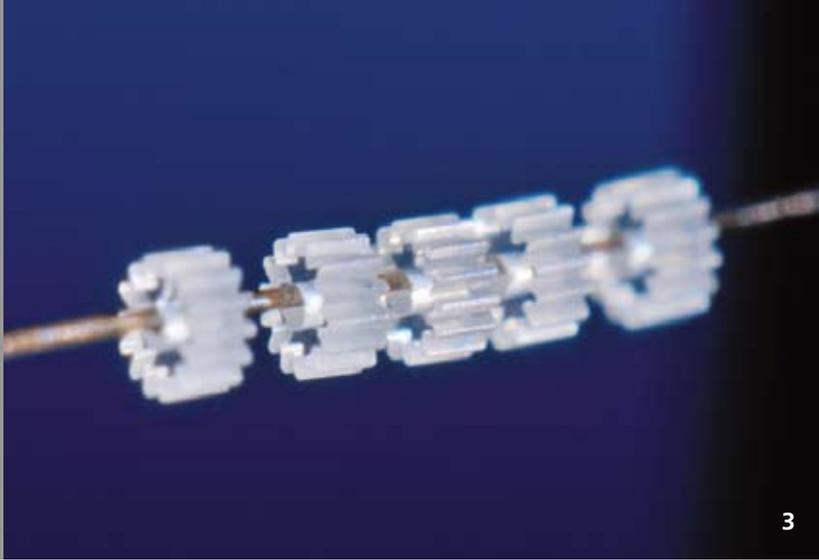
Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Dünnschichtphotovoltaik lassen sich auf die Fertigung von flexiblen OLED-Displays, Solid-State-Batterien, Elektronikschaltungen sowie RFID- und Sensoranwendungen übertragen.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des EFRE-Programms für Nordrhein-Westfalen im Ziel »Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung« 2007-2013 unter dem Förderkennzeichen EN2061 gefördert.

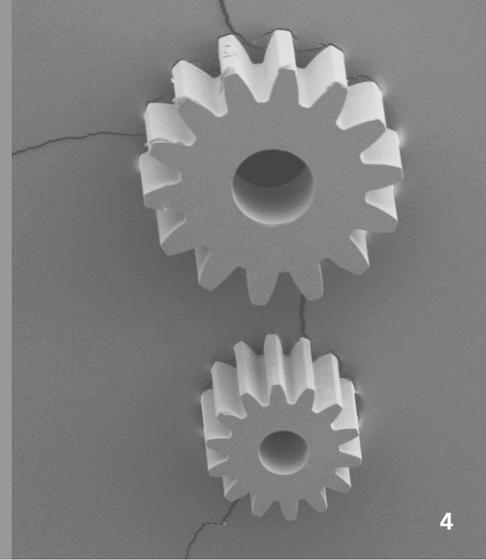
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Christian Hördemann
Telefon +49 241 8906-8013
christian.hoerdemann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-149
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



3



4

SAPHIRBEARBEITUNG DURCH SELECTIVE LASER-INDUCED ETCHING

Aufgabenstellung

Das selektive laserinduzierte Ätzen (Selective Laser-induced Etching SLE) ist ein innovatives laserbasiertes Fertigungsverfahren zur Herstellung von Mikro- und Makrobauteilen sowie kompletten Mikrobaugruppen aus transparenten Materialien. Es erlaubt auch komplexe Bauteile direkt aus den digitalen Daten (CAD) herzustellen und ist somit besonders geeignet für die Fertigung von Kleinserien, Prototypen und Einzelstücken. Im Rahmen eines von der DFG geförderten Projekts wird in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Lasertechnik das SLE-Verfahren zur Bearbeitung von Saphir untersucht. Die hochpräzise Bearbeitung von Saphir und Rubin eröffnet viele neue Einsatzgebiete für diese Materialien u. a. in der Mikrosystemtechnik, Medizintechnik und chemischen Industrie.

Vorgehensweise

Das selektive laserinduzierte Ätzen ist ein zweistufiger Prozess. In einem ersten Schritt wird das für die Laserstrahlung transparente Material im Inneren modifiziert. Dafür wird ultrakurz gepulste Laserstrahlung (500 fs - 5 ps) fokussiert (1 - 2 μm). Durch Bewegen des Fokus wird ein zusammenhängendes Volumen modifiziert, welches Kontakt zur Außenfläche des Werkstücks hat. In einem zweiten Schritt wird das modifizierte Material selektiv durch nasschemisches Ätzen entfernt. Für die digitale photonische Produktion von komplexen Bauteilen werden aus den digitalen CAD-Daten die Bahndaten für den Laserfokus erstellt und mittels CAM-Software das Mikrosystem synchron gesteuert.

Ergebnis und Anwendungsfelder

In Saphir werden Bohrungen, Schnitte oder komplette Bauteile hergestellt. Der Durchmesser der als Beispiel abgebildeten Zahnräder beträgt 300 bzw. 500 μm . Die hergestellten Mikrostrukturen können aufgrund von sehr hoher Härte des Grundmaterials auch als Abformwerkzeuge eingesetzt werden. Das Verfahren zeichnet sich durch sehr kleine Schnittfugenbreiten von $< 5 \mu\text{m}$ aus. Durch den Einsatz eines speziell entwickelten Mikroskanners werden beliebige Formen bis auf 1 μm genau geschnitten. Mikrosystemtechnik, Feinmechanik, Medizin-, Chemie- und Biotechnik sind die Haupteinsatzgebiete für die mikrostrukturierten Bauteile.

Es werden Machbarkeitsstudien für spezifische Formen und Geometrien, Produktion von Mustern und Kleinserien sowie die Weiterentwicklung der Technologie durch Optimierung und Anpassung der Parameter an die Anforderungen der Kunden angeboten.

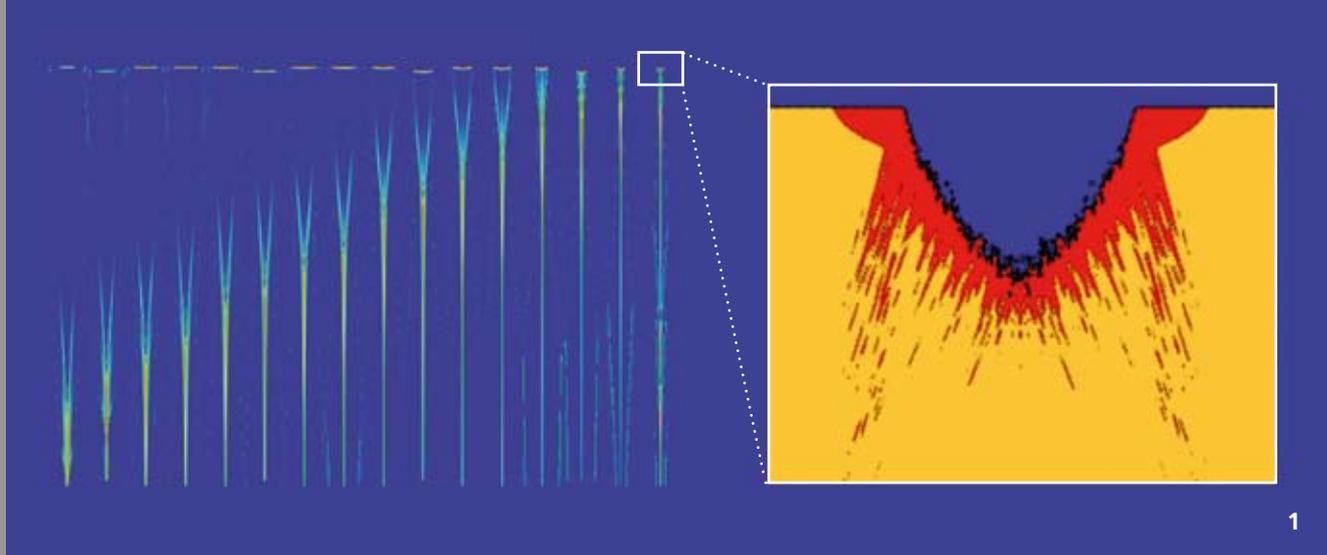
Ansprechpartner

Dr. Jens Gottmann
Telefon +49 241 8906-406
jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

3 Zahnräder ($d = 500 \mu\text{m}$) aus Saphir
auf einem Haar.

4 Zahnräder aus Saphir (500 μm und 300 μm).



1

MODELLIERUNG UND SIMULATION DER ERZEUGUNG OPTISCHER FILAMENTE MIT UKP-LASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

Bei der Bestrahlung (semi-)transparenter Werkstoffe mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung lassen sich Filamentstrukturen (d. h. Modifikationen mit großer Ausdehnung in Propagationsrichtung und stark begrenzter Ausdehnung senkrecht dazu) im Materialvolumen erzeugen. Im Experiment ist der Einfluss von technischen Parametern auf die Entstehung und Ausprägung der optischen Filamente zwar prinzipiell mit entsprechendem Aufwand untersuchbar, die physikalischen Ursachen und Mechanismen bleiben jedoch ohne die unterstützende Erläuterung eines numerischen Modells verborgen. Daher sind mathematisch-physikalische Modelle und deren numerische Implementation (Simulation) essenzielle Werkzeuge, um Anwendern die systematische Erforschung von Filamentstrukturen zu ermöglichen.

Vorgehensweise

Der bereits bestehende Simulationscode zur Beschreibung der nicht-linearen Absorption, Propagation und Ablation wird um den Effekt der Selbstfokussierung erweitert und ermöglicht so die Beschreibung der Filamentbildung wie auch die Untersuchung parametrischer Abhängigkeiten dieser Ausbildung.

Ergebnis

Der erweiterte Simulationscode zeigt sowohl in der Beschreibung des Abtrags dielektrischer Werkstoffe als auch in der Beschreibung von durch optische Filamente hervorgerufenen Modifikationen im Materialvolumen eine hervorragende Übereinstimmung mit experimentellen Befunden. Die neu erworbenen Möglichkeiten wurden bereits dazu eingesetzt, den im Labor experimentell untersuchten Einfluss parametrischer Variationen (z. B. Fokuslagenvariation) auf optische Filamente im Rahmen einer numerischen Berechnung wiederzugeben (siehe Ausschnitt Bild 1).

Anwendungsfelder

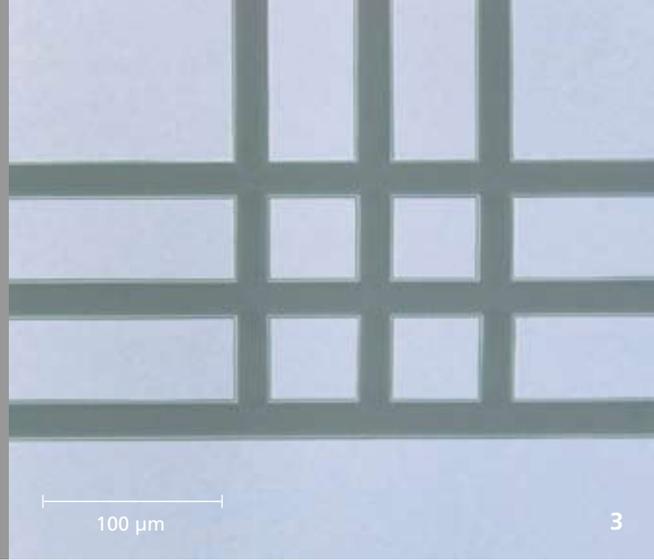
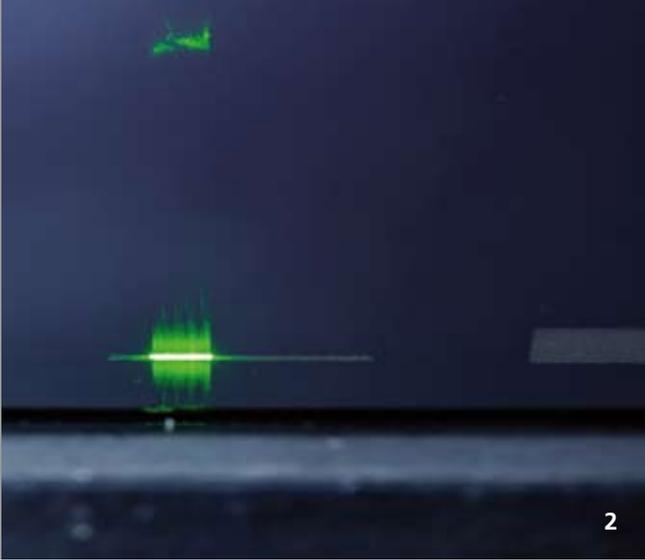
Für die adäquate Nutzung bzw. nutzungsgerechte Beeinflussung der Filamentbildung bei Laserfertigungsverfahren wie dem Filamentschneiden und der In-Volume-Materialmodifikation (z. B. dem Schreiben von Wellenleitern) sind das erstellte numerische Werkzeug und die daraus abgeleiteten Kenntnisse der physikalischen Mechanismen von wesentlicher Bedeutung.

Ansprechpartner

Dipl. Phys. Urs Eppelt
 Telefon +49 241 8906-163
 urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Lisa Bürgermeister
 Telefon +49 241 8906-610
 lisa.buergermeister@ilt.fraunhofer.de

1 Simulierte Filamente und Abtrag unter Variation der Fokuslage (Ausschnitt: vergrößerte Abtragskontur).



LASERABTRAG VON BARRIERESCHICHTEN IN DER OLED-PRODUKTION

Aufgabenstellung

Organische Leuchtdioden (OLED) sind eine Beleuchtungstechnologie mit großem Anwendungspotenzial. Für ihre Herstellung ist die sauerstoff- und wasserdampfdichte Verkapselung der Bauteile von großer Bedeutung, da sie maßgeblich die Lebensdauer der organischen Materialien bestimmt. Die vielversprechendste Lösung ist die sogenannte Dünnschicht-Verkapselung, bei der dünne anorganische Schichten oder organisch-anorganische Schichtstapel die OLED hermetisch versiegeln. Zur nachträglichen Kontaktierung der Elektroden muss diese Verkapselung lokal entfernt werden, wobei die Elektroden nicht beschädigt werden dürfen und die Barrierewirkung erhalten bleiben muss.

Vorgehensweise

Die transparente Verkapselungsschicht besteht aus Siliziumnitrid oder anderen Keramiken mit typischen Schichtdicken von 300 nm bis 1 μm. Im Kontaktierungsbereich liegt direkt unter der Barriere die Elektrode aus einem transparenten, elektrisch leitfähigen Material wie Indium-Zinn-Oxid (ITO). Mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung im Pulsdauerbereich von einigen 100 Femtosekunden bis 10 Pikosekunden wurde der Abtrag der transparenten Barrierschicht untersucht, ohne dass die transparente Elektrode in ihrer Leitfähigkeit beeinträchtigt wird.

2 *Selektiver Abtrag einer Schicht von einem Schichtstapel.*

3 *Multistrahlabtrag von ITO-Schicht auf Glas.*

Ergebnis

Der Schichtwiderstand der Elektrode beträgt typischerweise 10 Ω□. Dieser Wert muss nach dem Abtrag der Barrierschicht erhalten bleiben. Bei der Verwendung von Laserstrahlung mit Pulsdauern von ca. 10 ps und einer Wellenlänge von 532 nm beträgt die Schwellfluenz für einen flächigen Abtrag ca. 0,3 J/cm². Das Prozessfenster, innerhalb dessen die Schicht abgetragen wird und der Schichtwiderstand der Elektrode nicht signifikant ansteigt, ist ca. 0,3 J/cm² groß. Die Flächenrate beträgt 78 cm²/min bei einer mittleren Leistung von weniger als 10 W. Damit ist ein robuster und produktiver Prozess möglich, der im industriellen Umfeld einsetzbar ist.

Anwendungsfelder

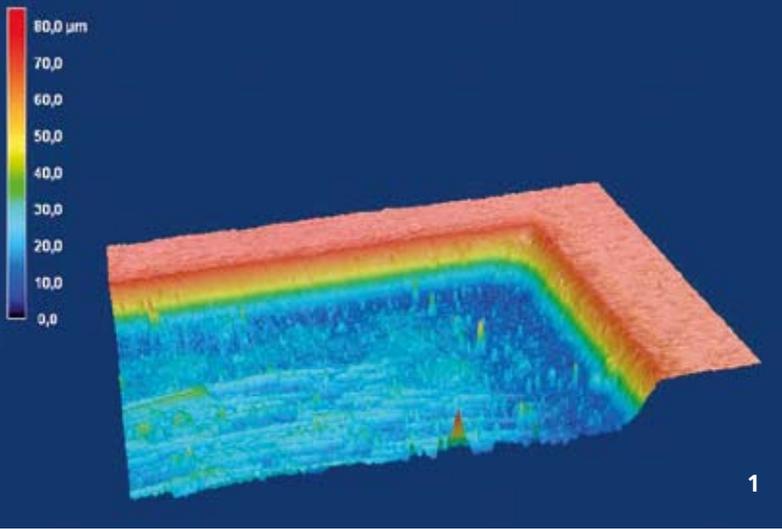
Der selektive Abtrag dünner Schichten von darunterliegenden Schichten ohne funktionale Beschädigung bei hohen Flächenraten ist für viele Anwendungen der Dünnschichttechnik von großer Bedeutung. In der organischen Elektronik und der Dünnschicht-Photovoltaik, aber auch in anderen Feldern, in denen dünne Schichten z. B. für Verschleißschutz verwendet werden, kann der entwickelte Prozess Anwendung finden.

Die dargestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Ziel 2-Verbundprojekts »PROTECT« mit Mitteln des Landes NRW und der EU gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Christian Hördemann
 Telefon +49 241 8906-8013
 christian.hoerdemann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
 Telefon +49 241 8906-149
 arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



PRÄZISER SCHICHTABTRAG DURCH PROZESSANGEPASSTE STRAHLFORMUNG

Aufgabenstellung

Elektronische Systeme sind zunehmend hoch integriert, wobei elektronische Komponenten in Leiterplatten platziert und optoelektronische Bauteile in Hybridschaltkreisen eingesetzt werden. Für diese Integration werden Präzisions-Abtragverfahren metallischer Schichten auf polymeren Bauteilträgern benötigt, wobei die flexible Herstellung von sowohl mikroskaligen Leiterbahnstrukturen als auch 3D-Leiterbahnstrukturen auf Spritzgussbauteilen im Fokus stehen muss. Dabei muss vor allem beim Laserabtrag der thermische Einfluss soweit reduziert werden, dass die Substratschädigung minimiert wird. Die Prozesskontrolle nimmt dabei eine ebenso wichtige Rolle ein, um auch bei variablen Ausgangsbedingungen eine gleichmäßige Qualität zu gewährleisten.

Vorgehensweise

Um diese Ziele zu erreichen, werden unterschiedliche Ansätze zur örtlichen Energiedeposition mittels modulierter Ultrakurzpuls-Laserstrahlung verfolgt. Dabei werden unterschiedliche Strahlgeometrien wie Tophat sowie verschiedene Scanstrategien untersucht. Die Versuche werden zudem bei unterschiedlichen Wellenlängen der Bearbeitungsstrahlung durchgeführt.

1 3D-Darstellung der Abtragsgeometrie.

2 Abgetragene Kupferschicht auf Leiterplatten-Substrat.

Flächiger Abtrag von der Kupferschicht auf GFK.

Ergebnis

Durch eine speziell auf den Prozess angepasste Strahlformung wird ein präziser und selektiver Abtrag mit hoher Homogenität erreicht. Die für das Erreichen der Endgeometrie notwendige Bestimmung der Topologie erfolgt kontaktlos in der gleichen Einspannung mittels eines interferometrischen Distanzmessverfahrens. Ebenso wird die Bearbeitungsstrategie auf die zu bearbeitenden Materialien und Schichtfolgen angepasst. Durch geeignete Wahl der Strahlform und Bearbeitungsstrategie können metallische Schichten selektiv abgetragen werden bei gleichzeitiger Vermeidung einer Schädigung des Substrats.

Anwendungsfelder

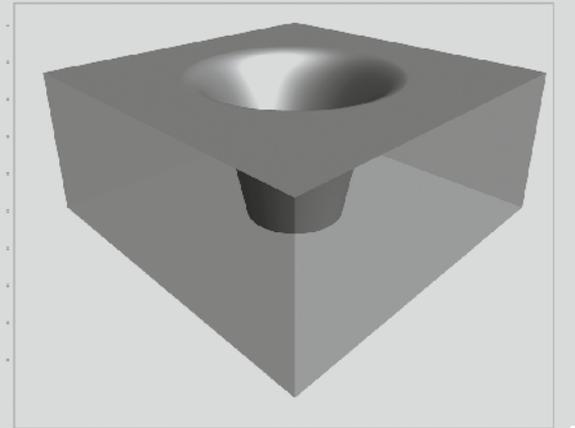
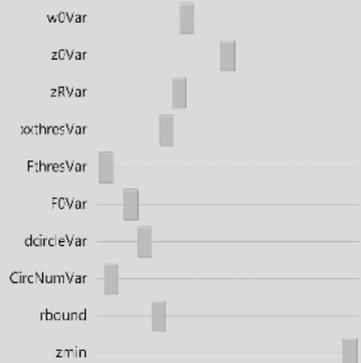
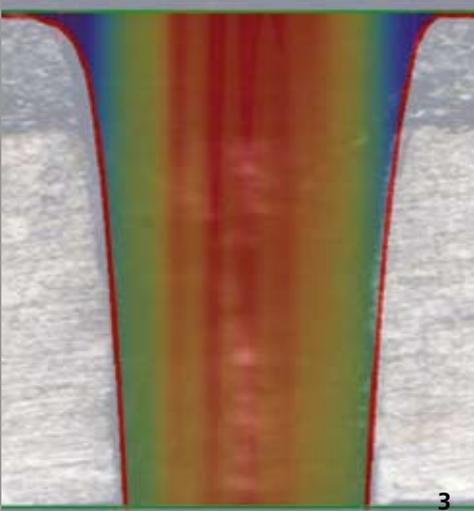
Die Anwendungsfelder liegen insbesondere im Markt für flexible Elektronik-Substrate, hier speziell der Markt für Leiterplattensubstrate, in die LEDs eingebracht werden sollen.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben »MaLDeAn« wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 13N12057 durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Christian Fornaroli
Telefon +49 241 8906-642
christian.fornaroli@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



MODELLIERUNG UND SIMULATION DES BOHRENS MIT LASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

Bei der Erstellung von Bohrungen mittels lang gepulster Laserstrahlung lässt sich feststellen, dass sich die anfänglich ausbildende Abtragsvertiefung im Grenzfall vieler Pulse einer sogenannten asymptotischen Form der Art nähert, dass sich diese auch mit der Bestrahlung durch weitere Pulse nur wenig bis gar nicht mehr verändert. Dieser Befund ist vom UKP-Abtrag dielektrischer und halbleitender Werkstoffe bereits bekannt und durch das Fraunhofer ILT mit dem Unterschreiten einer Strahlintensitätsschwelle erklärt worden.

Vorgehensweise

Das Ziel der Modellierung und Simulation ist die Beschreibung und Vorhersage der sich final d. h. asymptotisch einstellenden Bohrungskontur, also der Bohrungsform, die sich auch durch weitere Bestrahlung nicht mehr verändert. Darüber hinaus besteht die Aufgabe der Modellierung darin, die Ursache bzw. den Mechanismus, der zu einer solchen Asymptotik in der Bohrungsform führt, zu identifizieren und zu erklären. Diese Erklärung ist dem experimentellen Befund alleine durch bloße Anschauung nicht zu entnehmen.

Ergebnis

Die Erklärung für das Zustandekommen einer asymptotischen Bohrungsform wurde erarbeitet, ihr zugrundeliegender Mechanismus numerisch implementiert, erprobt und durch den Vergleich mit experimentellen Befunden (siehe Bild 3) glänzend bestätigt. Ein interaktives numerisches Werkzeug, mit dem sich in Echtzeit die Auswirkungen von Veränderungen in Prozessparametern auf die Bohrungsform veranschaulichen lassen, liegt mittlerweile vor (siehe Bild 4).

Anwendungsfelder

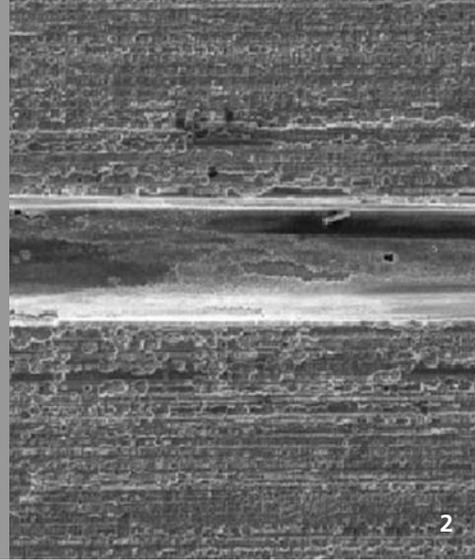
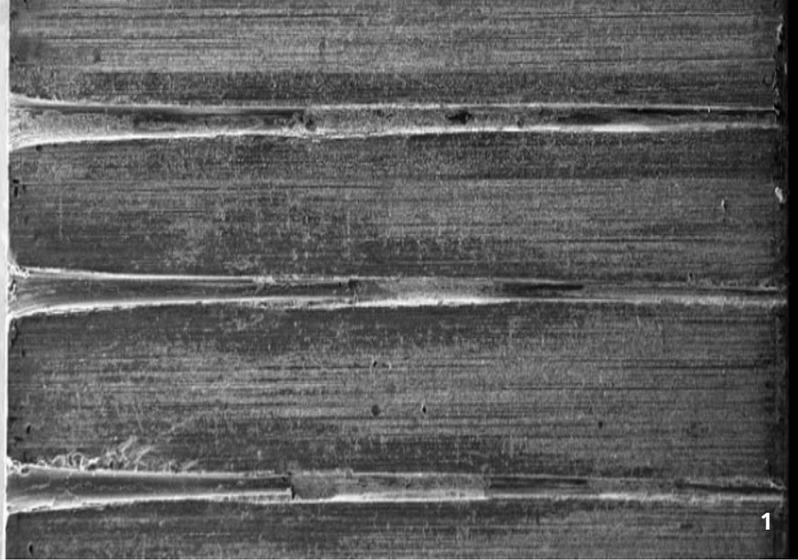
Ursprünglich entstammt die Basis für die Betrachtung einer asymptotischen Bohrungsform Überlegungen zum UKP-Abtrag, bei dem sich in der gleichen Weise eine asymptotische Abtragkontur einstellt und als Erstes beobachtet wurde. Dass sich dieses Prinzip nun auch für den Abtrag mit langen Pulsen als valid erweist, nährt die Vermutung, das gleiche oder ähnliche Prinzipien auch für andere Laserfertungsverfahren anwenden zu können.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Urs Eppelt
 Telefon +49 241 8906-163
 urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Torsten Hermanns
 Telefon +49 241 8906-163
 torsten.hermanns@ilt.fraunhofer.de

- 3 Überlagerung von simulierter Bohrungskontur, exp. Beobachtung und der eingesetzten realen Strahlverteilung.
- 4 Entwickeltes interaktives Werkzeug zur Vorhersage asymptotischer Bohrungsformen.



PRÄZISIONSWENDEL- BOHREN MIT HOHEM ASPEKTVERHÄLTNIS

Aufgabenstellung

Die Herstellung von Präzisionsbohrungen im Durchmesserbereich von 100 μm mit hohem Aspektverhältnis stellt die Fertigung vor große Herausforderungen. Das Laserstrahl-Wendelbohren ist zwar eine geeignete Technologie für diese Fragestellung, allerdings nimmt die Abtragraten mit wachsender Bohrtiefe rasant ab und es kann sogar zu einem Plasmastau im Bohrkanaal kommen. Darüber hinaus wird bei großen Bohrtiefen die Bohrungsgeometrie nicht ausschließlich durch die Laserintensitätsverteilung bestimmt, sondern vielmehr durch eine Kombination vieler Parameter, wie z. B. Gasdruck, Fokusslage etc. Zur Herstellung präziser Mikrobohrungen in dickem Material müssen daher die Laser- und Prozessparameter sorgfältig aufeinander abgestimmt werden.

Vorgehensweise

Mit der am Fraunhofer ILT entwickelten Wendelbohroptik und einem frequenzverdoppelten ps-Laser mit maximaler Einzelpulsenergie von 150 μJ werden Tiefbohrungen in 2 mm und 3 mm dicken Edelstahl eingebracht. Bohrungsdurchmesser und Konizität der Bohrung sind durch die Variation optischer Parameter wie Einstrahlwinkel und Versatz der Laserstrahlung sowie den Laserparametern Fokusslage und Pulsenergie genau einstellbar. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit kann durch dynamische Variation der Parameter und einer optimierten

Bohrstrategie erheblich erhöht werden. Zur Untersuchung der Bohrungsgeometrie und Qualität werden die Bohrungsein- und -austritte sowie deren Querschliffe mittels Raster-Elektronen-Mikroskopie aufgenommen.

Ergebnis

Mit dem angepassten Bohrverfahren können Präzisionsbohrungen mit einem Durchmesser von ca. 140 μm in 3 mm dickem Edelstahl erzeugt werden. Durch Anpassung der Wendelbahn und Optimierung der Bohrstrategien lassen sich Aspektverhältnisse von mehr als 20:1 erreichen. Dabei sind nur geringfügige Schmelzablagerungen und Wärmeeinflusszonen am Ein- und Austritt bzw. an der Bohrungswand detektierbar. Die Rauigkeit an der Bohrungswand R_a beträgt $< 2 \mu\text{m}$.

Anwendungsfelder

Präzisionsbohrungen mit hohem Aspektverhältnis werden derzeit für Spinddüsen, Einspritzdüsen und Injektoren verwendet. Zunehmend kommen solche Bohrungen auch in der Sensorik zum Einsatz.

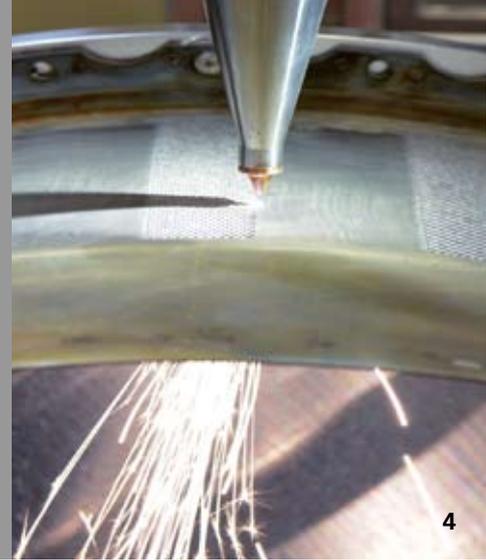
Ansprechpartner

M.Eng. Chao He
Telefon +49 241 8906-611
chao.he@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

1 Bohrungsquerschliffe in 3 mm dickem Edelstahl.

2 Bohrungswand einer Tiefbohrung.



LASERSTRAHLBOHREN DER PRIMÄRDÜSE EINES STRAHLTRIEBWERKS

Aufgabenstellung

In die Primärdüse eines Strahltriebwerks sollen ca. 74.000 Bohrungen mit einem Durchmesser von je 1,5 mm eingebracht werden. Die Düse hat einen Durchmesser von ca. 900 mm sowie eine Länge von ca. 350 mm. Die Bohrungen sollen in 2048 Reihen mit je 36 Bohrungen um den Umfang der Düse verteilt gefertigt werden. Der Werkstoff mit einer Materialstärke von 1,5 mm besteht aus der Titanlegierung Ti 6-2-4-2.

Vorgehensweise

Für die Fertigung der Bohrungen wird eine gepulste Faserlaserstrahlquelle der Firma IPG Photonics verwendet. Vorteilhaft sind die flexible Strahlführung mittels Strahlführungsfaser sowie die Prozessstabilität durch die nahezu wartungs- sowie justagefreie Faserlaserstrahlquelle. Aufgrund des Bohrungsdurchmessers von 1,5 mm wird das Bohrverfahren Trepanieren verwendet. In Vorversuchen werden eine Pulsspitzenleistung von 1,4 kW, eine Pulsdauer von 0,5 ms sowie eine Repetitionsrate von 200 Hz als geeignete Verfahrensparameter identifiziert. Als Prozessgas wird Argon verwendet, um einerseits die Bearbeitungsoptik vor Schmelzspritzern zu schützen als auch das aufgeschmolzene Material aus den Bohrungen auszutreiben. Zur Vermeidung von Verzug werden die Bohrungen in 32 Segmente um den Umfang verteilt aufgeteilt. Pro Segment werden zwei Bohrungsreihen erzeugt, bevor der Prozess mit zwei Reihen beim nächsten Segment fortgesetzt wird.

Anwendungsfelder

Mit der gebohrten Primärdüse werden strömungstechnische Versuche durchgeführt. Durch die gebohrte Fläche soll ein definierter Volumenstrom abgeleitet werden.

Der Bohrprozess ist auf viele Bauteile übertragbar. Aufgrund der Verfügbarkeit geeigneter Anlagentechnik können Bauteile mit großen Abmessungen bearbeitet werden. Durch geeignete Anlagenprogrammierung sowie die Stabilität der Strahlquelle können auch zeitintensive Bohrprozesse mit Bearbeitungsdauern größer 40 Stunden voll automatisiert durchgeführt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Hermann Uchtmann
Telefon +49 241 8906-8022
hermann.uchtmann@ilt.fraunhofer.de

Adj. Prof. (RMIT) Akad. Oberrat Dr. Ingomar Kelbassa
Telefon +49 241 8906-143
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de

3 Laserstrahlbohren einer Primärdüse eines Strahltriebwerks.

4 Nahaufnahme des Bohrprozesses.



PRÄZISIONSWENDEL- SCHNEIDEN VON DIELEK- TRISCHEN WERKSTOFFEN MIT LASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

Das präzise Trennen von dielektrischen Werkstoffen wie Glas, Keramik, Saphir etc. stellt die Fertigungstechnik wegen den z. T. extremen Werkstoffeigenschaften vor besondere Herausforderungen. Dabei ist die Schnittkantenqualität (Riefentiefe, Rechtwinkligkeit und Gratbildung) kritisch für die Funktion präziser mechanischer Bauteile. Das Laserstrahlschneiden, insbesondere mit Ultrakurzpulslasern im Femtosekunden- und Pikosekundenbereich, bietet die Möglichkeit, diese Werkstoffe flexibel und mit hoher Qualität zu bearbeiten.

Vorgehensweise

Gegenüber dem klassischen Laserschneidprozess wurde für das Schneiden der Dielektrika ein neuer Schneidprozess, das Wendelschneiden, eingesetzt. Dabei wird der Laserstrahl in eine kreisförmige Oszillation versetzt und übernimmt damit nicht nur den Schneidprozess sondern auch eine verdampfungsbasierte Nacharbeit der Schnittkante. Mit der auf einem rotierenden Dove-Prisma basierten Wendelbohroptik und einem frequenzverdoppelten ps-Laser werden Präzisions-schnitte in unterschiedlich dickem Keramik, Silizium und Saphir erzeugt.

1 Präzisionsschneiden von 0,5 mm Silizium.

2 Übersicht der Schnittkante.

3 Querschnitte von 0,5 mm Keramik.

Je nach Materialdicke werden grundsätzliche Parameter wie Vorschubgeschwindigkeit, Gasdruck, Leistung und Oszillation abgestimmt. Die Breite des Schnittspalts kann durch Variation des Anstellwinkels und des Wendeldurchmessers der Laserstrahlung in der Bohroptik im Bereich von ca. 30 µm bis 200 µm eingestellt werden. Die Analyse der Schnittkante erfolgt durch Laser-Scanning-Mikroskopie.

Ergebnis

Mit dem neuen Wendelschneidverfahren können in 0,5 mm dickem Silizium kantendefinierte und rechtwinklige Präzisions-schnitte mit minimaler Riefen- und Gratbildung erzeugt werden. Durch die Verwendung von Ultrakurzpulslasern und Optimierung der Laserparameter erfolgt der Abtrag nur über Verdampfung, so dass keine Recast-Layer und Schmelzablagerungen zu detektieren sind. Die Rauigkeit der Schnittfuge Ra ist < 0,8 µm.

Anwendungsfelder

Die Anwendungsfelder des Präzisionswendelschneidens liegen vor allem in Bereichen, in denen eine hohe Schnittkantenqualität benötigt wird. Insbesondere in der Uhrenindustrie und in der Erzeugung mikro-mechanischer Komponenten kann das Verfahren die Lücke zwischen Ätztechnik und mechanischer Fertigung in Bezug auf Qualität und Produktivität schließen.

Ansprechpartner

M.Eng. Chao He
Telefon +49 241 8906-611
chao.he@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



4



5

LASERSTRAHL- MIKROSCHWEISSEN VON KUPFERBERYLLIUM AN SILBER

Aufgabenstellung

Kupferberyllium-Legierungen können durch Ausscheidungshärtung die höchsten Festigkeiten unter den Kupferlegierungen erreichen. Die hohe Abnutzungsbeständigkeit, der Härtegrad, das E-Modul und die hohe Leitfähigkeit ermöglichen breite Einsatzmöglichkeiten der Kupferberyllium-Legierungen in der Elektrotechnik, bei der vor allem die Federwerkstoff-Eigenschaften im Vergleich zu den hochleitenden Reinkupferwerkstoffen im Vordergrund stehen. Dabei sind insbesondere in der Steckverbindertechnik Kupferbauteile mit Federeigenschaften mit beschichteten Kupfersteckern zu verbinden. Im Rahmen einer Studie sollte in einem Verfahrensvergleich das Laserstrahlmikroschweißen gegenüber dem Schutzgas- und dem Widerstandsschweißen evaluiert und qualifiziert werden.

Vorgehensweise

Für den Verfahrensvergleich wurde die Schweißverbindung in einer Überlappkehlnaht-Konfiguration ausgeführt. Zum Einsatz kamen ein Singlemode-Faserlaser und ein Scannersystem, mit dem eine schnelle örtliche Leistungsmodulation realisiert werden konnte. Als Schweißnaht- und Bauteilgeometrie wurde ein Kupferberyllium Streifen ($d = 0,1 \text{ mm}$) an einen silberbeschichteten Kupferstreifen ($d = 0,2 \text{ mm}$) geschweißt.

Ergebnis

Das Verfahren der örtlichen Leistungsmodulation ermöglicht einen glatten und sanften Übergang der Kehlnahtgeometrie mit ausreichender Einschweißtiefe und Anbindungsbreite. Neben dieser homogenen Schweißgeometrie kann mit diesem Verfahren die Spaltüberbrückbarkeit erhöht werden. Die Schliffaufnahme zeigt den positiven Einfluss der örtlichen Leistungsmodulation auf die homogene Gefügedurchmischung der beiden Fügepartner.

Anwendungsfelder

Die typischen Anwendungsfelder für das Verfahren sind elektrische Kontaktierungen für Steckverbinder und mechanisch beanspruchte Kontaktierungen in der Leistungselektronik, dem Automobil- und Flugzeugbau. Neben Steckverbindungen liegen die Hauptanwendungsgebiete im Bereich der Kontakttechnologie, bei Federn und Schaltern.

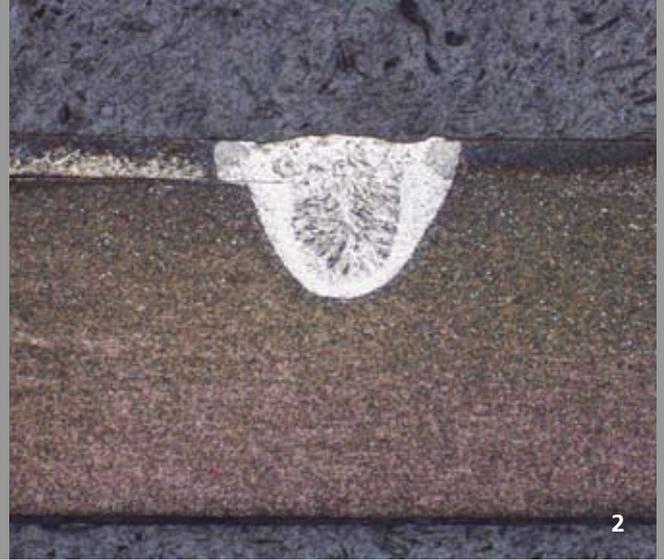
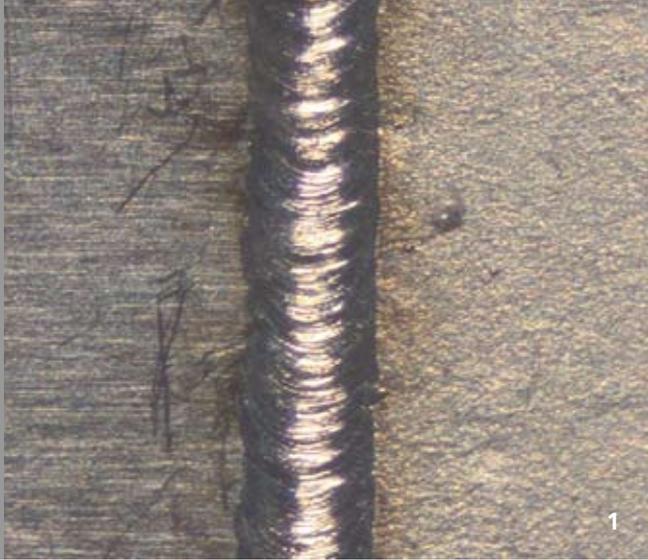
Ansprechpartner

Vahid Nazery Goneghany
Telefon +49 241 8906-159
vahid.nazery@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

4 Makroschliff 100:1.

5 Makroschliff 500:1.



MIKROSCHWEISSEN VON THERMISCHEN ISOLATOREN AUS TITAN

Aufgabenstellung

Titan wird als leichter und gleichzeitig widerstandsfähiger Werkstoff (mechanische Belastbarkeit, gute Korrosionseigenschaften) in der Luft- und Raumfahrttechnik eingesetzt. Zur Montage verschiedener Elemente, die gegenüber thermischen Einflüssen zu schützen sind, werden für Satelliten thermische Isolatoren aus Titan gefertigt. Hierbei sind eine dünnwandige Hülse (0,1 mm Wandstärke) und ein Stopfen (6 mm Außendurchmesser) im Stumpfstoß zu verbinden. Durch die spanabtragende Herstellung der beiden Komponenten sind Fügspalt und Spiel der beiden Komponenten nicht zu vermeiden.

Vorgehensweise

Im Rahmen des Projekts soll ein Laserschweißprozess für das Verbinden der beiden Elemente des thermischen Isolators entwickelt werden. Hauptziele sind hierbei eine stabile Anbindung und ein geringer Verzug. Durch eine örtliche Leistungsmodulation über eine Überlagerung einer globalen Vorschubbewegung mit einer kreisförmigen Oszillationsbewegung können Einschweißtiefe und Anbindungsbreite kontrolliert sowie die Spaltüberbrückbarkeit erhöht werden.

Ergebnis

Durch die Auswahl einer geeigneten Strahlquelle und die Anpassung der Fügeparameter Leistung, Vorschubgeschwindigkeit, Oszillationsamplitude und Oszillationsfrequenz kann der Fügspalt überbrückt werden und eine stabile Anbindung (Einschweißtiefe ca. 300 µm, Nahtbreite ca. 460 µm) erzielt werden. Spalte von bis zu 50 µm können so sicher und reproduzierbar überbrückt werden.

Anwendungsfelder

Die Ergebnisse des Projekts lassen sich auf verschiedene Bauteile aus den Bereichen Luft- und Raumfahrttechnik sowie der Medizintechnik übertragen.

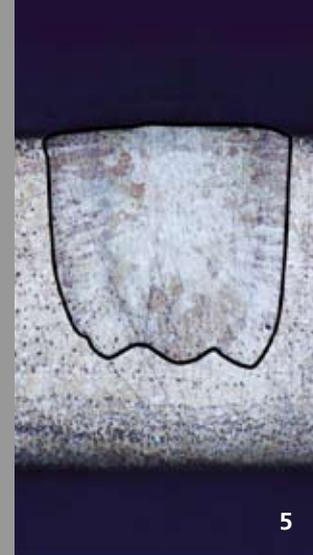
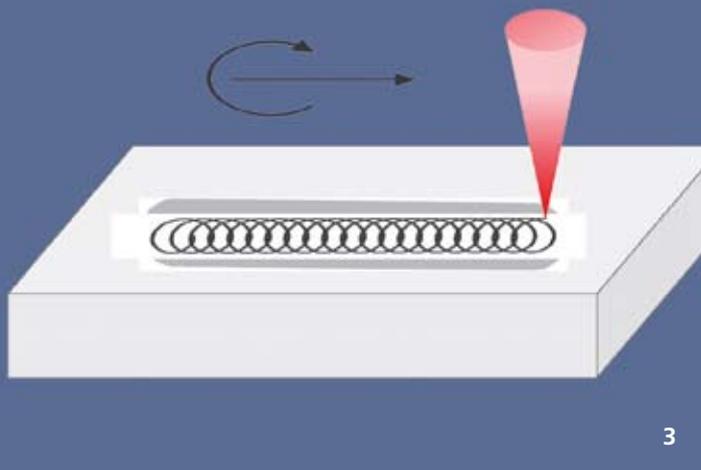
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Paul Heinen
Telefon +49 241 8906-145
paul.heinen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

1 Aufsicht der erzielten Naht.

2 Querschliff der erzielten Naht.



NAHTFORMUNG DURCH ÖRTLICHE LEISTUNGSMODULATION BEIM MIKROSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Kupfer ist aufgrund seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit einer der wichtigsten Werkstoffe in der Mikroelektronik sowie bei der Elektrifizierung von Automobilen. Die Herausforderungen beim Schweißen von Kupferwerkstoffen mittels Laserstrahlung sind neben einer hohen thermischen Leitfähigkeit insbesondere ein geringer Absorptionsgrad der Laserstrahlung im nahen Infrarot-Wellenlängenbereich. Durch den Einsatz von Faserlasern mit hoher Strahlqualität können Fokusdurchmesser von einigen 10 µm erzeugt werden, die eine gezielte Energieeinbringung in den Werkstoff ermöglichen. Kleinere Fokusdurchmesser verursachen dabei jedoch einen geringen Anbindungsquerschnitt, der durch den Einsatz der örtlichen Leistungsmodulation kompensiert werden kann.

Vorgehensweise

Bei der örtlichen Leistungsmodulation wird die Vorschubbewegung durch eine zusätzliche Oszillation überlagert, die den Gestaltungsrahmen beim Laserstrahlschweißen erheblich erweitert. Neben den Parametern Laserleistung, Strahldurchmesser und Vorschubgeschwindigkeit erzeugt die örtliche Leistungsmodulation weitere Parameter, die zur Schmelzbadkontrolle und gezielten Naht- und Gefügeformung eingesetzt werden können.

Ergebnis

Durch Beobachtung der Schmelzbadynamik während des Laserstrahlschweißens mit örtlicher Leistungsmodulation wurde die dominierende Bewegungsform des Laserstrahls identifiziert, die die Nahtformung maßgeblich beeinflusst. Durch die Oszillation des Laserstrahls werden Bereiche höherer thermischer Energie nochmals überfahren, sodass im Gegensatz zum konventionellen Schweißen ein größeres Materialvolumen aufgeschmolzen wird, was eine Steigerung der Effizienz bedeutet.

Anwendungsfelder

Die Laserstrahlschweißtechnik im Fein- und Mikrobereich findet sich beispielsweise in der Leistungselektronik oder Batterietechnik. Die verbesserten Möglichkeiten zur Steigerung der Reproduzierbarkeit und der gezielten Nahtformung lassen sich auf weitere Anwendungsgebiete wie beispielsweise die Medizintechnik übertragen.

Die Arbeiten wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 1120 gefördert.

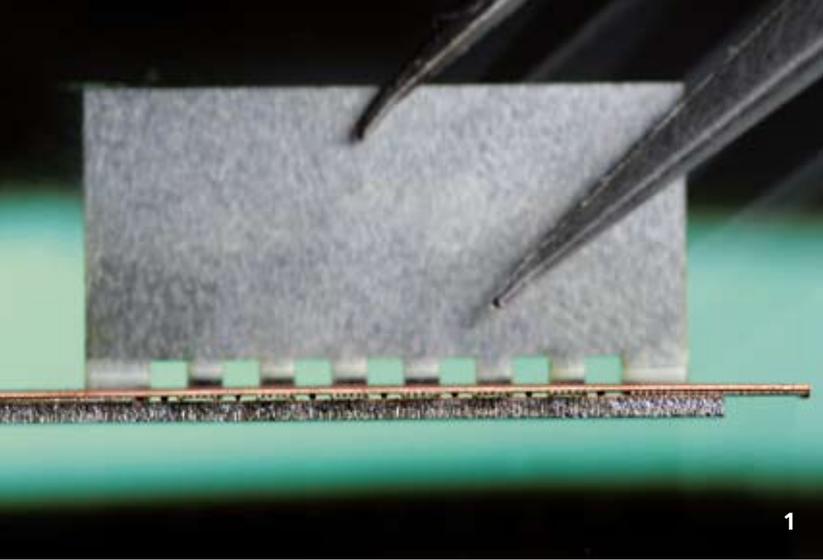
Ansprechpartner

M.Sc. André Häusler
Telefon +49 241 8906-640
andre.haeusler@ilt.rwth-aachen.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

3 *Pfad des Laserstrahls bei örtlicher Leistungsmodulation.*

4 + 5 *Querschliffe von Kupferlegierungen mit und ohne örtliche Leistungsmodulation.*



LASER-IMPULS- SCHMELZBONDEN (LIMBO)

Aufgabenstellung

Durch steigende Anforderungen in der Elektromobilität und Hochleistungselektronik werden zunehmend Leistungselektronikbauteile benötigt, die eine hohe Robustheit und thermische Stabilität aufweisen. Konventionelle Fügeverfahren von Elektronikbauteilen wie Löten oder Drahtbonden sind aufgrund der geringen Schmelzpunkte von Weichloten und dem geringen Leitungsquerschnitt der Drahtbonds nur bedingt einsetzbar. Es wird ein Verfahren benötigt, das dicke Kupferverbinder an dünne Metallisierungen auf sensiblen Substraten schädigungsfrei fügt.

Vorgehensweise

Mit dem innovativen Prozessansatz »Laser-Impuls-Schmelzbonden« (LIMBO) werden die Prozessphasen Aufschmelzen und Kontaktieren energetisch getrennt. Durch Trennung der Bauteile über einen definierten Spalt wird in einer ersten Prozessphase ein Schmelzevolumen im dickeren Fügepartner erzeugt. Mittels Laserstrahlmodulation wird die Schmelze zum unteren Fügepartner beschleunigt, wodurch ein Benetzen und Anschmelzen der Metallisierung durch die Schmelzenergie umgesetzt werden kann und die thermische Belastung im Substrat minimiert wird.

Ergebnis

Mit dem Prozess sind Schweißungen von 200 µm Kupferblechen auf 35 µm Metallisierungen auf Siliziumwafern mit einer reproduzierbaren Anbindung möglich. Die Einschweißtiefe in dem unteren Fügepartner beträgt unter 20 µm. Durch die Anpassung der Laserstrahlmodulation ist eine kontrollierte Schmelzedynamik im Prozess möglich.

Anwendungsfelder

Das Verfahren ermöglicht das Fügen von dicken Verbindern auf sensiblen Substraten in der Halbleitertechnik (siliziumbasierte Bauteile) oder Elektroniktechnik (FR4-Leiterplatten) ohne das Substrat zu schädigen. Neben dem Fügen auf sensiblen Substraten ist der Prozessansatz anwendbar für das stoffschlüssige Fügen von metallischen Bauteilen mit hohen Spalttoleranzen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Simon Britten
Telefon +49 241 8906-322
simon.britten@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Benjamin Mehlmann
Telefon +49 241 8906-613
benjamin.mehlmann@ilt.fraunhofer.de

1 Kupferblech kontaktiert auf Metallisierung.

2 Querschliff einer Schweißung von Kupfer auf metallisierten Siliziumwafer.



LASERSTRAHLSCHWEISSEN VON LITHIUM-IONEN-ZELLEN

Aufgabenstellung

Die Elektromobilität ist auf hochstabile und reproduzierbare elektrische Verbindungen der hier verwendeten Lithium-Ionen-Batterien angewiesen. Im Rahmen einer Verfahrensstudie sollten zuverlässige Verschweißungen an prismatischen Lithium-Ionen-Zellen erprobt werden. Lithium-Ionen-Batteriezellen werden in einem festen Zellgehäuse aus Aluminium verbaut. Die nach außen geführten Aluminiumpole werden mittels Verschraubungen oder Schweißverbindungen zusammengeführt. Da Aluminium an der Luft eine elektrisch isolierende Oxidschicht ausbildet, kann ohne zusätzliche Maßnahmen nur durch eine Schweißverbindung ein dauerhaft guter elektrischer Kontakt zwischen zwei Aluminiumpolen gewährleistet werden. Die Temperaturerhöhung in der Zelle darf während des Schweißprozesses maximal 120 °C erreichen.

Vorgehensweise

Zur Realisierung der Fügeverbindung wird beim Laserstrahlschweißen eine örtliche Leistungsmodulation in Form einer der linearen Vorschubbewegung überlagerten kreisförmigen Oszillationsbewegung eingesetzt. Die Parameter Oszillationsfrequenz und -amplitude erweitern damit den Gestaltungsspielraum der Schweißnaht erheblich. Das Verfahren ermöglicht eine konstante Einschweißtiefe und Anbindungsbreite. Durch Einsatz der örtlichen Leistungsmodulation wird die Schmelzbadgeometrie positiv beeinflusst und der Temperaturgradient im Schmelzbad kontrolliert.

Ergebnis

Die Steigerung der Prozessstabilität beim Einsatz der örtlichen Leistungsmodulation führt zur einer gleichmäßigen Einschweißtiefe und Anbindungsbreite in Überlappkehlnaht-Konfiguration, bei der der Kontaktpol aus Aluminium 1050 ($d = 1 \text{ mm}$) auf dem Zellpol aus Aluminium 3003 ($d = 6 \text{ mm}$) verschweißt wurde. Die gemessene Temperatur im Zellpol betrug $< 60 \text{ °C}$. Die verschweißten Batteriemodule wurden anschließend am Batterieprüfstand der FEV GmbH getestet. Die Verbindungen haben sehr geringe elektrische Übergangswiderstände und zeigen eine homogene Temperaturverteilung unter Strombelastung.

Anwendungsfelder

Das Einsatzfeld fokussiert sich in erster Linie auf die Automobilindustrie, mobile Maschinen, stationäre Speicher und Freizeitfahrzeuge.

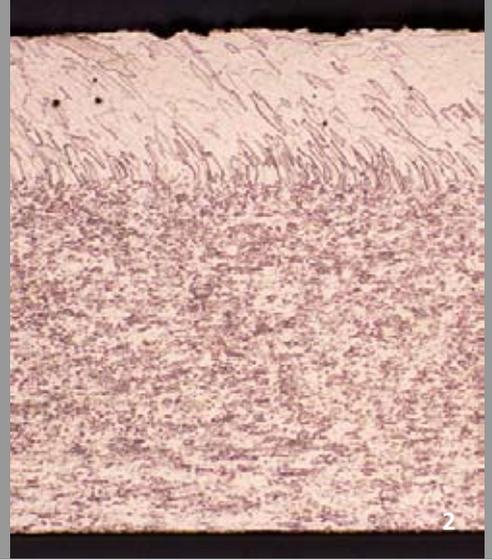
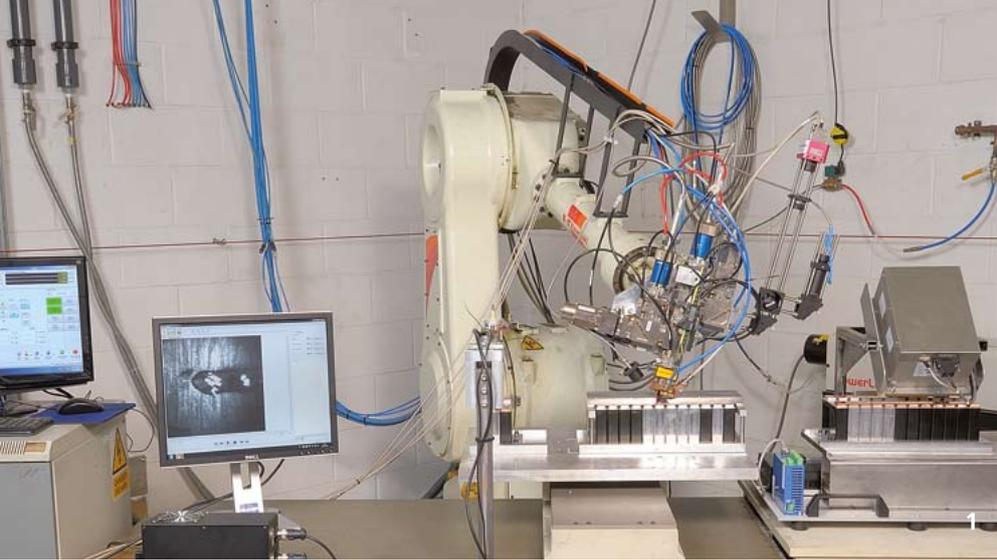
Ansprechpartner

Vahid Nazery Goneghany
Telefon +49 241 8906-159
vahid.nazery@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

3 Schliffbild.

4 Lithium-Ionen-Zelle.



PROZESSÜBERWACHUNG BEIM LASERSTRAHL- SCHWEISSEN VON BATTERIEELEKTRODEN

Aufgabenstellung

Beim Zusammenbau von Batteriemodulen für Elektrofahrzeuge sind stromführende Kontaktschienen in Plattenform mit den Anschlüssen mehrerer Batteriezellen zu verbinden. Dabei werden entsprechend den zu übertragenden Strömen große Anbindungsquerschnitte und Elektrodenabmessungen verwendet. Eine wichtige Voraussetzung für eine prozesssichere Fertigungstechnik ist die Gewährleistung einer konstanten Einschweißtiefe sowie einer fehlerfreien Naht bzw. Verbindungsstelle. Dieses Ziel einer prozesssicheren Laserstrahlschweißung von Batterieelektroden soll durch eine geeignete Prozessüberwachung erreicht werden.

Vorgehensweise

Für die Kontaktierung der Batterieelektroden wurde eine Laseranlage um eine bildgebende, koaxiale Prozessbeobachtung erweitert, um damit das Schmelzbad und die Prozessstrahlung während des Schweißvorgangs aufnehmen zu können. Im Rahmen der Prozessentwicklung wurden zunächst geeignete Verfahrensparameter für eine gute Anbindung der Kontakte

bestimmt. Ausgehend von diesen Grundparametern wurde eine gezielte Variation der Verfahrensparameter durchgeführt, um eine Korrelation schwankender Eingangsgrößen zur Änderung der Einschweißtiefe zu bestimmen.

Ergebnis

Die Erfassung der relevanten Daten aus dem Schweißprozess wurde erfolgreich in einem Analysesystem demonstriert. In diesem Funktionsmuster wird neben einem Industrie-PC zur Bedienung und Datenerfassung auch ein Embedded-PC mit Software-SPS zur verzögerungskritischen elektrischen Signalisierung eingesetzt. Mit diesem System kann die erfasste Schmelzbadgröße im Schweißprozess mit der Einschweißtiefe korreliert werden. Als weiteres Aussagekriterium konnte die Korrelation der Einschweißtiefe mit der gemessenen Strahlungsleistung der Prozessstrahlung validiert und damit eine erhöhte Aussagesicherheit erzeugt werden.

Anwendungsfelder

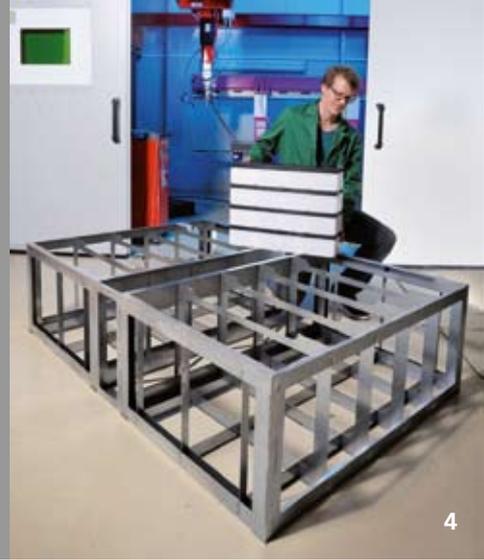
Das Verfahren kann sowohl bei sicherheitskritischen Verbindungen der Batteriekontaktierung als auch in allen anderen Schweißüberlappverbindungen eingesetzt werden. Die zugrunde liegenden Arbeiten wurden durch das siebte Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union mit dem Fördervertrag 260153 (QCOALA: Quality Control for Aluminium Laser-Welded Assemblies) gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Alp Özmert
Telefon +49 241 8906-366
alp.oezmert@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon +49 241 8906-248
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

- 1 Demonstratoraufbau des Überwachungssystems.
- 2 Längsschliff einer Schweißnaht mit konstanter Nahttiefe in Kupferblech.



LEICHTBAU-ENERGIEPACK

Aufgabenstellung

Im Rahmen des Fraunhofer-Projekts »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität« entwickelt das Fraunhofer ILT ein »Leichtbau-Energiepack«. Das Pack soll sich durch den Einsatz verschiedener Leichtbautechniken sowie durch neuartige Kühl- und Aufbaustrategien auszeichnen und die verschiedenen Komponenten der Fraunhofer-Institute ISE, IWM und UMSICHT integrieren. Neben der Entwicklung von Batteriesystemen sind die Produktions- und Konstruktionstechniken für die Erstellung des Leichtbau-Energiepackgehäuses essentiell für die sichere und kosteneffiziente Nutzung in elektromobilen Anwendungen.

Vorgehensweise

Für eine gewichtsreduzierte Konstruktion des Packs wird ein ultrahochfester Stahl (1.4034 pressgehärtet) mit einer Dicke von 1,5 mm mit Organoblech geringer Dichte kombiniert. Der modulare und austauschbare Aufbau der Komponenten des Leichtbau-Energiepackgehäuses macht eine einfache Zugänglichkeit der Komponenten erforderlich, weshalb eine Rahmenkonstruktion mit integrierten Versteifungsblechen erstellt wird. Eine komplexe Schweißvorrichtung zur Positionierung und Fixierung der Elemente ist aufgrund gezielter Verzahnungen im Bereich der Kanten nicht notwendig. Die Anbindung der Organobleche an den Stahl erfolgt über eine am Fraunhofer ILT entwickelte formschlüssige Hybridverbindung.

Ergebnis

Der Aufbau des Leichtbau-Energiepackgehäuses konnte in Form eines Demonstrators in den Maßstäben 1:1 und 1:3 gebaut werden. Die Verschweißung der Stahlelemente erfolgte durch Einsatz eines Tiefschweißprozesses mit CO₂-Laserstrahlung mit einem Vorschub von 6 m/min und einer Leistung von 2,4 kW. Durch die Anordnung der Verbindungsstellen konnten Eigenspannungen und Verzug minimiert werden, so dass lediglich eine lokale Anlassbehandlung nach dem Schweißen erforderlich ist.

Anwendungsfelder

Die hochfesten Stähle werden dort eingesetzt, wo eine hohe Festigkeit bei geringem Gewicht gefordert wird, wodurch der Automobilsektor einen präferierten Bereich darstellt. Durch die Verzahnung der Elemente kann eine komplizierte Vorrichtung entfallen. Dies bietet insbesondere bei kleinen Stückzahlen in flexibler Fertigung ein großes Potenzial.

Ansprechpartner

M.Sc. Dennis Arntz
Telefon +49 241 8906-8389
dennis.arntz@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

3 Leichtbau-Energiepackgehäuse
(Maßstab 1:3).

4 Innere Baugruppe des Leichtbau-
Energiepackgehäuses (Maßstab 1:1).



GEREGELTES LASERSTRAHL- LÖTEN VON SOLARZELLEN

Aufgabenstellung

Für zukünftige Zell- und Modulkonzepte in der Photovoltaik werden Sensorik und Regelungstechnik zur Qualitätssteigerung des Laserstrahl-
lötprozesses benötigt. Die Prozessentwicklung verfolgt verschiedene Ansätze zum Laserstrahl-
löten, wie örtlich festen Energieeintrag mittels Linien- und örtlich variablen Energieeintrag mit Scanneroptiken. Ausgewiesenes Ziel ist die Anforderungen dünner werdender Zellen als auch einen geringeren Energieeintrag bei gleichzeitiger Erhöhung der Produktionsqualität und damit auch eine verbesserte Ökobilanz bei der Herstellung von Solarmodulen zu erreichen.

Vorgehensweise

Mit Hilfe der pyrometrischen Signalakquise während der verschiedenen Lötprozesse mit variierenden Prozessparametern wurde ein charakteristischer Verlauf der Temperaturprofile selbst bei stark unterschiedlichen Bearbeitungsparametern, z. B. der Einstrahlzeit, identifiziert. Zur Charakterisierung der im Temperaturprofil erkennbaren Prozessphasen während des Lötvorgangs wurde das pyrometrische Signal mit Hochgeschwindigkeitsaufnahmen des oberen Zellverbinders abgeglichen. Der Vergleich der visuellen Analyse mit dem pyrometrischen Signalverlauf führte zur Bestimmung der einzelnen Prozessphasen und einem Charakteristikum, das für die Prozessregelung und -steuerung genutzt werden kann.

1 Pyrometer Controller (Quelle: Amtron GmbH).

2 Laserlötprozess.

Ergebnis

Exemplarisch wurde für das scannerbasierte Löten eine Regelung mit einem in den Strahlengang integrierten Hochgeschwindigkeitspyrometer umgesetzt. Durch die neuartige Regelstrategie ist eine absolute Temperaturmessung nicht erforderlich und Abbildungsfehler des optischen Systems können kompensiert werden. Der an die Solarzelle zu lötende Zellverbinder wurde in mehrere Abschnitte unterteilt. Für jeden dieser Abschnitte kann während des Lötprozesses die Laserstrahlleistung abhängig vom gemessenen Temperaturprofil geregelt werden.

Anwendungsfelder

Durch die Erschließung des qualitätsoptimierten Laserstrahl-
lötens durch innovative Anwendungstechnik (u. a. Multisystempyrometrie, Multispotoptik) wird eine Kombination aus simultanem Energieeintrag, angepasster Laserstrahlgeometrie und Vervielfachung mittels Multispotoptik ermöglicht. Dies führt zu einer Erweiterung des Anwendungsspektrums des Laserstrahl-
lötens über die Photovoltaik hinaus auch für andere Elektronikprodukte.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben »Innovative qualitätsoptimierte Laser-Verbindungstechnik für Photovoltaikmodule (LaVeTe)« wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter dem Kennzeichen 0325265 durchgeführt.

Ansprechpartner

M.Sc. Wolfgang Fiedler
Telefon +49 241 8906-390
wolfgang.fiedler@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon +49 241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de



TWIST-LASERSCHWEISSEN VON KUNSTSTOFFFOLIEN MIT 1567 NM ERBIUM- FASERLASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

Das Laserkunststoffschweißen wird fast ausschließlich im Überlapp in den Konfigurationen Kontur-, Simultan- oder Quasisimultanschweißen ausgeführt. Seit der Verwendung hochbrillanter Faserlaser mit 1060 nm (Ytterbium-Faserlaser), 1567 nm (Erbium) oder 1940 nm (Thulium) steht mit TWIST eine weitere Verfahrensvariante zur Verfügung, basierend auf der Überlagerung einer langsamen Schweißgeschwindigkeit mit einer schnellen kreisförmigen Bewegung, um die hohe Intensität eines Faserlaserstrahls auf einen größeren geometrischen Bereich zu verteilen. Damit wird die Homogenität der Wärmeeinflusszone gegenüber der typischen Linsenform beim Diodenlaserschweißen erhöht. Außerdem ist die Schweißnahtbreite innerhalb der gleichen Kontur variabel. Neben der üblichen Abhängigkeit von Parametern wie Laserleistung, Schweißgeschwindigkeit und Fokusbereich werden TWIST-geschweißte Nähte vom TWIST-Kreisdurchmesser und -Oszillationsvorschub beeinflusst, die den Kreisüberlapp bestimmen.

Vorgehensweise

Bei einem kollimierten Strahldurchmesser von 5 mm und einer Linsenbrennweite von 345 mm beträgt der fokussierte Strahldurchmesser 152 μm innerhalb des 150 x 150 mm großen Arbeitsfelds. Zur Demonstration des TWIST-Verfahrens besteht

die Schweißkontur aus drei Kreisen mit je 15 mm Durchmesser und 2 mm Kreisringbreite. Der TWIST-Oszillationsvorschub wird für jeden Kreis geändert, um einen geringen/mittleren/hohen Überlapp der TWIST-Kreise zu demonstrieren, siehe Bild 3.

Ergebnis

Eine transparente und eine schwarze Folie mit jeweils 300 μm Dicke werden im Überlapp verschweißt. Die geschweißten Nähte treten als schwarze Linie deutlich hervor, da die milchige PET-Lichtstreuung an diesen Stellen durch die Schmelzeverbindung mit der unteren Folie reduziert ist. Die Laserleistung beträgt 10 Watt bei 20 mm/s Vorschub.

Anwendungsfelder

TWIST wird vorzugsweise für dünne Nähte in Mikrofluidikkomponenten und zur Reduzierung der Schweißtiefe bei gewöhnlichen 1 - 3 mm breiten Schweißnahtbreiten verwendet. Die Wellenlänge von 1567 nm ist gut geeignet, um brillantweiß pigmentierte Polymere zu schweißen, da derartige TiO_2 -gefüllte Kunststoffe bei 1567 nm deutlich höhere Transmissionsgrade als bei 1060 nm besitzen.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Gerd Otto
Telefon +49 241 8906-165
gerd.otto@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

3 300 μm PET-Folien, transparent auf schwarz, TWIST-geschweißt mit 1567 nm Faserlaserstrahlung und drei TWIST-Überlappungen.



1

ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG VON LASERKUNST- STOFFSCHWEISSNÄHTEN

Aufgabenstellung

Das Laserdurchstrahlschweißen von Kunststoffen hat sich in vielen Industriebereichen als Produktionsverfahren etabliert. Zunehmend erstreckt sich dabei das Einsatzgebiet im Zuge von Leichtbauaktivitäten auch auf sicherheitskritische Komponenten. Die Bearbeitung von sicherheitskritischen Bauteilen erhöht die Anforderungen an die Qualitätssicherung und die Bauteilprüfung. Die typischerweise industriell eingesetzten Kunststoffe, insbesondere faserverstärkte Kunststoffe, sind im visuellen Wellenlängenbereich opak oder intransparent und weisen zudem eine starke Streuung auf. Die im Inneren des Bauteils befindlichen Laserschweißnähte können daher nicht über Mikroskopieverfahren sondern vielfach nur über zerstörende Verfahren analysiert werden. Daher werden alternative zerstörungsfreie Prüfverfahren benötigt, die ggf. zudem eine einhundert Prozent Prüfung ermöglichen, um den steigenden Prüfanforderungen gerecht zu werden.

Vorgehensweise

Im Rahmen eines Systemvergleichs werden verschiedene auf dem Markt verfügbare bzw. in der Entwicklung befindliche zerstörungsfreie Prüfverfahren auf ihre Eignung zum Detektieren von Fehlstellen in Laserkunststoffschweißnähten geprüft. Hierzu werden Prüfkörper aus repräsentativen Kunststoffen

produziert, in die Laserschweißnähte mit definierten Fehlstellen eingebracht werden. Neben der Röntgenprüfung, Terahertzprüfung und Ultraschallprüfung wird insbesondere die Lock-In Thermografie untersucht. Bei diesem Verfahren wird der Prüfkörper mit Laserstrahlung angeregt und mittels Thermografie die Wärmeleitung erfasst. Die gleichen Prüfkörper werden im Rahmen der Untersuchung mit den unterschiedlichen Prüfverfahren analysiert, um abschließend eine Basis für einen Eignungsvergleich zu erhalten.

Ergebnis

Die Prüfergebnisse sind stark von den einzelnen Kunststoffen, deren Aufbau und Additiven abhängig. Defekte, Fehlstellen aber auch die Schweißnähte sind je nach Verfahren gut detektier- und identifizierbar. Das geeignetste Prüfverfahren ist daher stets individuell für die Prüfaufgabe auszuwählen.

Anwendungsfelder

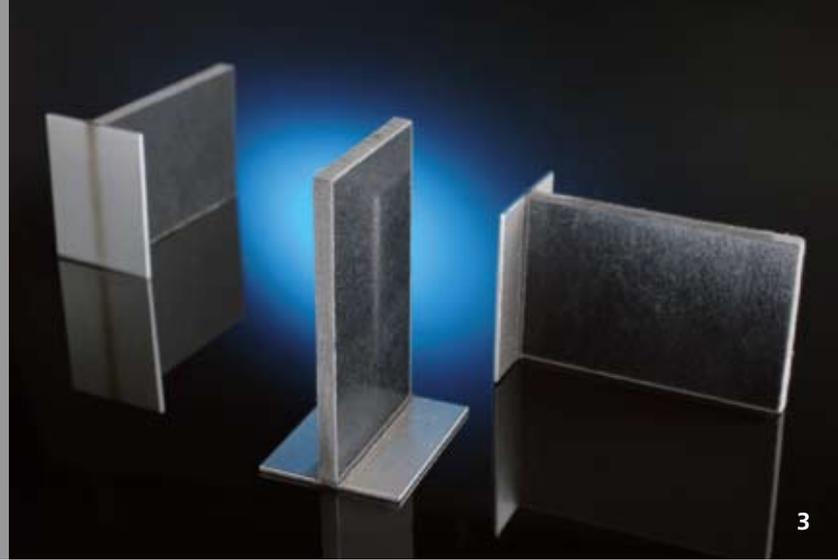
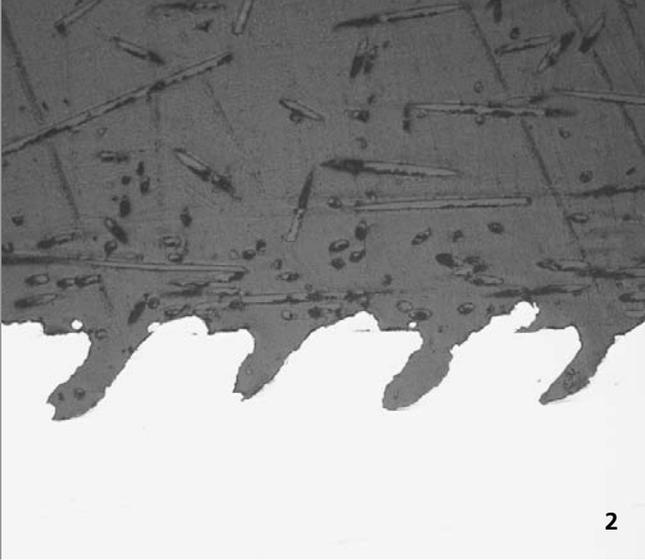
Die Ergebnisse sowie die angewendeten zerstörungsfreien Prüfverfahren eignen sich für verschiedenste Anwendungen, in denen neben im Inneren befindlichen Schweißnähten auch Defekte oder Fehlstellen in Kunststoffbauteilen detektiert werden müssen.

Ansprechpartner

M.Eng. Maximilian Brosda
Telefon +49 241 8906-208
maximilian.brosda@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

1 Kunststoffprobe mit zerstörungsfrei
geprüften innenliegenden Schweißnähten.



T-STOSS-VERBINDUNG AUS KUNSTSTOFF UND METALL

Aufgabenstellung

Besonders im Automobilbau stellt die Verbindung von artungleichen Werkstoffen die Fertigungstechnik vor große Herausforderungen. Insbesondere der angepasste Einsatz von Kunststoff und Metall erschließt weitere Gewichtseinsparungspotenziale. Während Kunststoffe besonders durch ihr geringes Gewicht, ihren günstigen Preis und die fast unbeschränkte Formgebung charakterisiert sind, widerstehen Metalle aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften deutlich höheren mechanischen Belastungen. Eine direkte stoffschlüssige Verbindung beider Werkstoffe miteinander scheidet jedoch an der chemischen und physikalischen Unterschiedlichkeit von Kunststoff und Metall. Eine Anbindung durch Formschluss oder die Verwendung von Zusatzwerkstoffen ist daher erforderlich.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wurde eine Prozesskette zur Verbindung von Kunststoff mit Metall entwickelt, bei der mittels Laserstrahlung Mikrostrukturen im metallischen Fügepartner erzeugt werden. Im nachfolgenden Laserfügeverfahren wird der Kunststoff plastifiziert und durch Verkrallung in der Mikrostruktur formschlüssig angebunden. Im konkreten Fall einer T-Stoß-Verbindung erfolgt die Strukturierung unter einem Anstellwinkel, so dass bei Zugbelastungen größere Hinterschnitte erzeugt werden können.

Ergebnis

Die erzeugte T-Stoß-Verbindung besteht aus einem mikrolegiertem Stahl und einem kurzglasfaserverstärktem Polyamid. Im Vergleich zu einer senkrechten Strukturierung kann bei 45° Anstellwinkel die Zugfestigkeit der T-Stöße um 30 Prozent erhöht werden. Bei der angestellten Strukturierung unter 45° bricht die Probe bei einer Belastung von 18 MPa, die senkrecht strukturierte Vergleichsprobe versagt bereits bei 14 MPa. Wird diese Festigkeit auf den tragenden Querschnitt, d. h. die Strukturbreite*Strukturlänge*Strukturanzahl, bezogen, wird die Grundmaterialfestigkeit des Kunststoffmaterials erreicht.

Anwendungsfelder

Durch die Hybridisierung von Bauteilen werden die werkstoffspezifischen Vorteile unterschiedlicher Materialien kombiniert, wodurch gleichzeitig leichte und steife Bauteile entstehen. Aus diesem Grund ist das vorgestellte zweistufige Verfahren besonders für die Luft- und Raumfahrtindustrie und den Automobilbau geeignet.

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des von der EU geförderten Verbundvorhabens »PM-Join« finanziert.

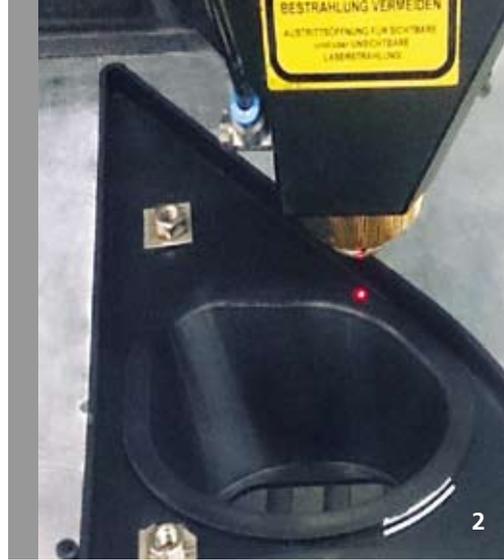
Ansprechpartner

Dipl.-Wirt.Ing. Christoph Engelmann
Telefon +49 241 8906-217
christoph.engelmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

2 Querschliff eines T-Stoßes mit Strukturierung unter 45° Anstellwinkel.

3 T-Stoß einer Metall-Kunststoff-Verbindung.



MODULARE FERTIGUNGSKETTE FÜR KUNSTSTOFFFAHRZEUG-AUSSENHAUT-KOMPONENTEN

Aufgabenstellung

Die Individualisierung von Fahrzeugen erfordert insbesondere bei Kleinserienmodellen flexible Fertigungsverfahren, die eine modulare Gestaltung und Ausrüstung von Automobilkomponenten ermöglichen. Anhand des Elektrofahrzeugs StreetScooter sollen hierfür neue laserbasierte Prozesse mit Kostensenkungspotenzial identifiziert und optimiert werden.

Vorgehensweise

Für das Konzept der modularen Bauteilfertigung werden drei Modelle des StreetScooters betrachtet, deren Außenspiegelbefestigungen sich in der Anzahl der Hutzen unterscheiden (Bild 1). Durch Modularisierung der Fertigungskette werden zunächst Basisplatte und Hutzen separat spritzgegossen. Mithilfe von Laserbearbeitungsprozessen werden in die Basisplatten die notwendigen Durchbrüche geschnitten und die Hutzen im Durchstrahlverfahren angeschweißt. Durch eine geeignete Wahl von Farbstoffen und Absorbieren kann ein homogener Farbeindruck erzeugt und gleichzeitig eine gute Verschweißbarkeit gewährleistet werden, um beide Teile mit einer unsichtbaren Naht zu verbinden. Schließlich wird eine Metall-Kunststoff-Hybridverbindung erzeugt, bei der die

notwendigen Anbindungselemente aus Metall an ihrer Unterseite strukturiert werden, um sie mittels Formschluss mit der Basisplatte zu verbinden. Durch indirekte Erwärmung dringt dabei die Kunststoffschmelze in die eingebrachten Strukturen des Anbindungselements ein und bildet nach dem Abkühlen eine feste Verbindung.

Ergebnis

Durch die modulare Fertigungskette auf Basis von Laserbearbeitungsprozessen konnte die Anzahl erforderlicher Spritzgusswerkzeuge und damit die Fertigungskosten für die Spiegeldreiecke bei gleichbleibender Bauteilvarianz deutlich gesenkt werden.

Die vorgestellte Prozesskette wurde im Rahmen des Projekts »KMUProduction.NET-Mittelstandsgerechte Komponenten- und Fahrzeugproduktion in NRW« (Förderkennzeichen: 300109102) erarbeitet, dessen übergeordnetes Ziel es ist, für die Fertigung praxisorientierte und kostengünstige Lösungen zu entwickeln und dadurch klein- und mittelständische Unternehmen zur Komponenten-, Elektro- und Kleinfahrzeugproduktion zu befähigen.

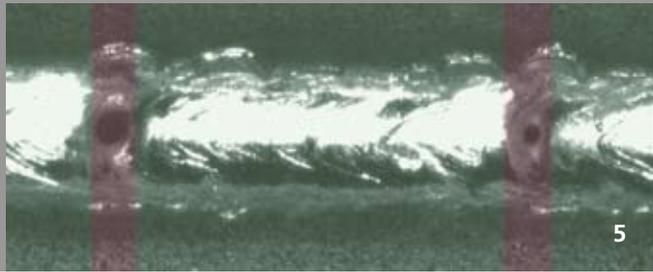
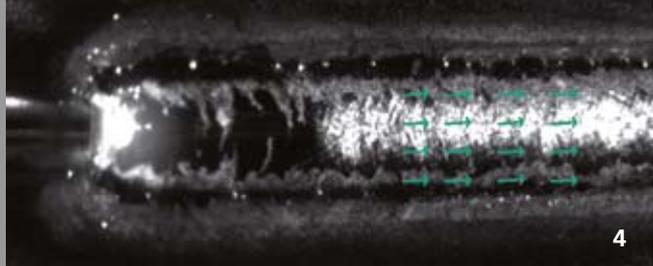
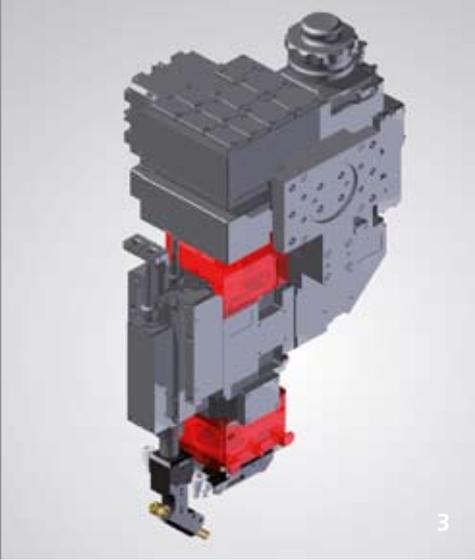
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Viktor Mamuschkin
 Telefon +49 241 8906-8198
 viktor.mamuschkin@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
 Telefon +49 241 8906-491
 alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

1 Modellvarianten des StreetScooters.

2 Anschweißen der Hutzen an die Basisplatte.



QUALITÄTSSICHERUNG FÜR DAS LASERSTRAHL- HARTLÖTEN

Aufgabenstellung

Das Laserstrahlhartlöten ist in der Automobilindustrie ein etabliertes Fügeverfahren. Die zweiteilige Heckklappe aber auch die Dachnaht werden mit diesem Fügeverfahren gefügt. Die entstehende Sichtnaht wird oft auch als stilistisches Element im Karosseriedesign verwendet. Dementsprechend sind die Anforderungen an die optische Erscheinung der Lötnaht sehr hoch und machen eine Qualitätskontrolle unumgänglich.

Vorgehensweise

Im Rahmen des erfolgreichen Industrieprojekts »SintALO - Sensorintegration in die ALO3« entwickelte das Fraunhofer ILT in Kooperation mit und für die Firma Scansonic MI GmbH ein echtzeitfähiges Qualitätsüberwachungssystem, welches vollständig in die adaptive Löt Optik ALO3 integriert ist. Dank der koaxial integrierten Hochgeschwindigkeitskamera kann der Laserstrahlhartlötprozess visualisiert werden, ohne dass die Bauteilzugänglichkeit des Bearbeitungskopfs beeinträchtigt wird. Zusätzlich sorgt ein leistungsstarkes, richtungsunabhängiges und ebenso vollständig integriertes Beleuchtungsmodul für eine gleichmäßige Ausleuchtung des gesamten Kamerabilds und ermöglicht so die Anwendung von robusten Bildverarbeitungsalgorithmen.

Ergebnis

Neben der Visualisierung des Lötprozesses mit bis zu 350 Bildern pro Sekunde wurden echtzeitfähige Algorithmen zur Beurteilung der Lötqualität und zur Überwachung von Verfahrensparametern implementiert:

- Mittels eines Klassifikationsalgorithmus können auch kleinste Poren mit einem Durchmesser von 200 µm detektiert werden.
- Die Vorschubgeschwindigkeit wird durch Berechnung eines Verschiebungsvektors zweier aufeinanderfolgender Bilder der koaxialen Kamera ermittelt.

Beide Auswerteverfahren sind durch die Programmierung eines Field Programmable Gate Arrays (FPGA) in Echtzeit anwendbar. Somit können die gemessenen Verfahrensparameter in Regelanwendungen genutzt werden.

Anwendungsfelder

Das vollständig integrierte und damit industrietaugliche Sensorsystem bietet auch über das Laserstrahlhartlöten hinaus tiefe Einblicke in die Lasermaterialbearbeitung wie z. B. Laserlöten, -schweißen oder -schneiden. Die bildgebende Prozessüberwachung bietet stets die Grundlage zur Steigerung des Prozessverständnisses sowie zur vollständigen Dokumentation der Produktqualität.

Ansprechpartner

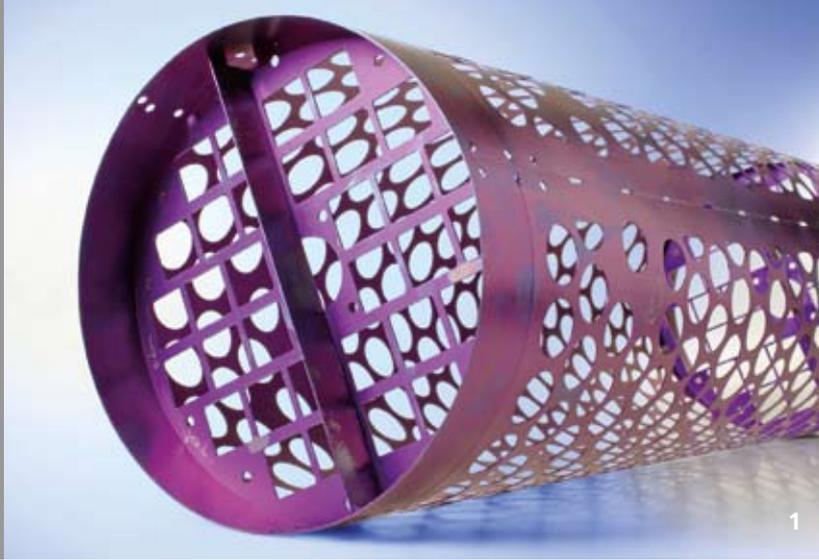
Dipl.-Phys. Michael Ungers
Telefon +49 241 8906-281
michael.ungers@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon +49 241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

3 ALO3 mit voll integriertem Sensorsystem.

4 Visualisierung des Laserstrahlhartlötens mit Messung der Vorschubgeschwindigkeit in Echtzeit.

5 Porenerkennung.



PRÄZISIONSSCHWEISSEN VON SENSORTRÄGERN IN DER RAUMFAHRT

Aufgabenstellung

Die Raumsonde Solar-Orbiter untersucht die Wechselwirkung zwischen Sonne und Heliosphäre. Einer der Sensoren an Bord des Satelliten ist STIX, dessen Aufgabe die bildgebende Spektroskopie von thermaler und nicht-thermaler Röntgenstrahlung der Sonne ist. Für diesen Sensor ist ein Tragrohr zu fertigen, das den mechanischen und thermischen Belastungen in Transport und Operation standhält.

Vorgehensweise

Ausgehend von einer Basiskonstruktion aus Aluminium wird eine steifere, thermisch stabilere und leichtere Konstruktion angestrebt. Für diese wird ein zugeschnittenes Schweißverfahren inklusive der Wärmebehandlung und Oberflächenbehandlung entwickelt. Die Fertigung ist unterteilt in eine Entwicklungs- und eine Produktionsphase. Das Gesamtprojekt wird nach Richtlinien der ESA dokumentiert.

Ergebnis

Angesichts der hohen Belastungen wurde die ursprüngliche Konstruktion aus einer Aluminiumlegierung verworfen und durch einen Aufbau aus hochfestem Titan abgelöst. Durch die hohe Festigkeit konnte die Wandstärke reduziert werden, so dass das Bauteil insgesamt leichter wurde.

Unter Berücksichtigung der kleinen Wandstärken von 0,5 und 1 mm bei gleichzeitig hoher Fertigungsgenauigkeit wurde ein spezielles Vorrichtungskonzept entwickelt, das Laserstrahlschweißen mit integrierter Schutzgasführung ermöglicht. Verfahren, Maschine und Schweißer wurden nach den Regeln der ESA abgenommen.

Nach dem Schweißen wurde das Bauteil einer Wärmebehandlung zum Spannungsarmglühen unterzogen, um die engen Toleranzen bezüglich Maß- und Formgenauigkeit einzuhalten. Thermische und mechanische Eigenschaften sowie die Beständigkeit der Oberfläche wurden durch Anodisieren verbessert.

Anwendungsfelder

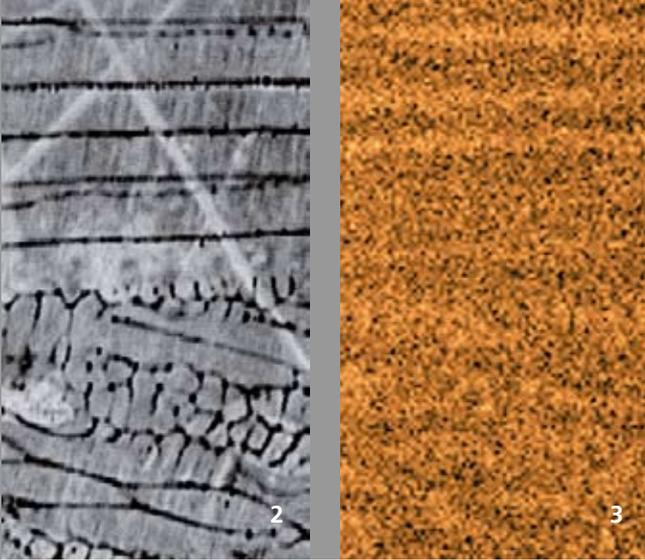
Die beschriebene Entwicklung ist eine klassische Einzelstückfertigung für die Raumfahrt. Es konnte gezeigt werden, dass die Fertigung weiterer Komponenten für Instrumente und Tragstrukturen unter den branchenspezifischen Anforderungen möglich ist. In terrestrischen Anwendungen wurden Informationen über das Materialverhalten, speziell für das Schweißen dünnwandiger Titanrohre, gewonnen. Anwendungsfelder sind hier insbesondere der Apparatebau und der Entwurf von Zentrifugen, wo neue Lösungsmöglichkeiten erschlossen wurden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Martin Dahmen
Telefon +49 241 8906-307
martin.dahmen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon +49 241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

1 Ansicht des Trägers von der Objektivseite.



LASERSTRAHLSCHWEISSEN HOCHMANGANHALTIGER STÄHLE

Aufgabenstellung

Supraduktile Stähle sind in der Lage, unter dynamischer Belastung hohe Energien zu absorbieren. Dies macht sie zu idealen Materialien für den Bau von Komponenten für den Aufprallschutz im Fahrzeugbau. Als kostengünstiges Herstellungsverfahren steht das Doppelwalzengießen (TRC) zur Verfügung. Hohe Kohlenstoffgehalte, Seigerung von Mangan und Einschlüsse stehen in dem Verdacht, die Schweißbeignung zu begrenzen. Daher sind Schweißbeignung und mechanische Eigenschaften geschweißter Stähle am Stumpfstoß zu prüfen.

Vorgehensweise

Nach Festlegung von Parametern und Führung des Verfahrens wurden die metallurgischen Effekte und die mechanischen Eigenschaften ermittelt. Die zerstörende Prüfung erfolgte im quasistatischen und dynamischen Zugversuch sowie in Crashversuchen. Die Untersuchungen wurden an Legierungen mit 17 und 30 Massenprozent Mangan sowie 0,3 und 0,6 Massenprozent Kohlenstoff durchgeführt.

Ergebnis

Eine Studie an 1,5 mm starken Blechen zeigte, dass Schweißen unter den Parametern für austenitische Stähle möglich ist. Ein Wurzelschutz ist anzuwenden, um eine hohe Qualität der Unterraue zu erreichen und den Abbrand von Mangan zu begrenzen. Auf der Strahlseite ist eine lokale Beschickung mit

Schutzgas ausreichend. Damit konnte der Verlust an Mangan auf 1 Prozent absolut begrenzt werden. Die innere Seigerung von Mangan beträgt etwa 2 Prozent, wobei das Mangan sich an den Dendritengrenzen anreichert.

Im Zugversuch brachen aluminiumlegierte Sorten außerhalb der Schweißnaht. Eine aluminiumfreie Legierung brach in der Schweißnaht, wobei die Zugfestigkeit um 50 Prozent reduziert war, die Bruchdehnung von 40 Prozent aber erhalten wurde. Nach der Verformung unter Crash-Bedingungen zeigte sich in den Schweißnähten kein Versagen.

Anwendungsfelder

Anwendung finden hochduktiler Stähle vorrangig im Fahrzeugbau bei der Abstimmung von Verformung und Festigkeit der Gesamtstruktur. Hierfür sind Crashboxen in Automobilen und Eisenbahnwaggons zwei Beispiele. Auch im Hochbau können diese Werkstoffe zum Kollisionsschutz, z. B. für Prellböcke und Leitplanken, Verwendung finden. In Verbindung mit dem Doppelwalzengießen kann durch Nachschalten einer Profilier- und Schweißlinie eine ressourcenschonende und energieeffiziente Komponentenfertigung aufgebaut werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Martin Dahmen
Telefon +49 241 8906-307
martin.dahmen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon +49 241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

2+3 *Gefüge und Manganverteilung
in der Schweißnaht.*

4 *Verformte Probe aus Fe-0,3C-18Mn-1,5Al.*



SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN VON FVK-LEICHTBAUTEILEN

Aufgabenstellung

Alle Fahrzeughersteller müssen in Europa bis 2020 die durchschnittlichen CO₂-Emissionen ihrer Fahrzeuge unter 95 Gramm pro Kilometer senken, was einem Kraftstoffverbrauch von rund vier Litern Benzin pro 100 Kilometern entspricht. Innovative Leichtbaukonzepte auf Basis von faserverstärkten thermoplastischen Kunststoffen (TP-FVK) können hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten. Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Einsatz der TP-FVK-Bauteile ist jedoch eine deutliche Senkung der Fertigungskosten und der Fertigungszeit bei gleichzeitiger Steigerung der Bauteilkomplexität.

Vorgehensweise

Mit einem neuen laserbasierten Ansatz soll eine innovative Prozesskette umgesetzt werden, die mit wenigen Prozessschritten zu einer schnellen, serientauglichen und automatisierten Fertigung von Strukturbauteilen aus TP-FVK führt. Zunächst wird im Faserspritzverfahren ein leicht handhabbarer 3D-Preform mit einstellbarer Faserorientierung hergestellt, der anschließend in einem variothermen Werkzeug mit metallischen Inserts ausgestattet und konsolidiert wird. Die abschließenden Prozessschritte sind das Laserschweißen der Teilkomponenten zur Steifigkeitserhöhung und das Laserschneiden zum Besäumen des Bauteils. Mit diesen Technologien lässt sich eine wirtschaftliche Prozesskette für leichte Bauteile mit hohen Steifigkeiten realisieren.

1 *Besäumschnitt des Demonstratorbauteils.*

2 *Leichtbaukomponente eines Nutzfahrzeugsitzes.*

Ergebnis

Mit der beschriebenen Prozesskette wurden Komponenten für LKW-Sitze gefertigt. Das zur Erhöhung der Steifigkeit zweischalig aufgebaute Bauteil wurde am Rand umlaufend mit einem Diodenlaser geschweißt und mit einem CO₂-Laser am Rand der Schweißnaht besäumt. Mit einer Linienoptik (Spot ~ 1 x 10 mm²) wird mit einer Schweißgeschwindigkeit von 30 mm/s eine Prozesszeit von ca. 1,5 Minuten erreicht. Die Bearbeitungszeit für den Schneidprozess in dem 6 mm dicken Material (Glasfaser/Polyamid, Faseranteil 60 Gew.%) beträgt ebenfalls ca. 1,5 Minuten.

Anwendungsfelder

Die in dieser Prozesskette demonstrierten Verfahren zum Schweißen und Schneiden thermoplastischer FVK-Bauteile bieten für die Herstellung unterschiedlichster Bauteile und Materialvarianten eine Alternative zur mechanischen Bearbeitung und zum Kleben.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben »InProLight« wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 02PJ2070ff durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Wirt.Ing. Christoph Engelmann
Telefon +49 241 8906-217
christoph.engelmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Frank Schneider
Telefon +49 241 8906-426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de



LASERSCHNEIDEN VON FASERVERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFEN

Aufgabenstellung

Die Verfügbarkeit von effizienten Prozessketten zur Herstellung von Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen (FVK) ist eine entscheidende Voraussetzung für die weitere Verbreitung von FVK-Leichtbaukomponenten. Trennverfahren werden sowohl für den Zuschnitt von Rohmaterial und Halbzeugen wie auch häufig für die abschließenden Arbeitsschritte an ausgehärteten bzw. konsolidierten Teilen zum Besäumen von Rändern oder Schneiden von Löchern benötigt. Laserschneiden bietet durch den verschleiß- und kräftefreien Betrieb inhärente Vorteile gegenüber mechanischen Trennverfahren oder Wasserstrahlschneiden. Der Schneidprozess muss dabei so gestaltet werden, dass die thermische Materialbelastung an der Schnittkante minimal ist und die Bearbeitungsgeschwindigkeit einen wirtschaftlichen Einsatz erlaubt.

Vorgehensweise

Die Vielfalt von Materialien und Verarbeitungsformen von faserverstärkten Kunststoffen bedingt eine Anpassung des Schneidprozesses an die Schneidaufgabe. Insbesondere die Absorptionseigenschaften und thermischen Größen der Werkstoffe, wie Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärme, erfordern eine exakte Anpassung der Bearbeitungsstrategie. Bei glasfaserverstärktem Material oder trockenen carbonfaserverstärkten Kunststoff (CFK)-Fasern erfolgt deshalb der Schnitt in einem Schritt, während bei CFK-Bauteilen die Schnittfuge durch Materialabtrag in mehreren Zyklen gebildet wird.

Ergebnis

Mit dem Verfahren des Laserstrahlschneidens werden gleichbleibend hochwertige Schnittkanten erzeugt. Die Verwendung von Lasern im multi-kW Bereich ermöglicht Schnittgeschwindigkeiten von mehreren Metern/Minute. Beispielsweise können mit einem Single-mode Faserlaser Bauteile aus CFK mit 2 mm Wandstärke mit einer effektiven Geschwindigkeit von 15 m/min getrennt werden. Die wärmebeeinflusste Zone der Schnittkante ist dabei $< 200 \mu\text{m}$.

Anwendungsfelder

Die Entwicklung effizienter Schneidverfahren für Löcher und Kantenbeschnitt in CFK und GFK wird durch den zunehmenden Einsatz dieser Materialien in der Luftfahrt und Automobilbranche gefördert, aber auch die Produktion im Bereich Maschinenbau, Behälterbau, Freizeit- und Sportartikel profitiert von Laserschneidverfahren für FVK.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts »FibreChain« gefördert.

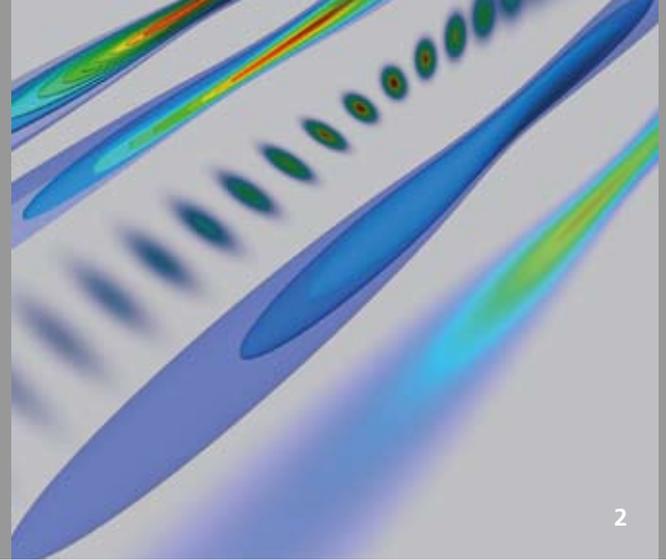
Ansprechpartner

Dr. Frank Schneider
Telefon +49 241 8906-426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon +49 241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

3 Laserschneiden von glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK).

4 Schnittkante an einem CFK-Profil.



LASERSCHNEIDEN MIT ELLIPTISCHER STRAHLFORMUNG

Aufgabenstellung

Das Präzisionsschneiden mittels Laserstrahl spielt in der metallverarbeitenden Industrie eine zentrale Rolle. Unter den Hochleistungslasern sind Festkörperlaser im Vergleich zu CO₂-Lasern zwar deutlich effizienter, die Qualität der Schnitte im Dickblechbereich ist aufgrund des instabileren Prozesses jedoch ungenügend. Die Forschungsaktivitäten in diesem Bereich haben zum Ziel, durch Strahlformung die Qualität der Schnitte mit Festkörperlasern entscheidend zu verbessern. Die höchste Absorption der Strahlung von Festkörperlasern ($\lambda \approx 1 \mu\text{m}$) wird bei Metallen unter einem Winkel von ca. 11° zur Oberfläche erzielt. Steht die Schneidfront unter diesem Winkel zum einfallenden Laserstrahl, wird nicht nur die Energieeinkopplung maximiert sondern auch die Schmelzfilmdynamik stabilisiert. Letztere hat eine geringe Rautiefe und damit eine verbesserte Schnittqualität zur Folge.

Vorgehensweise

Durch eine geeignete Strahlformung kann die Einkopplung der Laserstrahlung in den Werkstoff verbessert werden. Insbesondere soll durch eine elliptische Intensitätsverteilung im Strahlfokus die gewünschte Neigung der Schneidfront bei gleichzeitig schmaler Schneidfuge eine Erhöhung

der Absorption bewirken. In Simulationsrechnungen zur Modellierung der Rauheit werden elliptische Strahlen mit unterschiedlicher Elliptizität erprobt. Anhand der Ergebnisse wird ein Optikdesign ausgelegt und realisiert, das eine der Simulation entsprechende Strahlform erzeugt sowie eine variable Einstellung der Elliptizität des Strahls ermöglicht. In Schneiduntersuchungen an 8 mm dicken Edelstahlblechen wird ein breiter Parameterbereich untersucht. Darüber hinaus wird der Prozess mit einer High-Speed-Kamera beobachtet, um herauszufinden, wie die Schmelzbaddynamik durch die unterschiedliche Strahlformung beeinflusst wird.

Ergebnis

Erste experimentelle Ergebnisse zeigen bereits reduzierte Riefen- und Bartbildung gegenüber vergleichbaren Schnitten mit symmetrischem Strahl. Mit Hilfe der Prozessbeobachtung konnte das Prozessverständnis über die Bildung von Schmelzfilminstabilitäten verbessert werden.

Anwendungsfelder

Die Ergebnisse dieser Forschung adressieren Hersteller von Laserschneidanlagen und sollen eine Effizienzsteigerung und mehr Wirtschaftlichkeit der Anlagen bewirken. Gefördert wird die Forschung im Rahmen des EU-Projekts HALO (High Power Adaptable Laser Beams for Materials Processing).

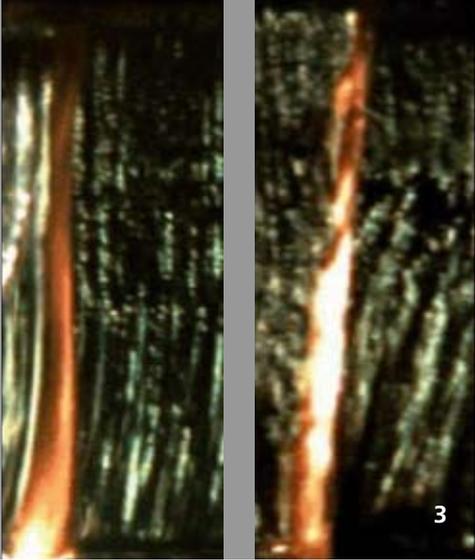
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Stoyan Stoyanov
Telefon +49 241 8906-8080
stoyan.stoyanov@ilt.fraunhofer.de

Dr. Markus Niessen
Telefon +49 241 8906-8059
markus.niessen@ilt.fraunhofer.de

1 Beobachtung des Schneidprozesses
mit einer High-Speed-Kamera.

2 Simulierte Form und Intensitätsverteilung
eines elliptischen Strahls.



IN-SITU-DIAGNOSE BEIM LASERSTRAHLSCHNEIDEN

Aufgabenstellung

Instabilitäten der Laserschneidfront verursachen beim Laserstrahlschneiden unerwünschte Qualitätseinbußen in Form von Abtrag- und Erstarrungsriefen und können bis zur Bartbildung führen. Zur In-situ-Diagnose der Schmelz- und Erstarrungsdynamik beim Laserstrahlschmelzschneiden wird ein Besäumschnittprüfstand realisiert, um eine optische Zugänglichkeit der Schneidfuge während des Prozesses zu ermöglichen.

Vorgehensweise

Bei Besäumschnitten wird entlang einer bestehenden geradlinigen Werkstückflanke geschnitten. Der Laserstrahl wird relativ zu dieser Schnittflanke um weniger als eine Schnittfugenbreite in Richtung Blech versetzt. Eine zylinderhalbschalenförmige Schneidfront sowie eine neue Schnittflanke werden erstellt. Ohne Zusatzmaßnahmen expandiert der Schneidgasstrahl bei Besäumschnitten in den durch die fehlende zweite Schnittflanke freigegebenen Halbraum. Zur Beibehaltung eines geführten Überschallgasstrahlverlaufs entlang des Schmelzfilms wird die fehlende Schnittflanke durch eine transparente Ersatzflanke aus Quarzglas simuliert. Eine Bewegung des Schutzglases parallel zur Schnittflanke sowie ein definierter Spalt zwischen Schutzglas und Schnittflanke führen dazu, dass sowohl der thermische als auch der stoffliche Einfluss des Schutzglases reduziert werden.

Ergebnis

Der mobile Besäumschnittprüfstand wird den Einsatz an verschiedenen Lasersystemen ermöglichen. Eine Variation der Schneidgeschwindigkeit für verschiedene Materialdicken, die Schutzfensterbewegung sowie die automatische Justage des Strahlversatzes und somit die Besäumschnittbreite werden durch Anwendung automatischer Linearachsen ermöglicht. Während des Schneidens werden die sonst nicht zugänglichen dynamischen Vorgänge an der Schneidfront durch die transparente Schutzglasscheibe mit einer Hochgeschwindigkeits-Videokamera aufgezeichnet.

Anwendungsfelder

Die In-situ-Diagnose der Vorgänge bei der Schnittflankenbildung ist die Basis für die Entwicklung von angepassten Prozessparametern zur Reduktion der Schnittflankenrauigkeit bei gleichzeitiger Vermeidung von Bartbildung. Neben der Verständnissteigerung beim Schneidprozess wird das gesammelte Wissen auch Vorteile für andere schmelzebehaftete Prozesse, wie etwa das Laserstrahlschweißen, bringen.

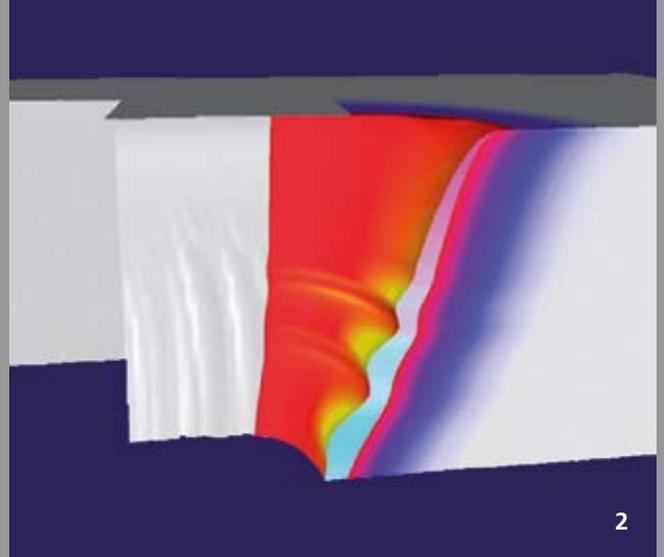
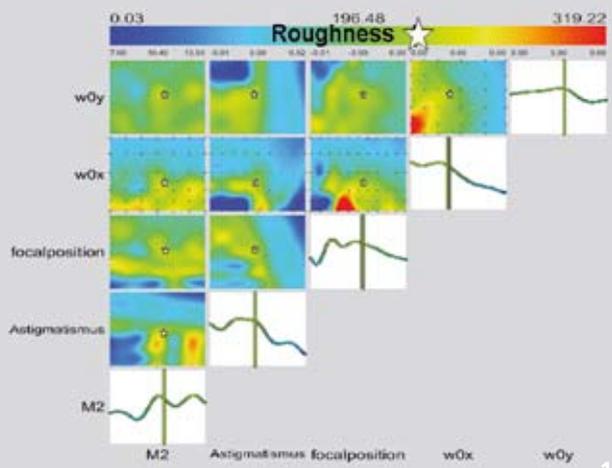
Die Arbeiten wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 1120 gefördert.

Ansprechpartner

M.Sc. Dennis Arntz
Telefon +49 241 8906-642
dennis.arntz@ilt.rwth-aachen.de

Dr. Dirk Petring
Telefon +49 241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

*3 Besäumschnittaufnahmen erstellt mit provisorischem Prüfstand.
4 Entwurf des neuen automatisierten Besäumschnittprüfstands.*



METAMODELLIERUNG UND DIE PARAMETRISCHE OPTIMIERUNG DES LASERSCHNEIDENS

Aufgabenstellung

Die Parameter eines zum Laserschneiden einzusetzenden elliptischen Laserstrahls und daraus folgend die Parameter der erzeugenden Optik sind Gegenstand einer numerischen Analyse mit dem Ziel einer schnittkantenrauheitsoptimierten Auslegung der erzeugenden Optik.

Vorgehensweise

Die Analyse beginnt mit dem Erzeugen einer multi-dimensionalen sogenannten Prozesslandkarte mit den Strahlparametern eines Laserstrahls mit elliptischem Intensitätsprofil aus einem bereits entwickelten Schneidmodell (siehe Bild 2). Daran schließt sich eine Sensitivitätsanalyse und eine automatisierte oder optional interaktive Suche nach Optima im Parameterraum an. Die Exploration des in diesem Fall untersuchten fünf-dimensionalen Parameterraums ist ohne die geschaffene virtuelle Prozesslandkarte nicht denkbar. In Zusammenarbeit mit der VR-Gruppe der RWTH Aachen University wird im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktion« (siehe www.production-research.de) an einer nutzerfreundlichen,

interaktiven Darstellung/Visualisierung der Prozesslandkarte gearbeitet (siehe Bild 1), damit diese Technologie auch für andere Laserfertigungsverfahren und in Produktionsumgebungen einsetzbar ist.

Ergebnis

Mit der geschaffenen multi-dimensionalen sogenannten Prozesslandkarte, die die Strahlparameter eines elliptischen Strahls enthält, ist es nun erstmals möglich, eine kontinuierliche Darstellung der Wirkung von Strahleigenschaften auf Prozesseigenschaften (hier: die Rauheit der entstehenden Schnittkanten) zu explorieren. Diese Prozesslandkarte liegt nun zunächst für das Fertigungsverfahren des Laserschneidens vor und wurde darüber hinaus bereits zur parametrischen Auslegung einer Schneidoptik im von der EU-geförderten Projekt »HALO« (siehe www.halo-project.eu) eingesetzt. Optimale Strahlparameter wurden ermittelt und zum Design einer neuen Schneidoptik eingesetzt.

Anwendungsfelder

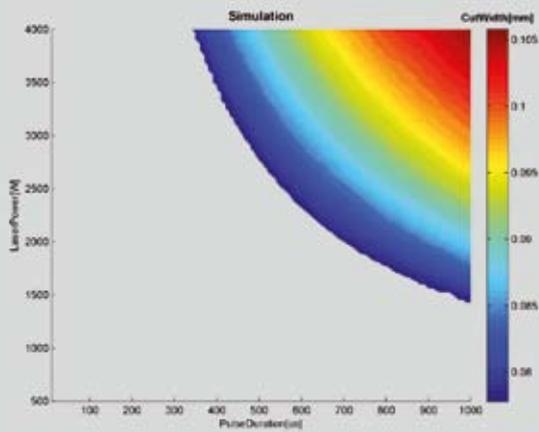
Dieselbe Vorgehensweise ist exemplarisch für alle Laserfertigungsverfahren, bei denen eine parametrische Optimierung möglich und sinnvoll ist bzw. bei solchen, für die eine Übersicht über Lösungseigenschaften des korrespondierenden physikalischen Systems gewünscht ist.

Ansprechpartner

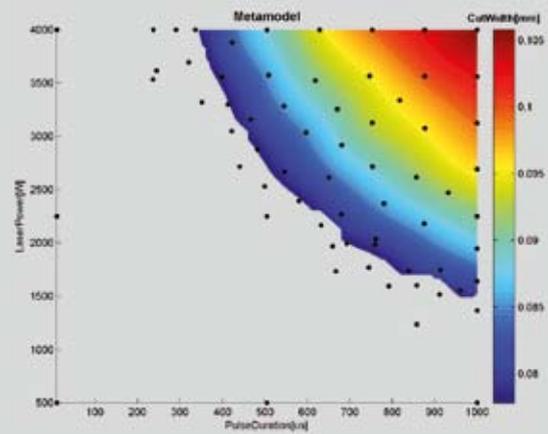
Dipl.-Phys. Urs Eppelt
Telefon +49 241 8906-163
urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de

M.Sc. Toufik Al-Khawli
Telefon +49 241 8906-8060
toufik.al.khawli@ilt.fraunhofer.de

- 1 *Durch Simulation erstellte Prozesslandkarte des Laserschneidens.*
- 2 *Schneidsimulation.*



3



4

METAMODELLIERUNG ZUR ANALYSE MULTI-DIMENSIONALER PARAMETER- ABHÄNGIGKEITEN

Aufgabenstellung

Die physikalischen Grenzen (z. B. die sogenannte Trenngrenze beim Laserschneiden) von Laserfertigungsverfahren sind einerseits für das Prozessverständnis von Interesse. Sie müssen aber auch deshalb im Rahmen einer numerischen Modellierung erkannt werden, damit sich Modelle zur Darstellung von Parameterabhängigkeiten (sogenannte Metamodelle) und deren Analyse auf den physikalisch und technisch sinnvollen Bereich des Parameterraums beschränken/konzentrieren können, d. h. z. B. auf den Bereich, in dem ein Schnitt überhaupt möglich ist.

Vorgehensweise

Die Erkennung von Prozessgrenzen wird im Kontext der Metamodellierung deshalb verfolgt, weil sie eine wichtige Rolle bei der Abtastung des Parameterraums (dem sogenannten Sampling) mittels Simulationen oder Realexperimenten spielt. Diese Erkennung wird iterativ während der Abtastung des Parameterraums mit entsprechenden Prozesssimulationen betrieben.

Ergebnis

Sogenannte Smart-Sampling-Methoden zur prozessangepassten Abtastung des multi-dimensionalen Parameterraums eines Laserfertigungsverfahrens sind entwickelt. Diese Methoden basieren auf einer Unterteilung des Parameterraums nach der Klassifikation in zulässige und nicht-zulässige Domänen. Das Smart-Sampling erkennt zulässige Domänen automatisch und erhöht nur in diesen die Abtastung des Parameterraums mit Simulationen, um dort eine Verbesserung der Modellgüte zu erreichen.

Anwendungsfelder

Anwendbar ist die entwickelte Vorgehensweise des Smart-Sampling für alle Zwecke des »Design of Experiment« (DOE), wobei unter Experimenten auch numerische Experimente zu verstehen sind.

Ansprechpartner

M.Sc. Toufik Al Khawli
Telefon +49 241 8906-8060
toufik.al.khawli@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Urs Eppelt
Telefon +49 241 8906-163
urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de

- 3 Simulationsvorhersage aus
10.000 numerischen Simulationen.
4 Metamodellvorhersage aus
65 Stützstellen (schwarze Punkte).



LASER-BASED EQUIPMENT ASSESSMENT

Aufgabenstellung

Techniker und Wissenschaftler in Industrie und Forschung demonstrieren in ihren Labors Ansätze zur Lösung aktueller Fragestellungen im Bereich der laserbasierten Fertigung. Viele dieser Ansätze sind technologisch vielversprechend, während ihre Umsetzung mit einem signifikanten wirtschaftlichen Risiko verbunden ist. Oftmals verbleiben solche Ansätze wegen unbestimmtem Risiko und Marktpotenzial im Status des Laborexperiments.

Vorgehensweise

Der Entwurf und die Anwendung einer Vorgehensweise zur systematischen Begleitung des Technologieentwicklungsprozesses hat das Potenzial, diese Risiken zu minimieren und den Erfolg sicherzustellen.

Bei der Demonstration des Funktionsprinzips auf dem Labor-tisch bis hin zur Validierung eines Prototypen in industrieller Umgebung spielt die Beteiligung aller relevanten Interessensgruppen eine wesentliche Rolle. So führt ein Team, bestehend aus dem Lieferant der späteren Lösung, dem Anwender und dem Forschungspartner, ein sogenanntes Assessment durch. Im Verlauf des Assessments identifiziert das Team die Anforderungen an den Ausrüstungsgegenstand, die Maßnahmen zur Implementation notwendiger Entwicklungsschritte und vergleicht die erreichten Ergebnisse kontinuierlich mit der Zieldefinition.

Ergebnis

Unter dem Dach von LASHARE werden vierzehn einzelne Laser-based Equipment Assessments (LEAs) durchgeführt. Die Teams erstellen in den vier Phasen des Assessment Circles einen auf den Bedarf des Anwenders ausgerichteten Prototypen, der durch den Forschungspartner wissenschaftlich abgesichert und durch den Lieferanten industriell robust implementiert wird.

Anwendungsfelder

Die »Laser-based Equipment Assessments« werden vom LASHARE-Konsortium ausgestaltet und erprobt und eröffnen durch einen OpenCall im Frühjahr 2015 neuen Teams die Möglichkeit, geförderte Assessments durchzuführen. Als Koordinator ist das Fraunhofer ILT eines von sechs europäischen Kompetenzzentren, die Laser-based Equipment Assessments anbieten.

Das Projekt wird durch die EU unter dem Förderkennzeichen 609046 gefördert.

Ansprechpartner

M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) B.Eng.(hon) Ulrich Thombansen
Telefon +49 241 8906-320
ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon +49 241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

TECHNOLOGIEFELD LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE

Die Schwerpunkte des Technologiefelds Lasermesstechnik und EUV-Technologie liegen in der Fertigungsmesstechnik, der Materialanalytik, der Identifikations- und Analysetechnik im Bereich Recycling und Rohstoffe, der Mess- und Prüftechnik für Umwelt und Sicherheit sowie dem Einsatz von EUV-Technik. In der Fertigungsmesstechnik werden Verfahren und Systeme für die Inline-Messung physikalischer und chemischer Größen in einer Prozesslinie entwickelt. Schnell und präzise werden Abstände, Dicken, Profile oder die chemische Zusammensetzung von Rohstoffen, Halbzeugen oder Produkten gemessen.

Im Bereich Materialanalytik wurde profundes Know-how mit spektroskopischen Messverfahren aufgebaut. Anwendungen sind die automatische Qualitätssicherung und Verwechslungsprüfung, die Überwachung von Prozessparametern oder die Online-Analyse von Abgasen, Stäuben und Abwässern. Je genauer die chemische Charakterisierung von Recyclingprodukten ist, umso höher ist der Wiederverwertungswert. Die Laser-Emissionsspektroskopie hat sich hier als besonders zuverlässige Messtechnik erwiesen. Neben der Verfahrensentwicklung werden komplette Prototypanlagen und mobile Systeme für den industriellen Einsatz gefertigt.

In der EUV-Technik entwickeln die Experten Strahlquellen für die Lithographie, die Mikroskopie, die Nanostrukturierung oder die Röntgenmikroskopie. Auch optische Systeme für Applikationen der EUV-Technik werden berechnet, konstruiert und gefertigt.

LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE



INHALT

Inline-Messungen von Wellen	124
Verwechslungsprüfung verzunderter Walzblöcke	125
Hybride Laseridentifikation bewegter Stoffströme – HyLIBS	126
Werkstofferkennung für das Recycling von Feuerfestmaterialien	127
Nahfeldmikroskopie an Galliumnitrid	128
Strahlungsquelle für die nächste Generation der Lithographie im Extrem Ultraviolett	129
EUV-Reflektometrie zur Charakterisierung dünner Schichten	130



1



2

INLINE-MESSUNGEN VON WELLEN

Aufgabenstellung

Stetig wachsende Anforderungen an die Toleranzen von Wellen, wie Nocken-, Antriebs- oder Kurbelwellen, erfordern neue optische Sensoren mit Sub-Mikrometer Präzision, die in einer Fertigungslinie die Maßhaltigkeit von Wellen berührungslos prüfen.

Vorgehensweise

Im Rahmen der Vorlaufforschung hat das Fraunhofer ILT den neuen absolut messenden interferometrischen Sensor »bd-1« entwickelt, der die Grenzen herkömmlicher Triangulationssensoren überwindet. Der Sensor hat einen kompakten rotationssymmetrischen Messkopf mit bidirektionaler Strahlführung. Hin- und Rückstrahl verlaufen entlang derselben Linie. Dies bietet entscheidende Vorteile bei der Integration dieser Sensorik in Prüfmaschinen. Durch das interferometrische Prinzip trägt »bd-1« seinen Maßstab quasi in sich, erreicht dadurch höchste Präzision und bietet eine hohe Dynamik bezüglich der am Messobjekt gestreuten Strahlung.

1 *Prüfung von Form- und Lagetoleranzen an einer Nockenwelle.*

2 *Exponat des Fraunhofer ILT auf der Control 2014, Nockenwellenmessung mit »bd-1«.*

Ergebnis

»bd-1« erreicht eine Messfrequenz von bis zu 70 kHz und eine Messgenauigkeit von besser als 200 nm in einem Messbereich von 8 mm. Der Messkopf hat eine Größe von beispielsweise 55 mm x 18 mm (L x Ø) und ist über einen Lichtwellenleiter mit einer Messeinheit verbunden. Aufgrund seiner hohen Dynamik können nahezu alle Arten metallischer Oberflächen, d. h. glänzende, geschliffene oder raue Oberflächen, gemessen werden. Zudem kann »bd-1« auch Rauheitskenngrößen erfassen. Die Sensorik »bd-1« wurde auf der Control 2014 erstmals für die Inline-Prüfung von Nockenwellen dem Fachpublikum vorgestellt.

Anwendungsfelder

»bd-1« ist prädestiniert für die Inline-Messung geometrischer Größen metallischer Halbzeuge, wie alle Arten von Wellen aber auch Blechen, Umform- oder Prägeteilen bis zu Werkzeugen. Hohe Genauigkeit und Messfrequenz bei kompakter Bauform erlauben die einfache Integration in Bearbeitungs- oder Prüfmaschinen und erschließen eine neue Stufe der Inline-Prüfung geometrischer Größen für eine effiziente Prozessführung.

Dieses Projekt wird finanziell durch die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.

Ansprechpartner

Dr. Stefan Hölter
Telefon +49 241 8906-436
stefan.hoelters@ilt.fraunhofer.de

Priv.-Doz. Dr. Reinhard Noll
Telefon +49 241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



VERWECHSLUNGS- PRÜFUNG VERZUNDERTER WALZBLÖCKE

Aufgabenstellung

Auch bei weitgehend automatisierten Produktionsabläufen ist stets ein Risiko von Materialverwechslungen gegeben. So werden beim Walzen von Stahlblöcken mehrere Hundert unterschiedliche Güten verarbeitet, deren Einschleusung am Anfang der Walzstraße meist manuell gesteuert wird, so dass Verwechslungen nicht vollständig ausgeschlossen sind. Diese können erhebliche wirtschaftliche Schäden zur Folge haben, angefangen bei Schäden an Werkzeugen in der Fertigungslinie bis hin zu Folgeschäden bei Anwendern. Um solche Verwechslungen vor der Verarbeitung zu erkennen, soll eine Prüfung aller eingesetzten Blöcke hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung durchgeführt werden.

Vorgehensweise

Die Laser-Emissionsspektroskopie (LIBS) zur quantitativen Analyse von Metallen und zur Verwechslungsprüfung von Halbzeugen hat sich auch unter industriellen Einsatzbedingungen bewährt. Die Herausforderungen in diesem Vorhaben liegen in der Vielzahl der Materialien und der Primärzunderschicht der Stranggussblöcke, die somit eine nicht-repräsentative Oberflächenschicht aufweisen. Mit einer auf Abtrag optimierten Laserpulsfolge kann jedoch das zu analysierende Grundmaterial lokal freigelegt und in einem weiteren Schritt – ebenfalls per Laser – direkt in der Produktionslinie analysiert werden.

Ergebnis

Im Labor wurde die lasergestützte Entzunderung im Hinblick auf eine hinreichende Abtragtiefe sowie die LIBS-Analyse entwickelt. Sowohl der Abtrag als auch die Analyse werden mit dem gleichen Laser durchgeführt. Bei Taktzeiten von unter einer Minute wird die Optik an die Position der angehaltenen Walzblöcke angepasst und die Verwechslungsprüfung durchgeführt. Mit einem Funktionsmuster wird das Verfahren vor Ort auf seine Eignung hin untersucht und Betriebserfahrungen gewonnen.

Anwendungsfelder

Der primäre Einsatzbereich ist die Analyse verzunderter Metallblöcke sowie weiterer verzunderter Zwischenprodukte in der Metallverarbeitung. Ein weiteres Anwendungsfeld der Kombination aus Abtrag und Analyse ist die Messung von Tiefenprofilen der chemischen Zusammensetzung bis in eine Tiefe von mehreren mm.

Das Vorhaben wurde durch die Europäische Union und das Land NRW kofinanziert.

Ansprechpartner

Dr. Volker Sturm
Telefon +49 241 8906-154
volker.sturm@ilt.fraunhofer.de

Dr. Cord Fricke-Begemann
Telefon +49 241 8906-196
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de

*3 Ausschnitt eines Stranggussblocks
mit Verzunderung.*



1



2

HYBRIDE LASERIDENTIFIKATION BEWEGTER STOFFSTRÖME – HYLIBS

Aufgabenstellung

Die Erzeugung von Stoffströmen definierter Zusammensetzung ist für das werkstoffliche Recycling von Sekundärrohstoffen und für die Gewinnung von mineralischen Rohstoffen ein notwendiger vorgeschalteter Prozess. Die hierfür erforderliche Inline-Analytik ist bislang jedoch nur zum Teil verfügbar. Am Fraunhofer ILT wurde ein Inline-Verfahren zur Laser-Direktanalyse an bewegten Objekten entwickelt, das für die Sortierung von metallischen Produktionsschrotten mit flacher Geometrie bereits erfolgreich erprobt werden konnte. Um dieses Verfahren auch für andere Anwendungsfälle einsetzbar zu machen und damit weitere wirtschaftlich interessante Märkte zu erschließen, soll es auf Stoffströme aus Einzelkörnern mit beliebigen 3D-Geometrien übertragen werden.

Vorgehensweise

Im Projekt HyLIBS wurde die Laser-Emissionsspektroskopie (LIBS) mit einer Laser-Lichtschnitt-Erfassung der Oberflächengeometrie und einer optischen Erkennung zu einem integrierten Verfahrensansatz kombiniert. Hierbei wird aufgrund von Oberflächenmerkmalen bewegter Stoffströme eine Optimierung der Messpositionen vorgenommen. Die Geometrieinformationen werden verwendet, um die Abhängigkeit der Analyseergebnisse von der Material-Topografie zu minimieren und zusätzliche Kriterien für die Objektklassifizierung zu gewinnen.

1 Ausschleusung des Stückguts nach der Laser-Direktanalyse.

2 iSort-Sortieranlage.

Ergebnis

Mit HyLIBS wird ein Laser-Messverfahren bereitgestellt, das eine Inline-Analyse von wirtschaftlich bedeutsamen Materialdurchsätzen, insbesondere bei metallischen Schredderschrotten, ermöglicht. Als kombiniertes Verfahren mit einfachen Schnittstellen kann es von Kunden ohne erheblichen eigenen Entwicklungsaufwand in eine Prozesslinie integriert werden. Die entwickelten Lösungen wurden in der iSort-Demonstrationsanlage am Fraunhofer ILT umgesetzt.

Anwendungsfelder

Eine LIBS-gestützte Sortierung eignet sich besonders, um in kürzester Zeit anhand einer Multi-Elementanalyse eine Unterscheidung und Klassifizierung von unterschiedlichen Materialien durchzuführen. Dabei können sowohl verschiedene Metalle wie Stahl, Aluminium, Kupfer, Zink und Titan getrennt als auch eine feine Differenzierung einzelner Legierungen erreicht werden. Die neue Demonstrationsanlage kann flexibel auf unterschiedliche Materialien angepasst werden, um Lösungen für kundenspezifische Sortieraufgaben praxisnah zu erarbeiten.

Die Arbeiten wurden mit Mitteln der Fraunhofer-Gesellschaft gefördert.

Ansprechpartner

M.Sc. Sven Connemann
Telefon +49 241 8906-8050
sven.connemann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Cord Fricke-Begemann
Telefon +49 241 8906-196
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de



WERKSTOFFERKENNUNG FÜR DAS RECYCLING VON FEUERFESTMATERIALIEN

Aufgabenstellung

Feuerfestmaterialien sind ein wesentliches Element in allen Hochtemperaturprozessen und stellen einen erheblichen globalen Markt dar. Das Recycling von Feuerfestmaterialien hat ein hohes Potenzial, um die Entstehung von Abfällen zu verhindern und den Verbrauch von Primärrohstoffen zu reduzieren. Aufgrund der unterschiedlichen thermischen, chemischen und mechanischen Beanspruchungen wird eine Vielzahl von Materialien verwendet, vorwiegend auf Basis von Aluminium-, Calcium- und Magnesiumoxiden. Um ein hochwertiges Recycling und die Wiederverwendung von Feuerfestmaterialien zu gewährleisten, ist eine effiziente Trennung der verschiedenen Arten auf der Basis ihrer chemischen Zusammensetzung erforderlich.

Vorgehensweise

Gemeinsam mit europäischen Partnern wird eine Technologie für die automatische Sortierung der Feuerfestmaterialien aus der Stahlproduktion ohne Zerkleinerung entwickelt. Für die direkte chemische Analyse wird das Verfahren der Laser-Emissionsspektroskopie (LIBS) verwendet, um jeden Feuerfeststein mit Massen bis über 10 kg einzeln zu untersuchen und in einer Sortiermaschine in die zugehörige Materialfraktion auszubringen.

Ergebnis

Mit den LIBS-Messungen können direkt die Hauptbestandteile der Materialien für eine erste Sortierstufe bestimmt werden. Weitere Zuschlagstoffe werden ebenfalls erkannt, so dass auch die Aufteilung in eine große Zahl von Unterklassen möglich wird. Die LIBS-Messungen erfolgen in weniger als einer Sekunde und verwenden eine Serie von Laserpulsen, um auch bei verunreinigten Oberflächen ein für das darunterliegende Material repräsentatives Ergebnis zu erzielen. Die Arbeiten im Verbund haben gezeigt, dass diese Identifizierung unter den industriellen Anforderungen mit anderen Messtechniken nicht möglich ist.

Anwendungsfelder

Eine LIBS-gestützte Sortierung eignet sich besonders, um in kürzester Zeit anhand einer Multi-Elementanalyse eine Unterscheidung und Klassifizierung unterschiedlicher Feuerfestmaterialien durchzuführen. Das Verfahren kann auch für andere Mineralien und oxidische Materialien eingesetzt werden.

Dieses Projekt wird finanziell durch die Europäische Union und die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.

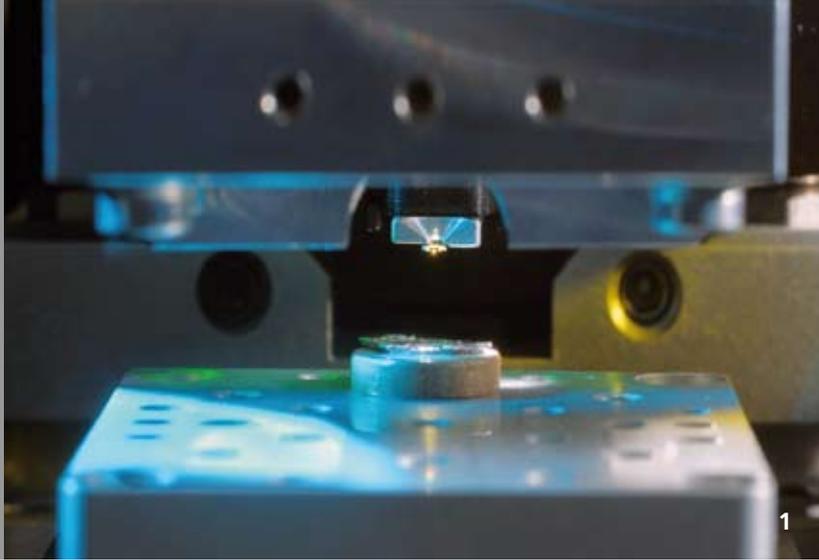
Ansprechpartner

Dr. Cord Fricke-Begemann
Telefon +49 241 8906-196
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de

M.Sc. Sven Connemann
Telefon +49 241 8906-8050
sven.connemann@ilt.fraunhofer.de

3 *Verschiedene Feuerfestmaterialien.*

4 *Laser-Direktanalyse an einem Feuerfeststein.*



NAHFELDMIKROSKOPIE AN GALLIUMNITRID

Aufgabenstellung

Galliumnitrid (GaN) gilt als schwer erzeug- und kontrollierbares Material. Aus ihm werden blaue Leuchtdioden hergestellt, für deren Entwicklung der Physik-Nobelpreis 2014 vergeben wurde. Mit der Analyse und Verbesserung dieses Materials beschäftigen sich Wissenschaftler und Ingenieure weltweit. Am Fraunhofer ILT wurde in enger Kooperation mit dem I. Physikalischen Institut (IA) der RWTH Aachen University eine Analysemethodik entwickelt, mit deren Hilfe sich die strukturellen und elektronischen Eigenschaften von Galliumnitrid und Galliumnitrid-Verbindstoffen erstmals optisch im Nanometerbereich untersuchen lassen.

Vorgehensweise

Die Auflösung konventioneller optischer Mikroskope stößt bei Objekten im Nanometerbereich an ihre physikalischen Grenzen. Kleine Strukturen im Nanometerbereich, wie sie unter anderem in modernen Halbleiterbauelementen vorliegen, lassen sich nicht mehr getrennt auflösen. Optische Analysen sind auf diesem Wege ausgeschlossen. Die Methodik der Nahfeldmikroskopie umgeht diese grundlegende Beschränkung und dringt auf optischem Weg in den Nanometerbereich vor. Der Einsatz eines am Fraunhofer ILT entwickelten IR-Lasers erlaubt eine detaillierte Analyse des Materials GaN.

Ergebnis

Das Nahfeldmikroskop gekoppelt mit der neu entwickelten Laserstrahlungsquelle erlaubte es erstmals, verschiedene GaN-Wafer im Querschnitt hochauflösend zu charakterisieren. An einem undotierten GaN-Wafer konnte die Relaxation der Kristallstruktur entlang der Wachstumsrichtung hochauflösend untersucht werden. An einem vielschichtigen Wafer für die LED-Produktion gelang es, sowohl die Dotierungen der einzelnen Schichten zu bestimmen als auch kleinste Unterschiede innerhalb der Schichten aufzuzeigen.

Anwendungsfelder

In enger Kooperation mit den Entwicklern neuer Halbleiterbauelemente kann die Methode zum Beispiel helfen, die Prozessparameter gezielt zu optimieren. In einem sehr frühen Entwicklungsstadium können die physikalischen Vorgänge, insbesondere an den Grenzflächen der einzelnen Schichten, durch die Analyse besser verstanden werden. Diese Erkenntnisse können schließlich die nachfolgenden Entwicklungsschritte maßgeblich bestimmen. Auch im Bereich der Hochfrequenz- und Leistungselektronik setzt sich das Halbleitermaterial GaN aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften immer weiter durch. Nahfeldmikroskopische Analyseverfahren im Infraroten sind für die Untersuchung dieser Materialien prädestiniert.

Ansprechpartner

Dr. Fabian Gaußmann
Telefon +49 241 8906-489
fabian.gaussmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Christoph Janzen
Telefon +49 241 8906-8003
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de



2



3

STRAHLUNGSQUELLE FÜR DIE NÄCHSTE GENERATION DER LITHOGRAPHIE IM EXTREM ULTRAVIOLETT

Aufgabenstellung

Neben den bei der Lithographie benötigten Strahlungsquellen für die Produktion zukünftiger Computerchips werden auch Quellen für die Metrologie benötigt. Gefragt sind vorzugsweise kostengünstige und kompakte Strahlungsquellen, die dennoch eine hohe Leistungsdichte und Brillanz aufweisen. Die Anwendungsmöglichkeiten liegen insbesondere in der Messtechnik und Technologieentwicklung für die Lithographie um die Zentralwellenlänge bei 6.x nm, die als möglicher Nachfolger für die aktuell untersuchte Technologie bei einer Arbeitswellenlänge von 13,5 nm angesehen wird. Bislang sind kompakte Strahlungsquellen für 6.x nm nicht verfügbar.

Vorgehensweise

In der Vergangenheit wurde am Fraunhofer ILT ein kompaktes, entladungsbasiertes System entwickelt, welches seit 2013 kommerziell verfügbar und im Umfeld der EUV-Lithographie bei 13,5 nm eingesetzt wird. In dem Konzept wird durch einen elektrischen gepulsten Strom einer Entladung ein Gas so stark verdichtet und aufgeheizt, dass charakteristische Strahlung emittiert wird. Dabei gibt es nur wenige Einschränkungen bezüglich des Arbeitsgases, woraus sich eine hohe spektrale Flexibilität ergibt. In aktuellen Untersuchungen wird das Potenzial dieses Konzepts bzgl. der effizienten Anregung von Strahlung um 6.x nm ausgelotet.

Ergebnis

Durch Verwendung von Krypton als Arbeitsgas und Anpassung der Entladungsparameter konnten Photonenflüsse erzeugt werden, die erste Anwendungen, wie z. B. die Charakterisierung von Optiken, ermöglichen. Bisher erreichte Repetitionsraten bei stabilem Betrieb liegen bei bis zu 1000 Hz. Im Spektralbereich zwischen 6 nm und 7 nm werden aktuell Werte von 15 W / (2π sr) erreicht.

Neben der Anwendung von Krypton werden als Arbeitsgase auch Stickstoff (mit einer Strahlstärke der Emissionslinie bei $\lambda = 2,88$ nm von 15 W / (2π sr)) und Xenon (40 W / (2π sr) @ 13,5 nm +/- 1%) verwendet.

Anwendungsfelder

- Maskeninspektion für die XUV-Lithographie
- Technologieentwicklung im XUV-Umfeld, z. B. Resistentwicklung, Charakterisierung von Optiken
- XUV-basierte Metrologie für die Nanowissenschaften

Ansprechpartner

M.Sc. Alexander von Wezyk
Telefon +49 241 8906-376
alexander.von.wezyk@ilt.fraunhofer.de

Dr. Klaus Bergmann
Telefon +49 241 8906-302
klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de

2 *Strahlungsquelle für extrem ultraviolettes Licht.*

3 *Aufnahme des Pinchplasmas (VIS-Anteil) der XUV-Strahlungsquelle.*



EUV-REFLEKTOMETRIE ZUR CHARAKTERISIERUNG DÜNNER SCHICHTEN

Aufgabenstellung

Winkelaufgelöste Reflektometrie im streifenden Einfall mit polychromatischer, extrem-ultravioletter Strahlung (EUV) im Bereich von 5 - 40 nm ermöglicht es, dünne Schichten auf der Nanometer-Skala zu charakterisieren. Zusammensetzung, Dicke und Oberflächenrauigkeit eines Schichtsystems lassen sich indirekt aus dessen Reflektivität bestimmen. Bisher waren solche Messungen nur an kostenintensiven Synchrotron-basierten Strahlquellen möglich, wobei jeweils die Wellenlänge und der Einfallswinkel schrittweise variiert werden mit langen Messzeiten von einigen Stunden.

Vorgehensweise

Zur Messung der spektral- und winkelaufgelösten Spektren wird EUV-Licht einer polychromatischen Plasmaquelle verwendet. Diese wird mit jeweils einem Spektrographen vor und nach der Reflexion an der Probe detektiert, um aus dem Verhältnis der Spektren auf die Reflektivität der Probe zu schließen. Mit einem Umlenkspiegel, der parallel zur Probe auf einem gemeinsamen Rotationstisch montiert ist, können unterschiedliche Einfallswinkel durch die Reflexion am Umlenkspiegel ausgeglichen werden. Durch Modellierung eines Schichtsystems und Annäherung des vom Schichtsystem resultierenden Reflektivitätsspektrums an das gemessene Spektrum kann auf die Eigenschaften der Probe geschlossen werden. Die typische Messdauer beträgt dabei einige Minuten.

Ergebnis

Die Methode wurde auf verschiedene industrierelevante Proben angewendet. Hierfür wurden Proben mit verschiedenen Dicken von HfO_2 auf einem Siliziumsubstrat hergestellt und untersucht. Die hergestellte Schichtdickenvariation zwischen 1 nm und 9 nm HfO_2 konnte mit der Methode ebenso nachgewiesen werden wie eine parasitäre SiO_2 -Zwischenschicht mit einer Dicke von 0,2 nm.

Anwendungsfelder

Das neu entwickelte Verfahren zur winkelaufgelösten Messung von Reflektivitäten ist besonders geeignet für Anwendungen in der Halbleiterindustrie, welche auf Siliziumtechnologien beruhen, da der Spektralbereich der verwendeten Plasmaquelle auf die Silizium-L-Kante bei 12,4 nm zugeschnitten ist.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des EFRE-Programms für Nordrhein-Westfalen im Ziel »Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung« 2007-2013 unter dem Förderkennzeichen 300169702 gefördert.

Ansprechpartner

Dr. Serhiy Danylyuk
Telefon +49 241 8906-525
serhiy.danylyuk@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jochen Stollenwerk
Telefon +49 241 8906-411
jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de

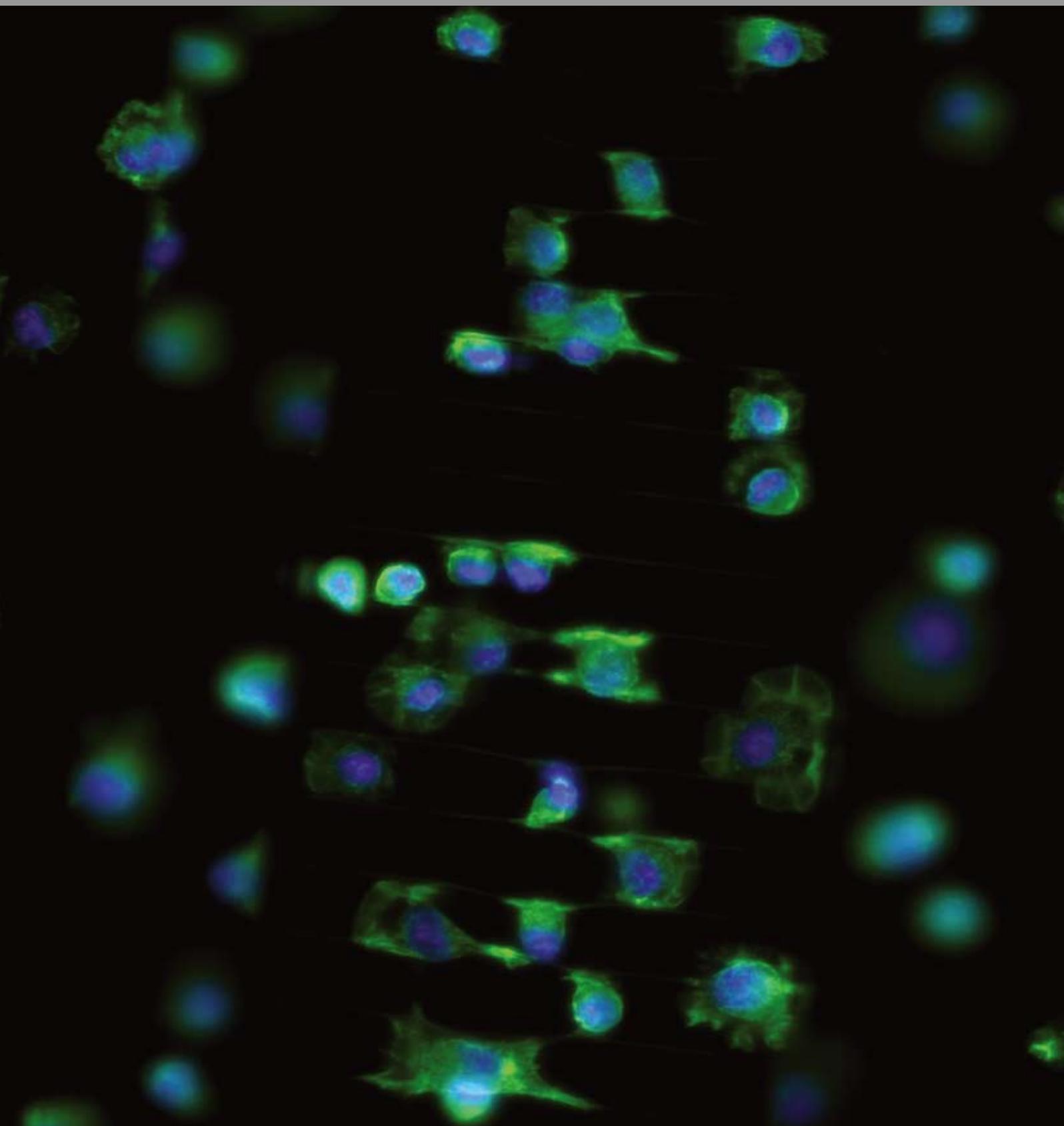
TECHNOLOGIEFELD MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK

Gemeinsam mit Partnern aus den Life Sciences erschließt das Technologiefeld Medizintechnik und Biophotonik neue Einsatzgebiete des Lasers in Therapie und Diagnostik sowie in Mikroskopie und Analytik. Mit dem Selective Laser Melting Verfahren werden generativ patientenindividuelle Implantate auf der Basis von Computertomografie-Daten gefertigt. Die Materialvielfalt reicht von Titan über Polylactid bis hin zu resorbierbarem Knochenersatz auf Kalzium-Phosphat Basis.

Für Chirurgie, Wundbehandlung und Gewebetherapie werden in enger Kooperation mit klinischen Partnern medizinische Laser mit angepassten Wellenlängen, mikrochirurgische Systeme und neue Lasertherapieverfahren entwickelt. So werden beispielsweise die Koagulation von Gewebe oder der Präzisionsabtrag von Weich- und Hartgewebe untersucht.

Die Nanoanalytik sowie die Point-of-care Diagnostik erfordern kostengünstige Einweg-Mikrofluidikbauteile. Diese werden mit Hilfe von Laserverfahren wie Fügen, Strukturieren und Funktionalisieren mit hoher Genauigkeit bis in den Nanometerbereich gefertigt. Die klinische Diagnostik, die Bioanalytik und die Lasermikroskopie stützen sich auf das profunde Know-how in der Messtechnik. Im Themenbereich Biofabrication werden Verfahren für in vitro Testsysteme oder Tissue Engineering vorangetrieben. Mit der Nanostrukturierung und der photo-chemischen Oberflächenmodifikation leistet das Technologiefeld einen Beitrag zur Generierung biofunktionaler Oberflächen.

MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK



INHALT

Selective Laser Melting von polymerbasierten bioresorbierbaren Implantaten	134
Implantatfertigung aus CoCr mittels SLM und Laserstrahlpolieren	135
Biokompatibles Photoharz für die Stereolithographie	136
Definierte Mikroumgebungen für die 3D-Zellkultur Nanostrukturierung mit Mehrstrahl-Interferenz-Verfahren	137 138
Simulation der pH-gepufferten Biodegradation	139
Simulation der antimikrobiellen photodynamischen Therapie	140
Diodenlasermodul mit zehn einzeladressierbaren fasergekoppelten Emittern	141
2-Wellenlängenlaser zur Weichgewebekoagulation	142
Schneller miniaturisierter Laserscanner	143

*Fluoreszenzaufnahme der auf den
Proteinfasern wachsenden Zellen
(Grün: Zytoskelet, Blau: Zellkern).*



SELECTIVE LASER MELTING VON POLYMERBASIERTEN BIORESORBIERBAREN IMPLANTATEN

Aufgabenstellung

Verbundwerkstoffe aus Polylactid, β -Tricalciumphosphat (β -TCP) und Calciumcarbonat bieten die Möglichkeit, bioresorbierbare Knochenersatzimplantate mit steuerbarer Resorptionskinetik und einstellbaren mechanischen Eigenschaften herzustellen. Bisher mangelt es jedoch an einem formgebenden Fertigungsverfahren, das die Herstellung von patientenindividuellen Implantaten mit interkonnektierender Porenstruktur ermöglicht, um das Einwachsen des Knochens zu optimieren. In Zukunft könnte das Selective Laser Melting (SLM) die Fertigung solcher maßgeschneiderter Implantate ermöglichen. Am Fraunhofer ILT wurde die Verarbeitung eines Verbundwerkstoffs aus Polylactid und β -TCP mittels SLM bereits im Labormaßstab realisiert. Da die bisher erzielte Aufbaurate im Hinblick auf eine industrielle Umsetzung des Verfahrens jedoch zu gering ist, wird eine Produktivitätssteigerung angestrebt.

Vorgehensweise

Um die Aufbaurate zu erhöhen, werden SLM-Prozess und Werkstoff gezielt aufeinander abgestimmt. Prozessseitig werden die SLM-Verfahrensparameter (z. B. Scangeschwindigkeit und Laserleistung) variiert und an den Werkstoff angepasst. Werkstoffseitig werden der Füllstoffgehalt sowie die Polymerkettenlänge variiert, um die Verarbeitbarkeit des Werkstoffs zu verbessern.

Ergebnis

Durch eine geeignete Anpassung der SLM-Verfahrensparameter und der Werkstoffzusammensetzung kann eine 14-fache Steigerung der realen Aufbaurate erzielt werden. Hierbei wird für einfache Probekörper eine Bauteildichte > 95 Prozent erreicht. Zusätzlich werden komplexe Geometrien mit interkonnektierender Porenstruktur hergestellt. Im nächsten Schritt soll eine Verbesserung des Werkstoffs durch die Zugabe von pufferfähigem Calciumcarbonat zur Neutralisation der sauren Abbauprodukte des Polylactids erfolgen.

Anwendungsfelder

Das Verfahren kann für die Fertigung von patientenindividuellen bioresorbierbaren Knochenersatzimplantaten genutzt werden, wobei das Hauptanwendungsfeld der Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich ist. Die Arbeiten erfolgten im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts »ActiveBone« im Auftrag der EOS GmbH, der SCHAEFER KALK GmbH & Co. KG sowie der Karl Leibinger Medizintechnik GmbH & Co. KG.

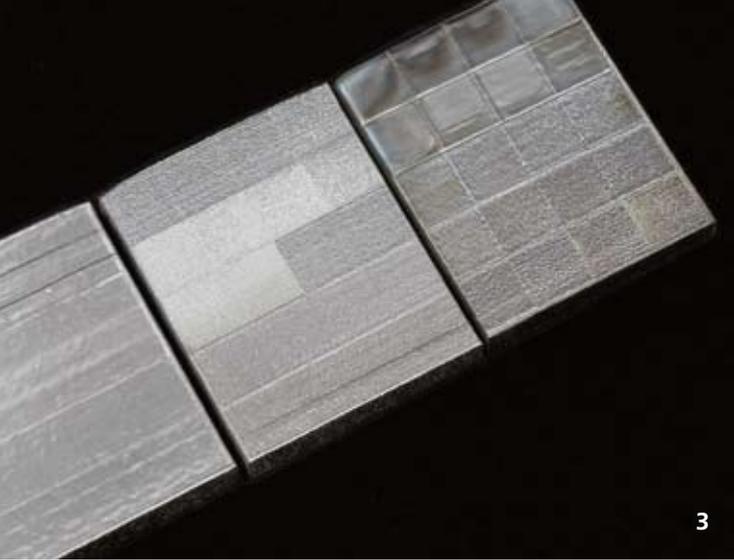
Ansprechpartner

M.Sc. Christoph Gayer
Telefon +49 241 8906-8019
christoph.gayer@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Lucas Jauer
Telefon +49 241 8906-360
lucas.jauer@ilt.fraunhofer.de

1 Mittels SLM gefertigtes bioresorbierbares
Schädelimplantat (\varnothing ca. 65 mm).

2 Detailaufnahme der interkonnektierenden
Porenstruktur (\varnothing Porenkanal: 0,7 mm).



3



4

IMPLANTATFERTIGUNG AUS COCR MITTELS SLM UND LASERSTRAHLPOLIEREN

Aufgabenstellung

In den letzten Jahren ist eine stetige Zunahme von Operationen für die Implantation von Knieprothesen zu verzeichnen. Im Vergleich zu Standard-Knieprothesen sind patientenindividuelle Knieprothesen hinsichtlich der Lebensdauer und Funktionalität vorteilhaft. Unter Zuhilfenahme moderner bildgebender Verfahren wie CT, MRT oder US kombiniert mit einer personalisierten biomechanischen Simulation kann ein individuelles Kniegelenk rekonstruiert werden. Heutzutage werden die meisten Knieimplantate aus CoCr mittels Gießen und spanender Nachbearbeitung hergestellt. Die Funktionsfläche (Gleitfläche auf dem Femur) wird überwiegend manuell poliert. Ein neuer Ansatz ist die Kombination des additiven Herstellungsverfahrens SLM mit der Nachbearbeitung mittels Laserpolieren. Daher ergibt sich die Aufgabenstellung, eine SLM-Prozessführung mit anschließender Nachbearbeitung mittels Laserpolieren für CoCr nach der Norm ASTM F75 für die Herstellung von Knieimplantaten zu realisieren.

Vorgehensweise

Im ersten Schritt werden Verfahrensparameter zur Verarbeitung von CoCr mittels SLM mit einer Dichte $> 99,8$ Prozent erarbeitet und die Oberflächenqualität der SLM-Prothesen mit der Anpassung der Verfahrensparameter im Konturbereich signifikant verbessert. Im zweiten Schritt werden die Verfahrensparameter für das Laserpolieren erarbeitet und auf die relevante 3D-Geometrie der Gleitfläche einer Knieprothese übertragen.

Ergebnis

Im Ergebnis wurden Verfahrensparameter für das SLM ermittelt, die eine Dichte $\rho \geq 99,8$ Prozent und eine mittlere Oberflächenrauheit von $Ra < 7 \mu m$ ergeben. Eine Knieprothese mit einer Standardgröße wurde mittels SLM hergestellt. Des Weiteren wurden Verfahrensparameter für das Laserpolieren von SLM Proben aus CoCr ermittelt. Nach dem Laserpolieren beträgt die mittlere Oberflächenrauheit $Ra < 0,3 \mu m$. Die Machbarkeit der Herstellung und Nachbearbeitung wurde am Beispiel einer Knieprothese gezeigt.

Anwendungsfelder

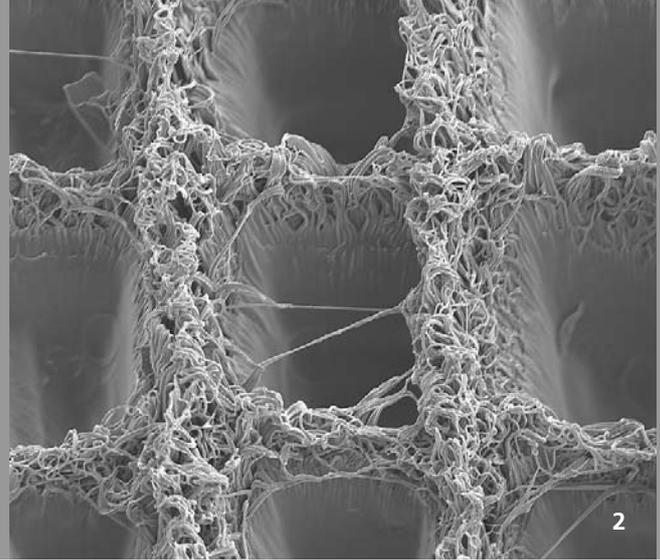
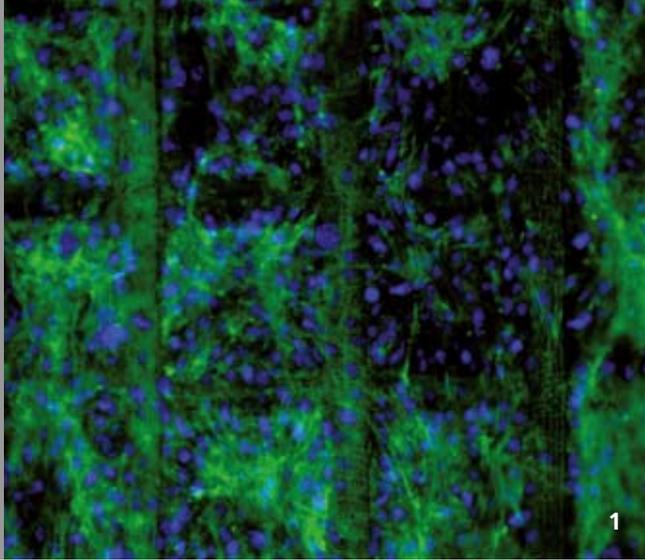
Das Vorhaben wird im Rahmen des NRW-geförderten Projekts »RapidGEN« durchgeführt. Die aktuellen Forschungen zur SLM Verarbeitung von CoCr adressieren die Prothesenfertigung im medizinischen Bereich und sind auf andere Anwendungen mit CoCr als Werkstoff übertragbar.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Liyaowei Shen
Telefon +49 241 8906-8092
liyaowei.shen@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Ingo Ross
Telefon +49 241 8906-8196
ingo.ross@ilt.fraunhofer.de

3 Laserpolierte SLM Proben aus CoCr.
4 SLM gefertigte Knieprothese,
Gleitfläche teilweise laserpoliert.



BIOKOMPATIBLES PHOTOHARZ FÜR DIE STEREOLITHOGRAPHIE

Aufgabenstellung

Das Tissue Engineering ist ein Wissenschaftsgebiet, bei dem durch die Kombination von Zellbiologie, generativer Verfahrenstechniken und chemischer Materialentwicklung biologische Gewebe ersetzt oder repariert werden sollen. Ein Ansatz des Tissue Engineering ist die additive Herstellung von Gerüststrukturen, die mit körpereigenen Zellen besiedelt und kultiviert werden. Durch die Verwendung von mechanischen und biologischen Stimuli lassen sich dadurch künstliche gewebeartige Strukturen herstellen. Die Herausforderung dabei ist, dass die verwendeten Gerüststrukturen dabei den spezifischen Anforderungen im Hinblick auf die mechanische Stabilität, Elastizität und Biokompatibilität genügen. Gleichzeitig müssen sich 3D-Freiformen mit Auflösungen im Bereich von $\sim 10 \mu\text{m}$ patientenorientiert herstellen lassen.

Vorgehensweise

Durch eine lokale photochemische Polymerisierung lassen sich schichtweise 3D-Polymerbauteile aufbauen. Die Monomere werden hier über Thiol-En Click Chemie vernetzt, wodurch sich der Einsatz von potenziell zytotoxischen Faktoren, z. B. Photoinitiatoren und Absorbern, minimieren lässt. Über lithographiebasierte 3D-Druckverfahren wie das digital light processing (DLP) oder die Stereolithographie (SLA) können somit elastische und wasserquellbare 3D-Polymerbauteile hergestellt werden.

1 *Lichtmikroskopische Fluoreszenzaufnahme eines zellbesiedelten Scaffolds (grün: Cytoskelett, blau: Zellkerne).*

2 *REM-Aufnahme eines biokompatiblen Scaffolds.*

Ergebnis

Es konnte ein Photoharz für die generative Herstellung von biokompatiblen und elastischen Polymer-3D-Freiformen entwickelt werden. Über Proliferations- und Zytotoxizitätstests wurde die Biokompatibilität der Polymere nachgewiesen und nach einer Beschichtung mit Poly-L-Lysin konnte eine Zelladhäsion von Fibroblasten an der Oberfläche gezeigt werden.

Anwendungsfelder

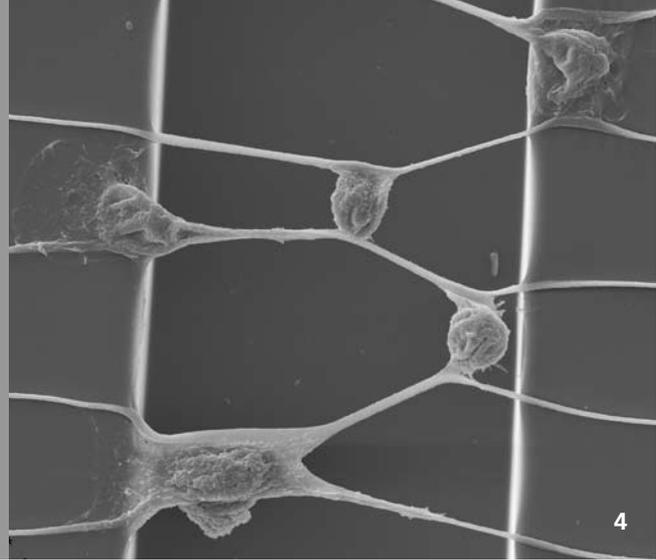
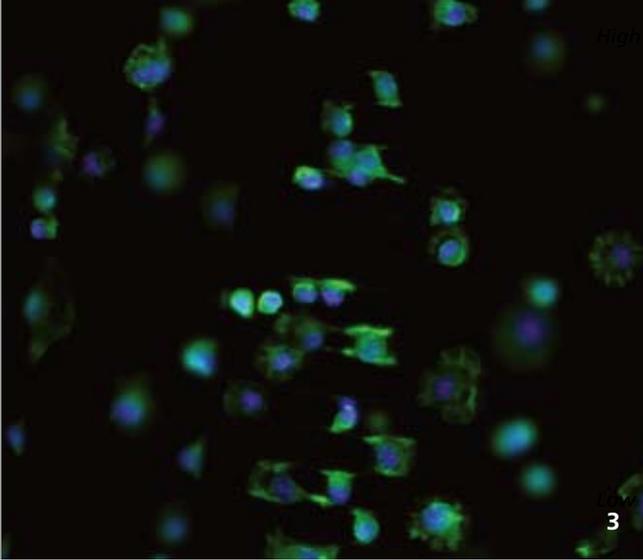
Die Anwendung des neuen Materials liegt primär in der Herstellung von Stützgerüsten für Implantate und Zell-Assays. Darüber hinaus sind die materialtechnischen Untersuchungen die Basis für eine neue Klasse stereolithographisch verarbeitbarer Werkstoffe auch für technische Anwendungen.

Das Projekt wurde durch den Exploratory Research Space der RWTH Aachen und durch die Hans Hermann Voss-Stiftung finanziert.

Ansprechpartner

M.Sc. Andreas Hoffmann
Telefon +49 241 8906-447
andreas.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Chem. Holger Leonards
Telefon +49 241 8906-601
holger.leonards@ilt.fraunhofer.de



DEFINIERTE MIKROUMGEBUNGEN FÜR DIE 3D-ZELLKULTUR

Aufgabenstellung

Zellbiologische Untersuchungen erfolgen heute überwiegend auf einer zweidimensionalen harten Oberfläche, wie z. B. einer Petrischale. Diese Umgebung entspricht jedoch nicht der natürlichen Umgebung von Zellen, die im lebenden Organismus eingebettet sind in ein dichtes Netz von extrazellulärer Matrix und Zellen. Diese dreidimensionale Umgebung erfüllt vielfältige Aufgaben, die von der Versorgung mit Nährstoffen, über Zell-Zell und Zell-Matrix Kommunikation bis zu physikalischen Reizen reichen. Die Untersuchung dieser komplexen Wechselwirkungen ist notwendig für das Verständnis grundlegender biologischer Zusammenhänge, die etwa die Entwicklung neuartiger Medikamente für die Krebsbehandlung ermöglichen können. Diese Untersuchungen erlauben eine definierte dreidimensionale Zellmikroumgebung und bieten damit im Vergleich zur Standardzellkultur einen entscheidenden Vorteil.

Vorgehensweise

Für die Realisierung von definierten Mikroumgebungen wird am Fraunhofer ILT die zweiphotoneninduzierte Vernetzung von künstlichen und natürlichen Polymeren erforscht. Diese Technik erlaubt die Generierung dreidimensionaler vernetzter Strukturen aus einer Bandbreite an photosensitiven Materialien, die von elastischen bis zu inelastischen funktionalen Polymeren bis hin zu Biomaterialien, wie etwa Proteinen, reichen. Die erzielbare Auflösung liegt dabei im Mikro- bis Submikrometerbereich und damit ein bis zwei Größenordnungen unter der typischen Größe einer Zelle.

Ergebnis

Mithilfe der Zweiphotonentechnologie können hochaufgelöste Proteinmikrostrukturen realisiert werden. Ein Anwendungsbeispiel sind hierbei freihängende Proteinmikrofasern mit einer Breite von ca. 0,5 μm und einer Höhe von 2 μm . Diese Proteinmikrofasern können zusätzlich chemisch funktionalisiert werden. Mittels solcher Proteinmikrofasern lässt sich die mechanische Interaktion von Zellen mit Proteinnetzwerken untersuchen, ein Aspekt der unter anderem die Metastasierung von Tumorzellen beeinflusst.

Anwendungsfelder

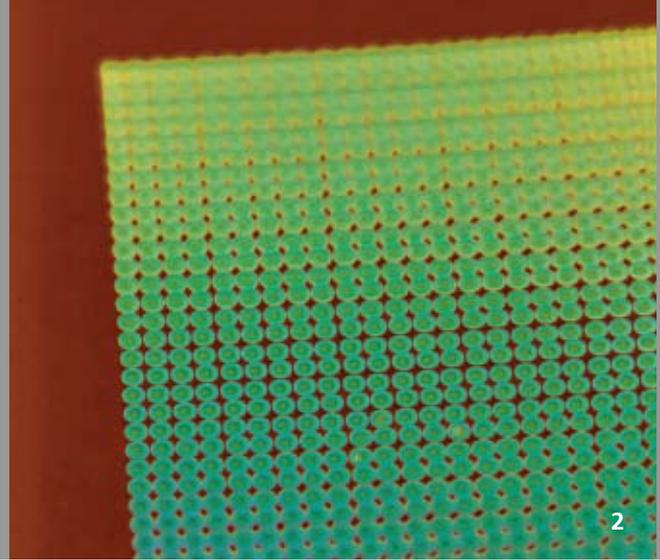
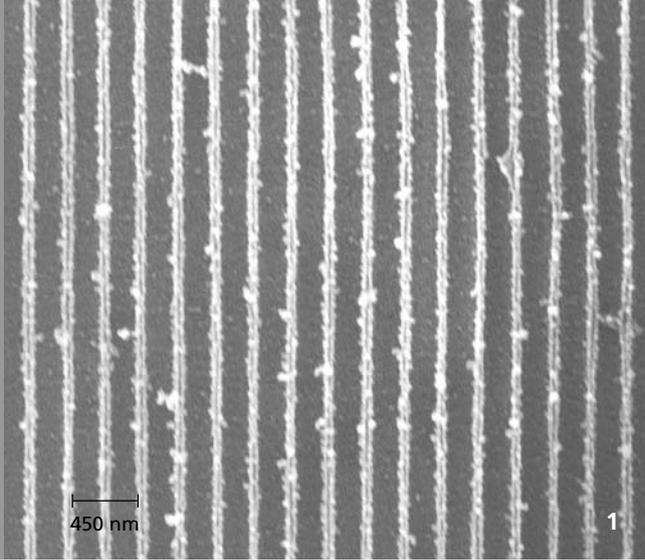
Die Anwendungsfelder dieser Technologie liegen im Bereich der 3D-Zellkultur, von der Erforschung grundlegender Mechanismen bis zur Medikamentenentwicklung, sowie im Bereich des Tissue Engineering.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Sascha Engelhardt
Telefon +49 241 8906-605
sascha.engelhardt@ilt.fraunhofer.de

Dr. Martin Wehner
Telefon +49 241 8906-202
martin.wehner@ilt.fraunhofer.de

- 3 Fluoreszenzaufnahme der auf den Proteinfasern wachsenden Zellen (Grün: Zytoskelet, Blau: Zellkern).
- 4 REM-Aufnahme von über Gräben gespannten Proteinmikrofasern auf denen Zellen wachsen.



NANOSTRUKTURIERUNG MIT MEHRSTRAHL- INTERFERENZ-VERFAHREN

Aufgabenstellung

Funktionalisierte Oberflächen mit Strukturen im Nanometerbereich sind für zahlreiche Anwendungen von großem Interesse. So ist zum Beispiel speziell für Antireflexionsschichten eine Strukturgröße unterhalb der Wellenlänge des sichtbaren Lichts notwendig. Die Erzeugung solcher Strukturen ist bisher mit erheblichen Kosten verbunden, da ihre Herstellung in der Regel auf aufwendigen, mehrstufigen lithographischen Prozessen basiert. Der direkte Mehrstrahl-Interferenz-Abtrag bietet die Möglichkeit zu einer deutlich kostengünstigeren direkten Nanostrukturierung ohne weitere Prozessschritte.

Vorgehensweise

Die Mehrstrahl-Interferenz verwendet zur Strukturierung eine Intensitätsmodulation bei der Überlagerung von zwei oder mehr kohärenten Teilstrahlen eines Lasers. Die Periodizität des entstehenden Musters kann durch den Einfallswinkel der Teilstrahlen flexibel angepasst werden und liegt im Bereich der verwendeten Wellenlänge. Bei dieser Technik ist die Strukturgröße nicht beugungsbeschränkt, so dass Strukturgrößen unterhalb der verwendeten Wellenlänge möglich sind. Bei den hier vorgestellten Ergebnissen wird ein UV-ns-Laser in einem 2-Strahl-Interferenz-Setup verwendet. Bei einem Einfallswinkel von ca. 50° besitzt das Interferenzmuster eine Periodizität von 230 nm, die durch Laserablation in eine Polyimidoberfläche übertragen werden soll.

1 REM-Aufnahme einer nanostrukturierten Oberfläche.

2 Nahaufnahme einer strukturierten Probe.

Ergebnis

Mit der verwendeten Mehrstrahl-Interferenztechnik konnten erfolgreich deterministische Nanostrukturen in einem einfachen Prozessschritt direkt in den Kunststoff eingebracht werden. Die im Bild gezeigten Strukturen sind hierbei simultan mit einem einzigen ns-Puls in einem Spotdurchmesser von $700\ \mu\text{m}$ erzeugt worden. Die generierten Strukturen sind eine Linienstruktur mit einer Stegbreite im 100 nm Bereich und mit einer maximalen Tiefe von 120 nm.

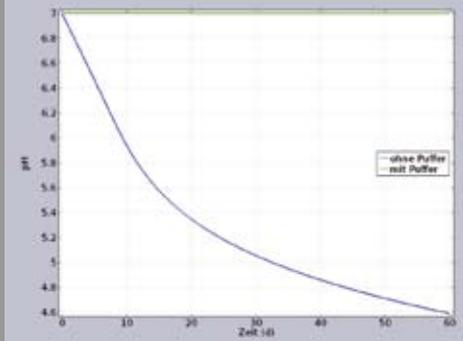
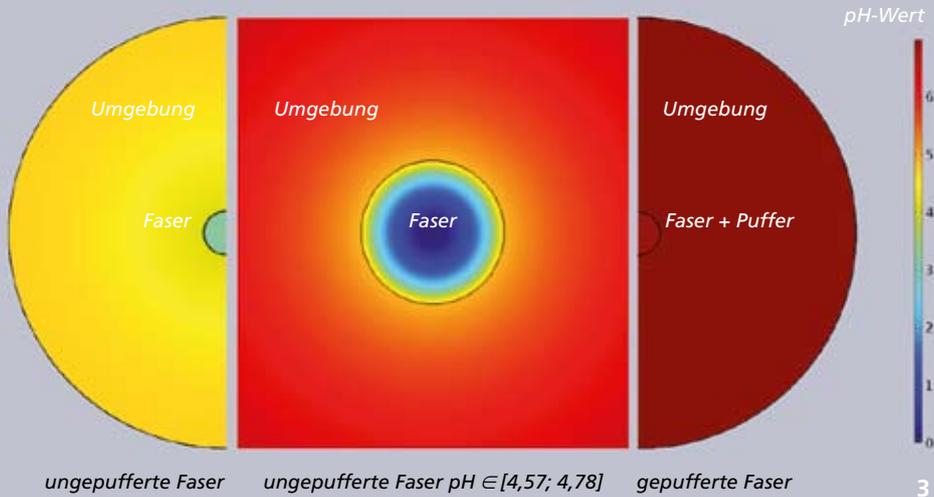
Anwendungsfelder

Im Fokus der hier vorgestellten Arbeit liegt die Erzeugung von Zelleitstrukturen für Knochenmarks-, Blut- und pluripotenten Stammzellen (IPS) im Rahmen des DFG Schwerpunktprogramms SPP1327. Weitere potenzielle Anwendungen liegen durch die kostengünstige, flexible Nanostrukturierung in optischen Funktionalisierungen wie z. B. der Entspiegelung von Oberflächen zur Steigerung der Ein- oder Auskoppelleffizienz.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Michael Steger
Telefon +49 241 8906-305
michael.steger@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



SIMULATION DER PH-GEPUFFERTEN BIODEGRADATION

Aufgabenstellung

Biodegradierbare Polymere spielen in der Medizin für beispielsweise Implantate, Nahtmaterial oder Stützstrukturen eine wichtige Rolle, da durch ihren Einsatz unter anderem Zweitoperationen zur Entfernung der Fremdkörper aus dem Körper vermieden werden. Bei der Verwendung von reinen Polymeren führt deren Zersetzung zu einem starken Abfall des pH-Werts in der Umgebung des Polymers, was Schwierigkeiten für eine komplikationsfreie Heilung bedeutet und durch den Zusatz von chemischen pH-Puffern vermieden werden soll. Modellierung und Simulation der ablaufenden Prozesse ist ein vielversprechendes Werkzeug, um die große Anzahl an notwendigen Experimenten zu reduzieren und somit Tierversuche zu minimieren.

Vorgehensweise

Die Zersetzung der Polymere wird durch ein System von Ratengleichungen beschrieben, in dem für jede Molekülgröße, welche die Polymere bei ihrer Zersetzung durchlaufen, die zeitliche Entwicklung ihrer Konzentration angegeben wird. Im Verlauf der Degradation steigt die Konzentration der Moleküle mit geringer Größe, die eine größere Beweglichkeit haben und in die Umgebung diffundieren. Durch Abspalten von positiv geladenem Wasserstoff bewirken diese kurzkettigen Moleküle ein Abfallen des pH-Niveaus. Das Binden des positiv geladenen Wasserstoffs in den pH-Puffer-Molekülen erfolgt auf einer kleinen Zeitskala. Daher wird zu jedem Zeitpunkt der Degradation der Gleichgewichtszustand der Pufferreaktion berechnet.

Ergebnis

Das Ergebnis gibt den pH-Wert als räumlich zweidimensional verteilte Größe für eine Polymerfaser mit pH-Puffer-Anteil und ihre Umgebung in Abhängigkeit der Zeit an. Das Simulationstool steht zur Verfügung, um den Einfluss von Konzentration und Verteilung des pH-Puffers in der Faser auf den pH-Wert in der Umgebung der Faser zu untersuchen.

Anwendungsfelder

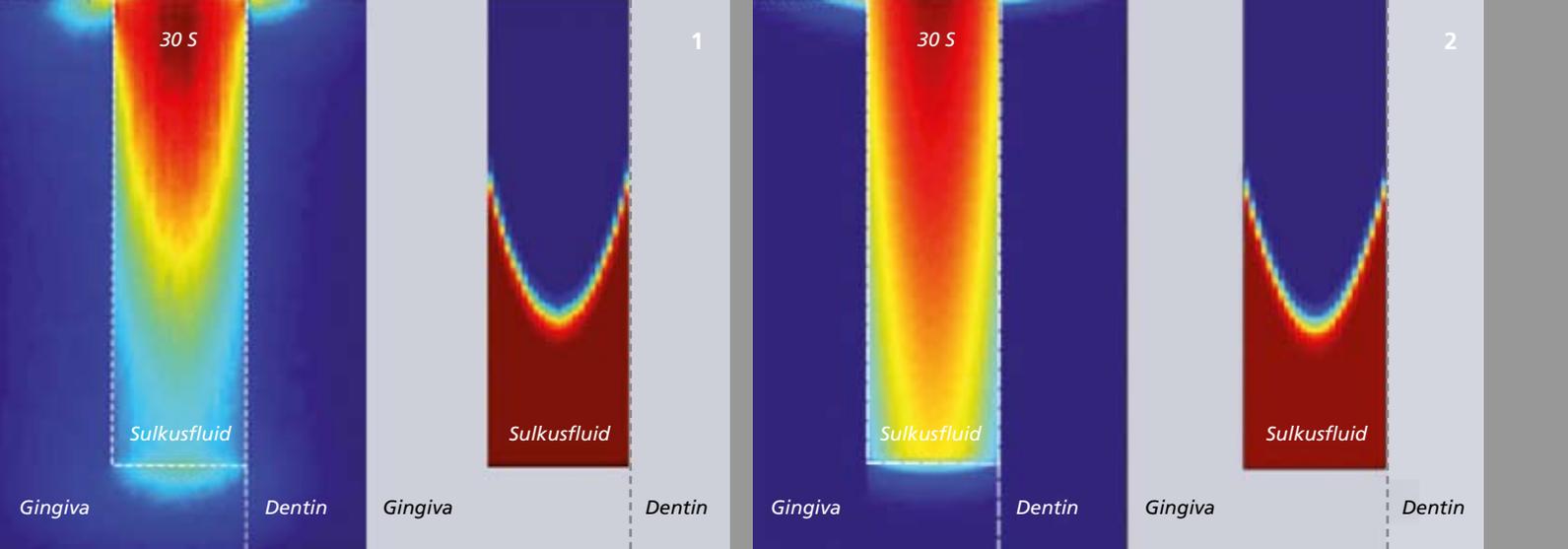
In dem vom Exploratory Research Space der RWTH Aachen University geförderten Projekt (pH)aser werden pH-neutral degradierbare Stützstrukturen für kardiovaskuläre Gefäße (Stents) untersucht. Weitere Anwendungsgebiete sind die Optimierung von Implantaten, Nahtmaterial oder Stützstrukturen bei Tissue Engineering Verfahren.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Lisa Bürgermeister
 Telefon +49 241 8906-610
 lisa.buergermeister@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
 Telefon +49 241 8906-204
 wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

- 3 Verteilung des pH-Werts in der Faser und ihrer Umgebung nach 60 Tagen Degradation.
- 4 PH-Wert in der Umgebung der Faser im Zeitverlauf.



SIMULATION DER ANTIMIKROBIELLEN PHOTODYNAMISCHEN THERAPIE

Aufgabenstellung

Die antimikrobielle Photodynamische Therapie (aPDT) stellt eine Möglichkeit zur Behandlung lokaler bakterieller Infektionen dar, deren Weiterentwicklung derzeit durch die mangelnde Beobachtbarkeit des Therapieerfolgs während und unmittelbar nach der Behandlung gehemmt wird. Mathematische Modelle und deren numerische Implementierung stellen ein vielversprechendes Werkzeug dar, um messbare Größen zur Beobachtbarkeit des Therapieverlaufs zu identifizieren.

Vorgehensweise

Der bereits am Fraunhofer ILT entwickelte Simulationscode, der die bei der aPDT ablaufenden physikalischen und chemischen Prozesse beschreibt, wird durch mathematische Modellreduktion in seiner Performanz derart verbessert, dass mit akzeptablem Rechenaufwand viele Simulationen durchführbar sind und die gewünschte Beobachtbarkeit des Therapieverlaufs ermöglicht wird.

Verteilung der Intensität und erfolgreich behandeltes Gebiet

1 ... aus dem numerischen Modell nach 30 s.

2 ... aus dem reduzierten Modell nach 30 s.

Ergebnis

Das Ergebnis besteht in einem räumlich zweidimensionalen dynamischen Modell, das zeitaufgelöst die Ausbreitung des erfolgreich therapierten Gebiets beschreibt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Verteilung der Laserintensität (als Initiator für die chemischen Reaktionen) und der Ablauf der chemischen Reaktionen (durch die Veränderung der optischen Eigenschaften) sich gegenseitig bedingen. Die Reduktion im Vergleich zu dem bereits vorhandenen numerischen Modell besteht darin, dass die gekoppelten Prozesse zwischen Strahlungspropagation und chemischen Reaktionen auf eindimensionalen Streifen gelöst werden, die im Anschluss an die Berechnung zu einer zweidimensionalen Simulation zusammengefügt werden.

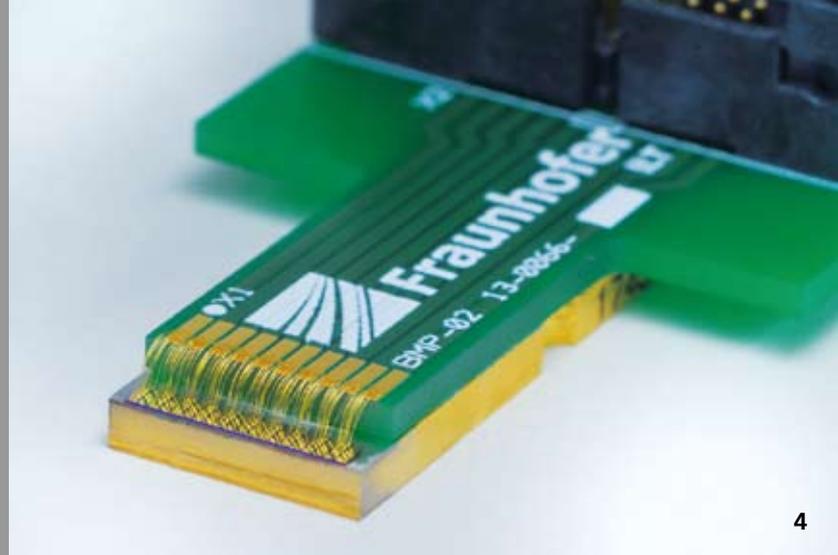
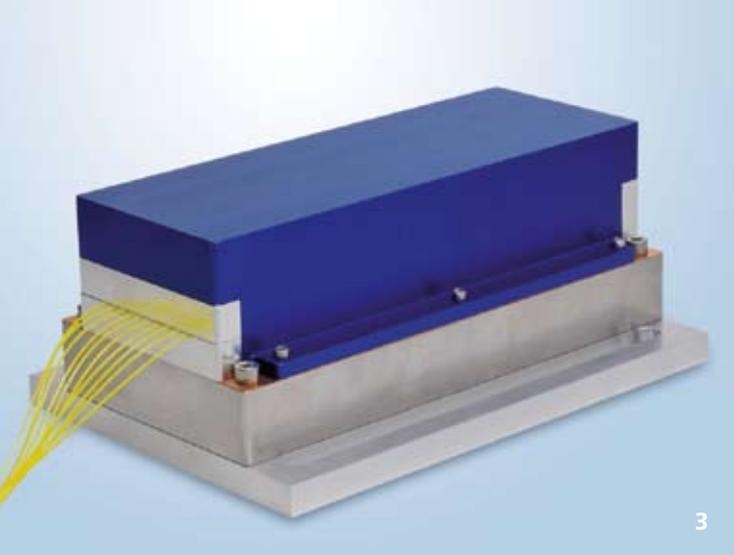
Anwendungsfelder

Das entwickelte Modell ist auf die aPDT zur Behandlung von Parodontitis ausgerichtet. Weitere aussichtsreiche Anwendungen sind die Therapie von Wundinfektionen oder lokalen Infektionen mit multiresistenten Keimen, die Photodynamische Therapie bei der Tumorbehandlung sowie die Photoimmuntherapie, bei welcher der Wirkstoff durch Antikörper an die Targetzellen gebunden wird und die Reaktion ebenfalls durch Laserstrahlung initiiert wird.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Lisa Bürgermeister
 Telefon +49 241 8906-610
lisa.buergermeister@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
 Telefon +49 241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



DIODENLASERMODUL MIT ZEHN EINZELADRESSIER- BAREN FASERGEKOPPELTEN EMITTERN

Aufgabenstellung

Für Anwendungen in der Medizintechnik soll ein kompaktes, fasergekoppeltes Diodenlasermodul realisiert werden, mit dem wässrige Mikro-Fluidströme optisch manipuliert und geschaltet werden können. Die Strahlquelle soll in ein kompaktes Tischgerät integriert werden und gleichzeitig mehrere Mikro-Fluidstromschalter mit optischer Leistung versorgen. Für eine hinreichende Absorption der Strahlung in Wasser wird eine Emissionswellenlänge um 2 μm gefordert.

Vorgehensweise

Im Hinblick auf eine möglichst kompakte Bauweise wird ein GaSb-Diodenlaserbarren mit zehn einzeladressierbaren Emittlern bei Zentralwellenlängen zwischen 1900 und 2000 nm eingesetzt. Die Laserstrahlung der Emittler wird in jeweils eine optische Faser mit 105 μm Kerndurchmesser eingekoppelt. Das optische Design ist dabei auf eine geringe Anzahl zu justierender mikrooptischer Komponenten bei gleichzeitig hoher Kuppel-effizienz ausgerichtet.

Ergebnis

Die aufgebauten Module erreichen eine maximale optische Ausgangsleistung von 500 mW je Faser bei einer Kuppel-effizienz von bis zu 60 Prozent. Hierbei ist die Kuppel-effizienz durch den Slow-Axis-Divergenzwinkel der verwendeten Dioden-laseremitter limitiert. Der Einsatz der Module in optischen Fluid-Schaltersystemen ist erfolgreich demonstriert worden.

Anwendungsfelder

Das entwickelte Diodenlasermodul dient als Strahlquelle für ein kompaktes medizinisches Analysesystem, welches zur Selektion und Sortierung von Krankheitserregern eingesetzt wird. Damit soll eine frühzeitige Diagnose und gezielte Behandlung von Sepsis-Erkrankungen (Blutvergiftungen) ermöglicht werden. Daneben bietet das entwickelte Modul-konzept das Potenzial für eine kostengünstige und kompakte Strahlquelle im Bereich der Lasermarkierung und Lithographie.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 16SV5443K durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. Thomas Westphalen
Telefon +49 241 8906-374
thomas.westphalen@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Martin Traub
Telefon +49 241 8906-342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de

3 Diodenlasermodul.

4 Einzeladressierbarer Diodenlaserbarren.



1

2-WELLENLÄNGENLASER ZUR WEICHGEWEBE- KOAGULATION

Aufgabenstellung

Für die Koagulation von Weichgewebe oder die Fixierung von Wundauflagen wird die Laserwellenlänge nach Möglichkeit so gewählt, dass die optische Eindringtiefe der gewünschten Wirkungstiefe entspricht. Die thermische Denaturierung von Proteinen führt während einer Koagulation zu strukturellen Änderungen, die eine verstärkte Lichtstreuung bewirken. Dadurch besteht zwangsläufig eine Fehlanpassung der Wellenlänge zu Anfang oder Ende des Prozesses. Durch die Vielfachstreuung der Strahlung kann die optische Eindringtiefe so verringert werden, dass die gewünschte Tiefenwirkung nicht mehr erzielt werden kann. Daher wird eine Lösung gesucht, die eine Koagulation mit konstanter Koagulationstiefe in Weichgewebe ermöglicht.

Vorgehensweise

Die Anpassung der optischen Eindringtiefe bzw. der Extinktion wird durch eine Änderung der Wellenlänge vorgenommen. Dazu werden in die Lichtleitfaser zum Handstück gleichzeitig zwei Diodenlaser mit unterschiedlicher Wellenlänge mit 980 nm und 1550 nm eingekoppelt. Die Steuerung der Leistung der beiden Laserquellen erfolgt unabhängig voneinander, so dass wahlweise ein gradueller Übergang von einer Wellenlänge zur anderen oder ein schnelles Umschalten möglich ist.

Ergebnis

Die erzielten Koagulationstiefen werden an einem Phantom-Modell vorgenommen, das bei Überschreiten eines Temperatur-Zeit-Integrals ähnlich wie Weichgewebe eine Denaturierung durch Änderung der Lichtstreuung anzeigt. Durch Wahl verschiedener Leistungsaufteilungen zwischen beiden Diodenlasern kann die resultierende Koagulationstiefe auf Werte zwischen den beiden Grenzwerten für die einzelnen Wellenlängen eingestellt werden. Damit wird der grundsätzliche Lösungsansatz unter Verwendung kommerziell erhältlicher Diodenlasermodule bestätigt.

Anwendungsfelder

Der Einsatz des Verfahrens wird zunächst für die Koagulation von Weichgewebe mit einer steuerbaren Koagulationstiefe von etwa 1 - 5 mm betrachtet. Damit soll das thermische Veröden von Gefäßen oder die Fixierung von Wundauflagen präzise gesteuert werden.

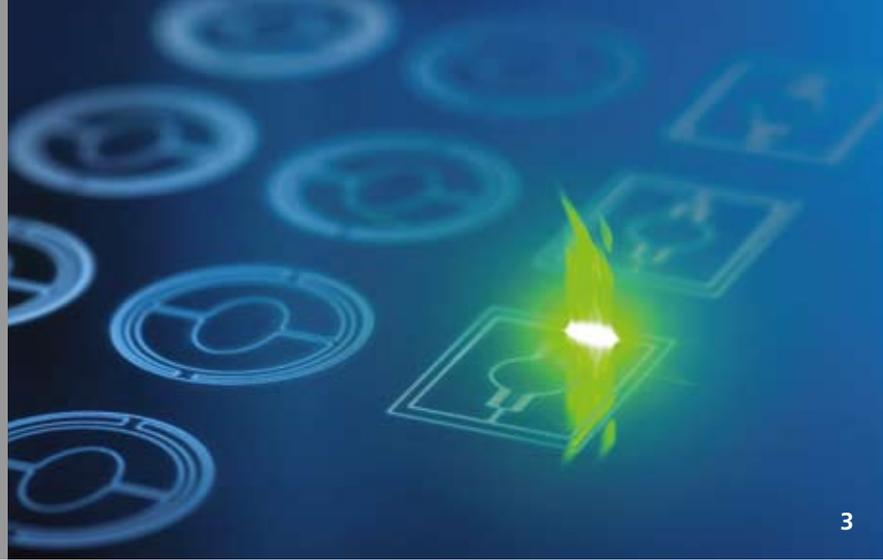
Darüber hinaus kann das Prinzip zum Kunststoffschweißen eingesetzt werden, damit während des Fertigungsprozesses die Einschweißtiefe lokal gesteuert werden kann.

Ansprechpartner

Dr. Martin Wehner
Telefon +49 241 8906-202
martin.wehner@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

1 Labormuster eines Handstücks für die 2-Wellenlängen-Koagulation mit integrierter Temperaturmessung.



SCHNELLER MINIATURISIERTER LASERSCANNER

Aufgabenstellung

Handgeführte Laserchirurgie- und Lasertherapiesysteme benötigen schnelle 2D-Strahlablenksysteme, sogenannte Scanner, um die Energie der therapeutischen Strahlung definiert im Gewebe zu verteilen. Die kennzeichnenden Parameter für solche Scanner sind die Scangeschwindigkeit v_{sc} , der Scanwinkel θ , die Spiegelapertur d und das Bauvolumen V . Die Anforderungen an den Scanner sind: $v_{sc} > 20$ m/s, $\theta > 10^\circ$, $d > 8$ mm und $V < 100$ cm³. Für eine 2D-Strahlablenkung existieren unterschiedliche Scannertechnologien mit spezifischen Stärken und Schwächen, wie Galvanometer-scanner, MEMS, Piezoscanner und akustooptische oder elektrooptische Deflektoren (AOD und EOD). Keine der verfügbaren Technologien erfüllt jedoch alle Anforderungen gleichzeitig.

Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT hat eine neuartige kompakte 2D-Scannertechnologie entwickelt, die ein geringes Bauvolumen mit großen Spiegelaperturen und großen Scangeschwindigkeiten bei gleichzeitig großen Ablenkungswinkeln vereint. Die Herstellung des Miniscanners beruht auf modernsten Fertigungsverfahren der Lasertechnik. Das Fraunhofer ILT kann damit flexibel auf Kundenwunsch zugeschnittene Designs umsetzen, ohne dass bei der Fertigung komplexe Prozesslinien durchlaufen werden müssen. Durch die direkte Verwirklichung des digitalen Entwurfs in ein Produkt besteht nun die Möglichkeit, individuelle Scannersysteme selbst in kleinen Stückzahlen wirtschaftlich herzustellen.

Ergebnis

Der Miniscanner des Fraunhofer ILT erreicht Scangeschwindigkeiten von über 35 m/s bei optischen Ablenkungswinkeln von bis zu 20°. Die Spiegelapertur beträgt 10 mm trotz des kleinen Bauvolumens von $L \times B \times H = 40,5 \times 29 \times 32$ mm³. Die Spiegelfläche kann mit metallischen oder dielektrischen Reflexionsbeschichtungen versehen werden, daher ist der Scanner für Laserwellenlängen im gesamten optischen und infraroten Spektralbereich und Leistungen bis 200 W geeignet.

Anwendungsfelder

Der Scanner ist prädestiniert zur Verwendung in Lasertherapiesystemen, da er durch seine kompakte Bauweise in ein Handstück zur Applikation therapeutischer Laserstrahlung integriert werden kann. Weitere mögliche Anwendungsfelder sind die konfokale Mikroskopie oder der Einsatz im 3D-Drucker.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Cristian Tulea
Telefon +49 241 8906-431
cristian.tulea@ilt.fraunhofer.de

Dr. Achim Lenenbach
Telefon +49 241 8906-124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

2 Kompakter Scannerspiegel.

3 Maßgeschneiderte Fertigung mit Lasertechnik.

PATENTE

Patenterteilungen Deutschland

10 2007 060 971 B4

Verfahren zur Vorrichtung zur Herstellung einer Lotverbindung zwischen zwei wesentlichen nicht metallisch leitenden Bauteilen

10 2009 033 077 A1

Röntgenquellen Computertomograph sowie Verfahren zum Betrieb der Röntgenquelle bzw. des Computertomographen

50 2010 006 940.2

Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen von Werkstücken aus hochwarmfesten Superlegierungen

50 2007 012 993.3

Verfahren und Vorrichtung zur Feinpositionierung eines Werkzeugs mit einer Handhabungseinrichtung

50 2009 009 934.7

Verfahren zur Herstellung von Objekten aus hochfester Keramik über selektives Laserschmelzen

10 2013 014 069 B3

Verfahren zur Laserbearbeitung eines Werkstücks mit polierter Oberfläche und Verwendung dieses Verfahrens

10 2013 021 151 B3

Verfahren und Anordnung zur passiven Kompensation thermischer Linsen in optischen Systemen

50 2011 004 353.8

Verfahren zum formgebenden Umschmelzen von Werkstücken

50 2011 002 048.1

Verfahren zum Bestimmen des Schneidergebnisses eines Laserschneidprozesses

10 2013 021 151 B3

Verfahren und Anordnung zur passiven Kompensation thermischer Linsen in optischen Systemen

Patenterteilungen Europa

EP 2091699

Verfahren und Vorrichtung zur Feinpositionierung eines Werkzeugs mit einer Handhabungseinrichtung

EP 2 276 711

Verfahren zur Herstellung von keramischen Objekten mittels selektiven Laserschmelzens

EP 2 601 005

Verfahren zum formgebenden Umschmelzen von Werkstücken

EP 2 311 597

Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen von Werkstücken aus hochwarmfesten Superlegierungen

EP 2 533 934

Verfahren zum Bestimmen des Schneidergebnisses eines Laserschneidprozesses

Patenterteilungen International

JP 5520819

Verfahren zur Materialbearbeitung mit Laserstrahlung sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

JP 5539493

Verfahren zum Schweißen von Bauteil

CA 2,608,699

Vorrichtung zum Bohren und für den Materialabtrag mittels Laserstrahl

JP5465239

Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen von Werkstücken aus hochwarmfesten Superlegierungen

RU 2509639

Einkristallines Schweißen von directional verfestigten Werkstoffen

RU 2510994

Verfahren zum Schweißen von Werkstücken aus hochwarmfesten Superlegierungen

CH 2 533 934

Verfahren zum Bestimmen des Schneidergebnisses eines Laserschneidprozesses

Patenterteilungen USA

US 8,791,386

Verfahren zum Trennen von Werkstoffen mittels einem Laserstrahl

Patentanmeldungen Deutschland

10 2014 000 330.2

Verfahren zur Überwachung und Regelung der Fokusslage eines Bearbeitungslaserstrahls beim Laserschneiden

10 2014 200 633.3

Bearbeitungsvorrichtung und -verfahren zur Laserbearbeitung einer Oberfläche

10 2014 001 666.8

Verfahren zur Homogenisierung der Oberflächentopologie bei der Trocknung einer Beschichtung

10 2014 001 668.4

Resonatoranordnung mit hoher Verstärkung für INNOSLAB-Verstärker

10 2014 002 298.6

Vorrichtung zur potentialgetrennten Übertragung von Steuersignalen für einen kaskadierten Hochspannungsschalter

10 2014 003 483.6

Verfahren zur Auslegung einer Anordnung für die Materialbearbeitung eines Werkstücks sowie Anordnung für die Materialbearbeitung eines Werkstücks

10 2014 206 143.1

Laserauftragschweißen von hochwarmfesten Superlegierungen mittels oszillierender Strahlführung

10 2014 206 302.7

Verfahren zum Schweißen

10 2014 006 151.5

Verfahren zur Messung des Rundlaufs einer Werkzeugmaschine sowie für die Durchführung des Verfahrens ausgebildete Werkzeugmaschine

10 2014 208 371.0

Verfahren zur Laserbearbeitung einer Oberfläche

10 2014 007 159.6

Verfahren und Anordnung zur spektralen Verbreiterung von Laserpulsen für die nichtlineare Pulskompression

10 2014 107 326.6

Anordnung und Verfahren zur Reflektometrie

10 2014 210 169.7

Verfahrweise beim Materialauftrag auf länglichen Oberflächen mit runden Kanten und Bauteil

10 2014 210 652.4

Anordnung und Verfahren zum Laserstrahl-Auftragschweißen

10 2014 211 510.8

Energieabsorbierende Struktur und Verfahren zur Herstellung einer energieabsorbierenden Struktur

10 2014 108 630.9

Vorrichtung und Verfahren zur Durchführung optischer Messungen an fluiden Substanzen in Gefäßen mit einer Längsrichtung

10 2014 010 412.5

Verfahren und Anordnung zur generativen Fertigung von Bauteilen

10 2014 012 141.0

Vorrichtung zur Innenbearbeitung von Objekten mit Laserstrahlung

10 2014 012 733.8

Anordnung zur Abtastung einer Oberfläche mit mehreren Laserstrahlen

10 2014 220 483.6

Aufbaustrategie für einen Kronenboden einer Turbinenschaufel

10 2014 116 567.5

Verfahren und Vorrichtung zum Sortieren von Mikropartikeln in einem Fluidstrom

10 2014 016 993.6

Vorrichtung und Verfahren zur Durchführung faseroptischer Messungen in bewegten Flüssigkeiten

PATENTE

Patentanmeldungen International

US 14/150,995

Verfahren zur Verbesserung der Benetzbarkeit einer rotierenden Elektrode in einer Gasentladungslampe

PCT/EP2014/050686

Auftragschweißen von länglichen, gekrümmten Wänden

PCT/EP2014/050795

Auftragschweißen im Bereich von Kanten

PCT/EP2014/050677

Auftragschweißen von länglichen, gekrümmten Oberflächen

PCT/EP2014/053072

Laserverfahren mit unterschiedlichem Laserstrahlbereich innerhalb eines Strahls

PCT/EP2014/000758

Verfahren zum Abtragen von sprödhartem Material mittels Laserstrahlung

PCT/EP2014/00788

Verfahren und Vorrichtung zum Abtragen von sprödhartem, für Laserstrahlung transparentem Material mittels Laserstrahlung

EP 14 162 974.1

Method of manufacturing organic light-emitting display by using laser beam irradiation apparatus

PCT/EP2014/001317

Verfahren zur Laserbearbeitung eines Werkstücks mit polierter Oberfläche und Verwendung dieses Verfahrens

TW 103118984

Method of manufacturing organic light-emitting display by using laser beam irradiation apparatus

US 14/293,495

Laser beam irradiation apparatus and method of manufacturing organic light-emitting display device by using the same

US 14/303,649

EUV discharge lamp with moving protective component

JP 2014-125175

EUV discharge lamp with moving protective component

PCT/EP2014/001879

Verfahren und Vorrichtung zur generativen Bauteilfertigung

PCT/EP2014/002091

Verfahren zur Strukturierung einer elektrisch leitenden oder halbleitenden Schicht

PCT/EP2014/071904

Oszillierendes Schweißverfahren

PCT/EP2014/003028

Verfahren zur Überwachung und Regelung der Fokusslage eines Bearbeitungslaserstrahls beim Laserschneiden

EP 14 199 931.8

Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung und Regelung der Bearbeitungsbahn bei einem Laser-Fügeprozess

PCT/EP2014/079109

Vorrichtung zur potentialgetrennten Übertragung von Steuersignalen für einen kaskadierten Hochspannungsschalter

DISSERTATIONEN

Dissertationen

17.02.2014 – T. Baier

Bewertung und Optimierung laserbasierter Fertigungsprozesse bei der Herstellung hocheffizienter Solarzellen

28.04.2014 – S. Heidrich

Abtragprozess und Prozesskette zur laserbasierten Fertigung optischer Elemente aus Quarzglas

16.05.2014 – A. Gatej

Modeling and Compensation of Thermally Induced Optical Effects in Highly Loaded Optical Systems

28.05.2015 – M. Scharun

Atomemissionsspektroskopie zur Identifizierung von Metall-Legierungen mit kombinierter Mikrowellen- und Laseranregung

01.07.2014 – P. Werheit

Scannende Laser – Direktanalyse von Aluminium-Knetlegierungen für das Recycling

15.07.2014 – A. Roesner

Laserbasiertes Fügeverfahren zur Herstellung von Kunststoff-Metall-Hybridbauteilen

18.07.2014 – S. Beckemper

Mikro- und Nanostrukturierung von Polymeroberflächen mittels Mehrstrahl-Laserinterferenztechnik

18.07.2014 – N. Nottrodt

Selektive Funktionalisierung von Polymeren zur Anwendung in biomedizinischen Produkten

23.07.2014 – S. Hengesbach

Spektrale Stabilisierung und inkohärente Überlagerung von Diodenlaserstrahlung mit Volumenbeugungsgittern

10.09.2014 – T. Molitor

Methoden zur Prozessüberwachung und Optimierung von Laserschneidprozessen

21.10.2014 – M. Werner

Grundlegende Untersuchung des inversen Glasbohrens zur Herstellung einer photonischen Faser

07.11.2014 – D. Hawelka

Laserbasierte Herstellung nanokeramischer Verschleißschutzschichten auf temperaturempfindlichen Substraten

07.11.2014 – H. Faidel

Montage nichtlinearer optischer Kristalle für den Einsatz in der Luft- und Raumfahrt

04.12.2014 – D. Riester

Ortsselektives, präzises Lasern Drucken von Biomaterialien und Zellen

05.12.2014 – J. Witzel

Qualifizierung des Laserstrahl-Auftragschweißens zur generativen Fertigung von Luftfahrtkomponenten

DIPLOMARBEITEN

Diplomarbeiten

Adams, Daniel

Laserverfahren zur Erzeugung strukturierter keramischer Schichten für den Verschleißschutz

Bach, Andreas

Experimentelle Untersuchungen zum Laserumschmelzstrukturieren von 100Cr6

Bullinger, Waldemar

Mechanische Eigenschaften mittels SLM aufgebauter periodischer Gitterstrukturen

Hoppe, Birk Hagen Otto

SLM von PLA-basierten Kompositwerkstoffen zur Herstellung bioresorbierbarer Implantate

Kirsch, Bastian

Erhöhung der Flächenrate beim Laserpolieren von Stahl

Klimkait, Tobias

Herstellung von Near Net Shape Bauteilen mittels SLM für die spanende Bearbeitung in der Dentalindustrie

Krauch, Niels

Spektrale Leistungsskalierung mit Volumenbeugungsgittern

Krautwig, Christopher

Simulative Untersuchungen zur Temperaturverteilung beim Laserdurchstrahl-schweißen absorberfreier Kunststoffe

Ntikbasanis, Jean

Materialumverteilung mittels CO₂-Laserstrahlung bei Floatglas

Meevißen, Sascha

Untersuchung der Robustheit von Verfahrensansätzen zum Lasermikroschweißen von dünnen Silberfolien

Moos, Johannes

Untersuchung von Einflüssen auf die Spritzerentstehung beim SLM Prozess

Muschong, Christoph

Untersuchung zur Prozessführung bei der Stabilisierung von Polyacrylnitril-Fasern mittels Laserstrahlung

Oberste-Lehn, Ulli

Aufbau und Erprobung eines Zweistrahl-Versuchstandes für das Laserstrahl-Auftrag-schweißen

Riedel, Frank

Vergrößerung der Prozessgeschwindigkeiten beim SLE in Quarzglas

Runtemund, Uwe

Laserstrahl-Auftragschweißen von MAR M 247 unter Vorheizung bis zu 1000 °C

Thuilot, Michael

Mikrolaserauftragschweißen von Goldkontakten mit veränderlicher Intensitätsverteilung

Trenz, Stephan

Untersuchungen zu Rissbildung und Oberflächenrauheit beim SLM von IN738LC mittels gepulster Laserstrahlung

Vervoort, Simon

Prozessbeobachtung des Selective Laser Melting von TiAl6V4 mit gepulst modulierter Laserstrahlung

Wank, Constantin

Verarbeitung magnetischer Werkstoffe mittels Selective Laser Melting (SLM)

Werner, Björn

Ermittlung von Verfahrensparametern für die laserbasierte Stabilisierung von Polyacrylnitrilfasern (PAN)

Worok, Gabor

SLM zur Herstellung von zellularen Strukturen aus Fe35Mn

BACHELORARBEITEN

Bachelorarbeiten

Berger, Sascha

Untersuchung des Einflusses Wärmeakkumulation auf den Inkubationseffekt bei Laserabtrag mit ultrakurzgepulster Laserstrahlung

Bialdyga, Alexander

Ermittlung von geeigneten Prozessfenstern beim Bohren mit Singlemode Faserlaserstrahlung

Duffner, Felix

SLM-Prozessführung zur Herstellung von Funktionsbauteilen aus Aluminium-CNT-Kompositwerkstoffen

Freitag, Sebastian

SLM-Prozessführung zur Herstellung von Gitterstrukturen aus Ti6Al4V

Großbröhmer, Stephan

Online Durchbohrerkennung beim Laserstrahl-Bohren mittels Plasmaspektroskopie

Hammelstein, Christoph

Analyse der Selbstkosten einer Selective-Laser-Melting (SLM) Produktionsanlage

Hampker, Tobias

Untersuchung des Einflusses von Prozessfaserdurchmesser und Fokussierbrennweite beim Bohren mit Faserlaserstrahlung

Hirschfelder, Katrin

Vermeidung von Rückständen bei der Strukturierung dünner Schichten

Hofmann, Johannes

Untersuchungen zu optischen Eigenschaften partikulärer Schichtsysteme auf Basis von PEEK

Holly, Carlo

Lösung von $k \cdot p$ Schrödinger-Gleichungen für Halbleiternanostrukturen mit Hilfe eines Finite-Volumen-Verfahrens

Hoppe, Nicholas

Einfluss der Scanstrategie auf die Verarbeitung von INC718 mittels High Power SLM Bearbeitung

Jaeger, Markus

Konstruktive Auslegung der Schutzgasführung in der Prozesskammer einer SLM-Anlage

Jülich, Bastian

Untersuchung zur Prozessführung für die Verarbeitung der Magnesiumlegierung AZ91 mittels SLM

Kattan, Dany Richard

Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss von Intensitätsverteilung und Laserstrahldurchmesser beim Polieren mit gepulster Laserstrahlung

Kirsch, Dennis

Fokusabhängigkeit laserinduzierter Plasmen

Kreißig, Miriam Tabea

Vergrößerung der Ortsauflösung beim Glasabtrag mit CO₂-Laserstrahlung durch Anpassung des Stützpunktabstandes

Li, Gefei

Untersuchung des Einflusses einer Wärmenachbehandlung auf das Makro- und Mikrogefüge mittels SLM hergestellter Nickelbasis Superlegierung Mar-M247

Möllenhoff, Matthias

Ermittlung geeigneter Prozessfenster beim Laserstrahlaufragschweißen durch DoE

Pichler, Tobias

Identifikation der Kostentreiber von SLM-Produktionsanlagen

Prante, Nils

Untersuchung zur Prozessführung für die Verarbeitung der Magnesiumlegierung WE43 mittels SLM

Rauch, Korbinian

Machbarkeitsuntersuchung zur Verarbeitung einer Wolframkarbid-Kobalt Legierung mittels Selective Laser Melting

Sandker, André

Additiver Aufbau von Volumenkörpern aus Ti-30Al-11Nb-2Mo-0.1B mittels Laserstrahl-Auftragschweißen

Schieler, Paul

Entfestigung des pressgehärteten Stahls MBW1900 durch lokale Laserstrahl-Wärmebehandlung

Schmidtke, Johannes

Einwirkung von TiC-Nanopartikeln auf die mechanischen Eigenschaften vom nickelbasierten Metall-Matrix-Verbundwerkstoff

MASTERARBEITEN

Schmitt, Christoph

Untersuchung des Einflusses der Scanvektorklängen auf die Schmelzbadgeometrie beim SLM der Magnesium Legierung AZ91

Smolenko, Andreas

Simulation der Wärmeakkumulation während der Bestrahlung transparenter Dielektrika mittels UKP-Laserstrahlung

Vogelboth, Andreas

Untersuchungen zur Reparatur von Turbinenschaufeln aus René N 5 mit René 142 mittels Selective Laser Melting (SLM)

Vogt, Maximilian

Generativ gefertigte Porenstrukturen in der Medizintechnik

Wein, Stephan

Evaluation der Schmelzeauslenkung beim Laserpunktschweißen von dünnen Kupferblechen

Masterarbeiten

Arntz, Dennis

Fertigungsgerechte Konstruktion eines Leichtbau-Batteriepackgehäuses unter Berücksichtigung verschiedener Laserfügeverfahren

Bonhoff, Tobias

Experimentelle und theoretische Untersuchungen an optischen Systemen zur Formung ultrakurzer Laserpulse für die Materialbearbeitung

Börgmann, Frederik

Frequenzstabilisierung von Hochleistungsdiodenlaserbarrren zum Aufbau eines Multikilowattsystems

Boschen, Maren Lara

Experimentelle Untersuchungen zu temperaturabhängigen optischen Eigenschaften von Schichtsystemen

Brück, Daniel

Verarbeitung von Titanaluminiden mittels Hochtemperatur-Selective Laser Melting

Elsen, Florian

Erzeugung und Verstärkung von Laserstrahlung im mittleren Infrarot

Friedrichs, Marcel

Verfahrenstechnische Grundlagen für das Bohren mit ultrakurzgepulster Laserstrahlung

Gendraud, Camille

3D Mikro- und Nanostrukturierung von Metallen und Verbundmaterialien mit fs-Laserstrahlung

Genz, Dominik

Toleranzanalyse bei der simultanen 9-Achs Lasermaterialbearbeitung

Göller, Nicole

Untersuchung von neuartigen Mischkristallen für Single-Frequency-Laser

Guisado Herranz, Lidia

Optimization of heat conduction and FAC mounting for a high brightness diode laser module based on single emitters

Häusler, Andre

Betrachtung des Schmelzbadverhaltens beim Laserstrahlmikroschweißen mit örtlicher und zeitlicher Leistungsmodulation mittels Hochgeschwindigkeitsvideographie

Hasenkamp, Christof

Einfluss erhöhter Aufbauraten auf die mechanischen Eigenschaften beim 2 kw-SLM des Werkzeugstahls 1.2709

Kellermann, Lukas

Schnittqualität beim Laserstrahlschneiden von CFK

Küpper, Moritz

Untersuchung der Signalinterferenz als erweiterter Lösungsansatz zum inversen Problem des Laserumschmelzstrukturierens

Li, Xiaoxiao

Investigation to additive manufacturing of components made of Hastelloy X by using SLM with skin-core principle on SLM 280 HL

Lübbert, Lutz

Entwicklung einer mechatronischen Steuerung für eine SLM-Anlage

Olk, Andreas

Integratives Optikdesign zur Laserstrahlformung mit deformierbaren Membranspiegeln

Pongratz, Ludwig

Stereolithographie von synthetischen Polymeren und Biopolymeren mit UV-Laserstrahlung

Rahn, Johannes

Messstand zur Analyse des Langzeitverhaltens von Galvanometerscannern bei Verwendung von Hochleistungslasern

Reichenzer, Frieder

Single-Frequency-Laser mit Erbium-Kristallen im Wellenlängenbereich um 1,6 μm

Sommer, Jan

Auftragsschweißen mit Gusseisen

Straaten, Stephan

Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bewertung von Kunststoffschweißnähten

Tromm, Thomas Carl Ulrich

Grundlegende Untersuchungen zum Selective Laser Melting einer binären Fe-Al-Legierung

Winkelmann, Max

Mechanische Eigenschaften mittels SLM aufgebauter periodischer Gitterstrukturen

Wolf, Marcel

Remote-Laserstrahlschweißen von Halbzeugen aus Aluminiumlegierungen der 5000er und 6000er Serie

Zielinski, Jonas

Integration des freien Randwertproblems beim Pulver-Laserauftragschweißen

WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN

Aden, M., Mamuschkin, V., Olowinsky, A., Glaser, S.: Influence of Titanium dioxide pigments on the optical properties of polycarbonate and polypropylene for diode laser wavelengths. *J. Appl. Polymer Sci.* 131 (7), 40073-40077 (2014)

Alkhatay, M., Khavkin, E., Gasser, A., Meiners, W., Kelbassa, I.: Comparison of geometrical properties of parts manufactured by powder bed based (SLM) and powder fed based (LMD) laser additive manufacturing technologies. *Proceedings 33rd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO)*, October 19-23, 2014, San Diego/Calif. Paper 1502 (6 S.) (2014). ISBN 9781940168029

Arias, J. L., Montealegre, M.A., Vidal, F., Rodriguez, J., Mann, S., Abels, P., Motmans, F.: Real-time laser cladding control with variable spot size. *Proc. SPIE* 8970, 89700Q (15 S.) (2014)

Behrens, B.-A., Yilkiran, T., Ocylok, S., Weisheit, A., Kelbassa, I.: Deposition welding of hot forging dies using nanoparticle reinforced weld metal. *Prod. Eng.* 8, 645-658 (2014)

Bensmann, S., Gaußmann, F., Lewin, M., Wüppen, J., Nyga, S., Janzen, C., Jungbluth, B., Taubner, T.: Near-field imaging and spectroscopy of locally strained GaN using an IR broadband laser. *Opt. Expr.* 22 (19), 22369-22381 (2014)

Britten, S. W., Seva Bala Sundaram, R., Olowinsky, A., Gillner, A.: Quasi-simultaneous laser soldering for the interconnection of back-contact solar cells with composite foils. *Proc. SPIE* 8968, 89680V (11 S.) (2014)

Brüning, S., Jenke, G., Du, J. K., Gillner, A.: High precision laser processing of steel surfaces with sub-ns-lasers. *Physics Procedia* 56, 919-926 (2014)

Buchbinder, D., Meiners, W., Pirch, N., Wissenbach, K.: Investigation on reducing distortion by preheating during manufacture of aluminum components using selective laser melting. *J. Laser Appl.* 26 (1), 012004 (10 S.) (2014)

Buchbinder, D., Meiners, W., Wissenbach, K., Poprawe, R.: Selective Laser Melting of aluminium die-cast alloy. *Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference 2014*. March 12-13, 2014, Berlin, Germany. 7 S. (2014) (USB-Stick)

Buchbinder, D., Meiners, W., Wissenbach, K., Poprawe, R.: Selective Laser Melting of aluminium die-cast alloy. Correlations between process parameters, solidification conditions and resulting mechanical properties. *Proceedings 33rd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO)*, October 19-23, 2014, San Diego, CA, USA. 7 S. (2014). ISBN 9781940168029

Bürgermeister, L., Romero López, F., Schulz, W.: Physical and mathematical modeling of antimicrobial photodynamic therapy. *J. Biomed. Opt.* 19, 071411 (10 S.) (2014)

Büsing, L., Eifel, S., Loosen, P.: Design, alignment and applications of optical systems for parallel processing with ultra-short laser pulses. *Proc. SPIE* 9131, 91310C (12 S.) (2014)

Carstens, H., Lilienfein, N., Holzberger, S., Jocher, C., Eidam, T., Limpert, J., Tünnermann, A., Weitenberg, J., Yost, D. C., Alghamdi, A., Alahmed, Z., Azzeer, A., Apolonski, A., Fill, E., Krausz, F., Pupeza, I.: Megawatt-scale average-power ultrashort pulses in an enhancement cavity. *Opt. Lett.* 39 (9), 2595-2598 (2014)

Carstens, H., Lilienfein, N., Holzberger, S., Jocher, C., Eidam, T., Limpert, J., Tünnermann, A., Weitenberg, J., Malgamdi, A., Alahmed, Z., Azzeer, A., Apolonski, A., Fill, E., Pupeza, I., Krausz, F.: Thermal limitations for power scaling of femtosecond enhancement cavities. *High Intensity Lasers and High Field Phenomena (HILAS) 2014*. Paper: HTu1C.6 (3 S.) (2014)

Dahmen, M., Daamen, M., Hirt, G.: Laser beam welding of high manganese TWIP steels produced by twin roll strip casting. *2nd Int. Conf. on High Manganese Steel 2014*, August 31st to September 4th, 2014. *Proceedings*. (Ed.) W. Bleck, D. Raabe. Aachen: IEHK Steel Inst., RWTH; Düsseldorf: Max-Planck-Institut für Eisenforschung. 4 S. (2014)

Dahmen, M., Daamen, M., Janzen, V., Lindner, S., Schneider, A., Wagener, R.: Laser beam welding of new ultra-high strength and supra-ductile steels. SCT14 Future trends in steel development, processing technologies and applications. Hrsg. von H.-J. Wieland, S. Brockmann. Düsseldorf: Verl. Stahleisen. pp. 282-289 (2014)

Dahmen, M., Janzen, V., Lindner, S., Wagener, R.: Laser beam welding of ultra-high strength chromium steel with martensitic microstructure. *Physics Procedia* 56, 525-534 (2014)

Elsen, F., Heinzig, M., Livrozet, M., Löhring, J., Wüppen, J., Büdenbender, C., Fix, A., Jungbluth, B., Hoffmann, H.-D.: Feasibility and performance study for a space-borne 1645 nm OPO for French-German satellite mission MERLIN. *Proc. SPIE* 9135, 913515 (7 S.) 1-7 (2014)

Esquivias, I., Consoli, A., Krakowski, M., Faugeron, M., Kochem, G., Traub, M., Barbero, J., Fiadino, P., Ai, X., Rarity, J., Quatrevalet, M., Ehret, G.: High-brightness all semiconductor laser at 1.57 μm for space-borne lidar measurements of atmospheric carbon dioxide: device design and analysis of requirements. *Proc. SPIE* 9135, 913516 (8 S.) (2014)

Finger, J., Reininghaus, M.: Effect of pulse to pulse interactions on ultra-short pulse laser drilling of steel with repetition rates up to 10 MHz. *Opt. Expr.* 22 (15), 18790-18799 (2014)

Gasser, A.: Fertigen und Instandsetzen mit generativen Laserverfahren. *MM Maschinenmarkt* 38, 44-47 (2014)

Gatej, A., Loosen, P.: Methods for compensation of thermal lensing based on Thermo Optical (TOP) Analysis. *Proc. SPIE* 9131, 91310F (8 S.) (2014)

Gebhardt, M., Gaida, C., Kadwani, P., Sincore, A., Gehlich, N., Jeon, C., Shah, L., Richardson, M.: High peak-power mid-infrared ZnGeP₂ optical parametric oscillator pumped by a Tm: fiber master oscillator power amplifier system. *Opt. Lett.* 39 (5), 1212-1215 (2014)

Gehlich, N., Bonhoff, T., Sicken, L., Ramme, M., Gaida, C., Gebhardt, M., Mingareev, I., Shah, L., Richardson, M. C.: Utilizing the transparency of semiconductors via »backside« machining with a nano-second 2 μm Tm: fiber laser. *Proc. SPIE* 8968, 89680W (7 S.) (2014)

Gronloh, B., Russbuedt, P., Jungbluth, B., Hoffmann, H.-D.: Green sub-ps laser exceeding 400 W of average power. *Proc. SPIE* 8959, 89590T (10 S.) (2014)

Gronloh, B., Russbuedt, P., Jungbluth, B., Hoffmann, H.-D.: Ultrafast green laser exceeding 400 W of average power. *Proc. SPIE* 9135, 91350C (11 S.) (2014)

Gu, D., Hong, C., Jia, Q., Dai, D., Gasser, A., Weisheit, A., Kelbassa, I., Zhong, M., Poprawe, R.: Combined strengthening of multi-phase and graded interface in laser additive manufactured Ti/Inconel 718 composites. *J. Phys. D* 47, (4) 45309 (11 S.) (2014)

Hagedorn, Y.-C., Risse, J., Meiners, W., Pirch, N., Wissenbach, K.: Processing of nickel based superalloy MAR M-247 by means of High-Temperature Selective Laser Melting (HT-SLT). In: *High Value Manufacturing*. Eds.: P. J. Bartolo et. al. Boca Raton: CRC Pr. ISBN 978-1-138-00137-4. pp. 91-295 (2014)

He, C., Zibner, F., Fornaroli, C., Ryll, J., Holtkamp, J., Gillner, A.: High-precision helical cutting using ultra-short laser pulses. *Physics Procedia* 56, 1066-1072 (2014)

Heidrich, S., Richmann, A., Schmitz, P., Willenborg, E., Wissenbach, K., Loosen, P., Poprawe, R.: Optics manufacturing by laser radiation. *Opt. Lasers Eng.* 59, 34-40 (2014)

Heidrich, S., Weingarten, C., Willenborg, E., Poprawe, R.: Polishing and form correction with laser radiation. *Optical Fabrication and Testing, Kohala Coast, Hawaii, United States, June 22-26, 2014. Fabrication Process Technology I (OTu1B.4)* (3 S.) (2014). ISBN: 978-1-55752-747-9

- Heinen, P., Wu, H., Olowinsky, A., Gillner, A.:** Helium-tight laser beam welding of aluminium with brilliant laser beam radiation. *Physics Procedia* 56, 554-565 (2014)
- Hengesbach, S., Hoffmann, D., Traub, M., Poprawe, R.:** Comparison of edge emitter and vertical emitter based diode lasers for materials processing. *Proceedings 33rd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO)*, October 19-23, 2014, San Diego/ Ca., USA. Paper 304 (9 S.) (2014). ISBN 9781940168029
- Hengesbach, S., Holly, C., Krauch, N., Witte, U., Westphalen, T., Traub, M., Hoffmann, D.:** High-Power Dense Wavelength Division Multiplexing (HP-DWDM) of frequency stabilized 9xx diode laser bars with a channel spacing of 1.5 nm. *Proc. SPIE* 8965, 89650C (9 S.) (2014)
- Hermans, M., Gottmann, J., Riedel, F.:** Selective, laser induced etching of fused silica at high scan-speeds using KOH. *J. Laser Micro Nanoeng.* 9 (2), 126-131 (2014)
- Holly, C., Hengesbach, S., Traub, M., Hoffmann, D.:** Numerical analysis of external feedback concepts for spectral stabilization of high-power broad-area semiconductor lasers. *Proc. SPIE* 8965, 89650K (8 S.) (2014)
- Holzberger, S., Högner, M., Weitenberg, J., Esser, D., Eidam, T., Limpert, J., Tünnermann, A., Fill, E., Krausz, F., Yakovlev, V. S., Pupeza, I.:** Power-scalable and efficient geometric XUV output coupling for cavity-enhanced high harmonic generation. *CLEO 2014 – Laser Science to Photonic Applications*. 08 Jun 2014 – 13 Jun 2014, San Jose, California, USA. 2 S. (2014)
- Hopmann, C., Böttcher, A., van der Straaten, K., Riedel, R., Schneider, F., Engelmann, C., Fischer, K.:** Neue Prozesskette für faserverstärkte Thermoplaste. *WT Werkstattstechnik Online* 104 (9), 575-580 (2014)
- Hopmann, C., Brecher, C., Loosen, P., Röbig, M., Meiers, B., Berens, M.:** Mit Kunststoff in die optische Zukunft. *Kunststoffe* 2014 (10) 154-159 (2014)
- Jänchen, R., Brosda, M., Wendt, G., Olowinsky, A.:** Mit Licht – flexibel und dicht. *Pack Report* 03, 46-49 (2014)
- Jauer, L., Leonards, H.:** 3D-Druck und Biofabrikation. *RWTH-Themen* (1), 42-45 (2014)
- Jiang, D., Hong, C., Zhong, M., Alkhatat, M., Weisheit, A., Gasser, A., Zhang, H., Kelbassa, I., Poprawe, R.:** Fabrication of nano-TiCp reinforced Inconel 625 composite coatings by partial dissolution of micro-TiCp through laser cladding energy input control. *Surf. Coat. Technol.* 249, 125-131 (2014)
- Kim, H., Li, W., Danylyuk, S., Brocklesby, W. S., Marconi, M. C., Juschkin, L.:** Fractional Talbot lithography with extreme ultraviolet light. *Opt. Lett.* 39 (24), 6969-6972 (2014)
- Kind, H., Gehlen, E., Aden, M., Olowinsky, A., Gillner, A.:** Laser glass frit sealing for encapsulation of vacuum insulation glasses. *Physics Procedia* 56, 673-680 (2014)
- Krämer, S., Fiedler, W., Drenker, A., Abels, P.:** Seam tracking with texture based image processing for laser materials processing. *Proc. of SPIE* 8963, 89630P (9 S.) (2014)
- Livrozet, M. J., Elsen, F., Wüppen, J., Löhring, J., Büdenbender, C., Fix, A., Jungbluth, B., Hoffmann, D.:** Feasibility and performance study for a space-borne 1645 nm OPO for French-German satellite mission MERLIN. *Proc. SPIE* 8959, 89590G (7) (2014)
- Löhring, J., Luttmann, J., Kasemann, R., Schlösser, M., Klein, J., Hoffmann, H.-D., Amediek, A., Büdenbender, C., Fix, A., Wirth, M., Quatrevalet, M., Ehret, G.:** INNOSLAB-based single-frequency MOPA for airborne lidar detection of CO₂ and methane. *Proc. SPIE* 8959, 89590J (8 S.) (2014)

- Lott, P., Stollenwerk, J., Wissenbach, K.:** Laser-based production of carbon fibers. *Proceedings 33rd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO), October 19-23, 2014, San Diego, CA, USA. Paper M 602 (6 S.) (2014). ISBN 9781940168029*
- Maischner, D., Ocylok, S., Becker, D., Weisheit, A.:** Einsatzmöglichkeiten des Laserauftragschweißens und des Selektiven Laserschmelzens im Werkzeugbau für Bauteile aus Kupfer im Bereich der Spritzgießtechnik. *Metall (11), 456-458 (2014)*
- Mamuschkin, V., Olowinsky, A., Britten, S., Engelmann, C.:** Investigations on laser transmission welding of absorber-free thermoplastics. *Proc. SPIE 8968, 896815 (9 S.) (2014)*
- Mehlmann, B., Gehlen, E., Olowinsky, A., Gillner, A.:** Laser micro welding for ribbon bonding. *Physics Procedia 56, 776-781 (2014)*
- Mehlmann, B., Olowinsky, A., Thuilot, M., Gillner, A.:** Spatially modulated laser beam micro welding of CuSn6 and nickel-plated DC04 steel for battery applications. *JLMN J. Laser Micro/Nanoeng. 9 (3), 276-281 (2014)*
- Mincuzzi, G., Vesce, L., Schulz-Ruhtenberg, M., Gehlen, E., Reale, A., Di Carlo, A., Brown, T. M.:** Taking temperature processing out of dye-sensitized solar cell fabrication: Fully laser-manufactured devices. *Adv. Energy Mat. 4, 1400421 (8 S.) (2014)*
- Mingareev, I., Gehlich, N., Bonhoff, T., Meiners, W., Kelbassa, I., Biermann, T., Richardson, M. C.:** Post-processing of 3D-printed parts using femtosecond and picosecond laser radiation. *Proc. SPIE 8970, 89700 (7 S.) (2014)*
- Moench, H., Andreadaki, A., Gronenborn, S., Kolb, J. S., Loosen, P., Miller, M., Schwarz, T., van der Lee, A., Weichmann, U.:** High power electrically pumped VECSEL and arrays. *Proc. SPIE Vol. 8966, 89660H (10 S.) (2014)*
- Noll, R., Fricke-Begemann, C., Brunk, M., Connemann, S., Meinhardt, C., Scharun, M., Sturm, V., Makowe, J., Gehlen, C.:** Laser-induced breakdown spectroscopy expands into industrial applications. *Spectrochim. Acta P. B: Atomic Spectrosc. 93, 41-51 (2014)*
- Nottrodt, N., Leonhäuser, D., Bongard, Y., Bremus-Köbberling, E., Gillner A.:** Local ultraviolet laser irradiation for gradients on biocompatible polymer surfaces. *J. Biomed. Mat. Res. A 102, 999-1007 (2014)*
- Nottrodt, N., Leonhäuser, D., Elling, L., Bremus-Köbberling, E., Gillner, A.:** Laser based functionalization for graded immobilization of biomolecules on biocompatible polymer surfaces. *Nanobio Europe, Münster, Germany, June 2-4, 2014. 10th Int. Congr. & Exhibition on Nanobiotechnology. p. 41 (2014)*
- Ocylok, S., Alexeev, E., Mann, S., Weisheit, A., Wissenbach, K., Kelbassa, I.:** Correlations of melt pool geometry and process parameters during laser metal deposition by coaxial process monitoring. *Physics Procedia 56, 228-238 (2014)*
- Özmert, A., Neisser-Deiters, P., Drenker, A.:** Detectability of penetration depth based on weld pool geometry and process emission spectrum in laser welding of copper. *Proc. SPIE 9135, 91351W (7 S.) (2014)*
- Papadakis, L., Loizou, A., Risse, J., Bremen, S., Schrage, J.:** A computational reduction model for appraising structural effects in selective laser melting manufacturing. *Virt. Phys. Protot. 9 (1), 17-25 (2014)*
- Petraviciute-Lötscher, L., Schneider, W., Rußbüldt, P., Gronloh, B., Hoffmann, H.-D., Kling, M. F., Apolonski, A.:** Direct low-harmonic generation in gas at MHz repetition rate. *Lasers and Electro-Optics Europe (CLEO EUROPE/IQEC), 2013 Conference on and International Quantum Electronics Conference, Munich 12-16 May 2013. 1 S. (2013)*

- Pocorni, J. K., Petring, D., Powell, J., Deichsel, E., Kaplan, A. F. H.:** Differences in cutting efficiency between CO₂ and fiber lasers when cutting mild and stainless steels. *Proceedings 33rd Int. Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO)*, October 19-23, 2014, San Diego/Calif., USA. Paper 905, 593-600 (2014). ISBN 9781940168029
- Powell, J., Illar, T., Frostevarg, J., Torkamany, M. J., Na, S., Petring, D., Zhang, L., Kaplan, A. F. H.:** Weld root instabilities in fiber laser welding. *Proceedings 33rd Int. Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO)*, October 19-23, 2014, San Diego/Calif., USA. Paper 1601, 753-758 (2014). ISBN 9781940168029
- Preussner, J., Oeser, S., Pfeiffer, W., Temmler, A., Willenborg, E.:** Microstructure and residual stresses of laser remelted surfaces of a hot work tool steel. *Int. J. Mater. Res.* 105 (4), 328-336 (2014)
- Pupeza, I., Högner, M., Weitenberg, J., Holzberger, S., Esser, D., Eidam, T., Limpert, J., Tünnermann, A., Fill, E., Yakovlev, V. S.:** Cavity-enhanced high-harmonic generation with spatially tailored driving fields. *Phys. Rev. Lett.* 112 (10), 103902 (5 S.) (2014)
- Reinhard, R., Al Khawli, T., Eppelt, U., Meisen, T., Schilberg, D., Schulz, W., Jeschke, S.:** The contribution of virtual production intelligence to laser cutting planning processes. In: Zaeh, M.: *Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability*. Proc. of the 5th Int. Conf. on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2013), Munich, Germany, Oct. 6th-9th, 2013. Cham: Springer Int. Publ. pp.117-124 (2014)
- Reininghaus, M., Kalupka, C., Faley, O., Holtum, T., Finger, J., Stampfer, C.:** Dynamics of ultrashort pulsed laser radiation induced non-thermal ablation of graphite. *Appl. Phys. A* 117 (4) 1873-1878 (2014)
- Riedel, R., Stephanides, A., Prandolini, M. J., Gronloh, B., Jungbluth, B., Mans, T., Tavella, F.:** Power scaling of supercontinuum seeded megahertz-repetition rate optical parametric chirped pulse amplifiers. *Opt. Lett.* 39 (6), 1422-1424 (2014)
- Riedel, R., Rothardt, J., Beil, K., Gronloh, B., Klenke, A., Höppner, H., Schulz, M., Teubner, U., Kränkel, C., Limpert, J., Tünnermann, A., Prandolini, M.J., Tavella, F.:** Thermal properties of borate crystals for high power optical parametric chirped-pulse amplification. *Opt. Expr.* 22 (15), 17607-17619 (2014)
- Riester, D., Özmert, A., Wehner, M.:** Laser tool for single cell transfer. *J. Laser Micro/Nanoeng.* 9, (2) 93-97 (2014)
- Rolink, G., Weisheit, A., Biermann, T., Bobzin, K., Öte, M., Linke, T.F., Schulz, C., Kelbassa, I.:** Investigations of laser clad, thermal sprayed and laser remelted AlSi20-coatings on magnesium alloy AZ31B under constant and cycling thermal load. *Surf. Coat. Tech.* 259, 751-758 (2014)
- Rolink, G., Vogt, S., Sencekova, L., Weisheit, A., Poprawe, R., Palm, M.:** Laser metal deposition and selective laser melting of Fe-28 at.% Al. *J. Mater. Res.* 29 (17), 2036-2043 (2014)
- Scharun, M., Fricke-Begemann, C.:** Handheld chemical analysis with laser for recycling applications. In: *Sensor-based Sorting 2014*. (Ed.) Waschki, Ulrich. March 11-13, 2014 in Aachen. Clausthal-Zellerfeld: GDMB Verlag. Schriftenreihe der GDMB Gesellschaft der Metallurgen und Bergleute e.V. 135. ISBN 978-3-940276-56-8. pp. 107-115 (2014)
- Schulz, W., Al Khawli, T.:** Meta-modelling techniques towards virtual production intelligence. In: Brecher, C. (ed.): *Advances in Production Technology*. Heidelberg [u.a.]: Springer (2014). pp. 69-84. Lecture Notes in Production Engineering. ISBN 978-3319123035
- Schulz, W., Nießen, M., Wollschläger, J., Hansen, U., Pittner, A., Rethmeier, M.:** Schnelle numerische Methoden für die effiziente Temperaturfeldberechnung in bauteilnahen Geometrien und Mehr-lagenschweißungen. *Schweißen Schneiden* 66 (1-2), 34-37 (2014)
- Schulz-Ruhtenberg, M., Kolbusch, T., Abreu Fernandes, S., Wiesner, M., Melle, T.:** Seminal tools for roll-to-roll manufacturing. *Laser Technik J.* 11 (1), 21-25 (2014)

Siems, F. U., Papen, M.-C., Hütte, A. S. J., Niemand, T., Antons, D., Bürgermeister, L., Feher, K., Pich, A., Vogt, F.: Managing relationships in interdisciplinary research projects – the HoQ experience. 13th International Science-to-Business Marketing Conference on Cross Organizational Value Creation. Zürich, June 2-4, 2014. Winterthur: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften; Münster: Fachhochschule (2014). pp. 202-211

Stollenwerk, J., Loosen, P.: Zukunftsweisendes Forschungsprojekt. b on top 2014, 44-47 (2014)

Strotkamp, M., Witte, U., Munk, A., Hartung, A., Gausmann, S., Hengesbach, S., Traub, M., Hoffmann, H.-D., Hoeffner, J., Jungbluth, B.: Broadly tunable, longitudinally diode-pumped Alexandrite laser. Proc. SPIE 8959, 89591G (6 S.) (2014)

Sturm, V., Fleige, R., de Kanter, M., Leitner, R., Pilz, K., Fischer, D., Hubmer, G., Noll, R.: Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for 24/7 automatic liquid slag analysis at a steel works. Anal. Chem. 86 (19), 9687-9692 (2014)

Sun, M., Eppelt, U., Schulz, W., Zhu, J.: Ultrafast reflection and secondary ablation in laser processing of transparent dielectrics with ultrashort pulses. Opt. Eng. 53 (5), 1-8 (2014)

Temmler, A., Pütsch, O., Stollenwerk, J., Willenborg, E., Loosen, P.: Optical set-up for dynamic superposition of three laser beams for structuring and polishing applications. Opt. Expr. 22 (2), 1387-1393 (2014)

Temmler, A., Walochnik, M. A., Willenborg, E., Wissenbach, K.: Surface structuring by remelting of titanium alloy Ti6Al4V. Proceedings 33rd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO), October 19-23, 2014, San Diego, CA, USA. Paper ID 1401. (10 S.) (2014). ISBN 9781940168029

Thombansen, U., Ungers, M.: Cognition for robot scanner based remote welding. Proc. SPIE 8963, 89630N (8 S.) (2014)

Thombansen, U., Ungers, M.: Illumination for process observation in laser material processing. Physics Procedia 56, 1286-1296 (2014)

Thombansen, U., Hermanns, T.: In-situ measurement of the focal position in one and ten micron laser cutting. Proceedings 33rd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO), October 19-23, 2014, San Diego, CA, USA. Paper 179 (4 S.) (2014). ISBN 9781940168029

Thombansen, U., Hermanns, T., Molitor, T., Pereira, M., Schulz, W.: Measurement of cut front properties in laser cutting. Physics Procedia 56, 885-891 (2014)

Thombansen, U., Hermanns, T., Stoyanov, S.: Setup and maintenance of manufacturing quality in CO₂ laser cutting. Procedia CIRP 20, 98 - 102 (2014)

Thombansen, U., Gatej, A., Pereira, M.: Tracking the course of the manufacturing process in selective laser melting. Proc. SPIE 8963, 89630O (7 S.) (2014)

Traub, M., Hoffmann, D., Hengesbach, S., Loosen, P.: Automatic design of multi-lens optical systems based on stock lenses for high power lasers. International Optical Design Conference, Kohala Coast, Hawaii, United States, June 22-26, 2014. Optimization (IW1A) (2 S.) (2014). ISBN: 978-1-55752-747-9 & Proc. SPIE 9293, 929311 (8 S.) (2014)

Uchtmann, H., Kelbassa, I.: CAx process chain for automated laser drilling of tool molds. J. Mech. Eng. Autom. 4 (5), 427-431 (2014)

Uchtmann, H., Friedrichs, M., Kelbassa, I.: Drilling of cooling holes by using high power ultrashort pulsed laser radiation. Proceedings 33rd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO), October 19-23, 2014, San Diego, CA, USA (2014). ISBN 9781940168029

VORTRÄGE

- Ungers, M., Rolser, R., Abels, P.:** Hardware based analysis and process control for laser brazing applications. *Physics Procedia* 41, 524-530 (2013)
- Vossen, G., Hermann, T.:** On an optimal control problem in laser cutting with mixed finite-/infinite-dimensional constraints. *J. Ind. Managem. Optim.* 10 (2), 503-519 (2014)
- Wester, R., Müller, G., Völl, A., Berens, M., Stollenwerk, J., Loosen, P.:** Designing optical free-form surfaces for extended sources. *Opt. Expr.* 22, (S2), A552-A560 (2014)
- Westphalen, T., Hengesbach, S., Holly, C., Traub, M., Hoffmann, D.:** Automated alignment of fast-axis collimator lenses for high-power diode laser bars. *Proc. SPIE* 8965, 89650 V (6 S.) (2014)
- Willenborg, E., Heidrich, S., Temmler, A.:** Highlights of the 1st Conference on Laser Polishing LaP 2014, Aachen, Germany. *Optical Fabrication and Testing, Kohala Coast, Hawaii, United States, June 22-26, 2014. Fabrication Process Technology I (OTu1B.1)* (3 S.) (2014) ISBN: 978-1-55752-747-9
- Wilson, D., Rudolf, D., Weier, C., Adam, R., Winkler, G., Frömter, R., Danylyuk, S., Bergmann, K., Grützmaker, D., Schneider, C. M., Juschkin, L.:** Generation of circularly polarized radiation from a compact plasma-based extreme ultraviolet light source for tabletop X-ray magnetic circular dichroism studies. *Rev. Scient. Instr.* 85 (10), 103110 (9 S.) (2014)
- Zhong, M., Jiang, D., Zhang, H., Hong, C., Weisheit, A., Kelbassa, I.:** Fabrication of nanoparticulate reinforced metal matrix composites by laser cladding. *J. Laser Appl.* 26, 022007 (10 S.) (2014)
- 21.01.2014 - M. Wehner:** Laser Biofabrication – Lasergestützte Verfahren für die Biofabrikation, NRW Strategieworkshop »NanoMedizin«, Düsseldorf
- 02.02.2014 - M. Livrozet:** Feasibility and performance study for a space-borne 1645 nm OPO for French-German satellite mission MERLIN, Photonics West San Francisco, CA, USA
- 02.02.2014 - J. Löhring:** INNOSLAB-based single-frequency MOPA for airborne lidar detection of CO₂ and methane, Photonics West, San Francisco, CA, USA
- 02.02.2014 - C. Holly:** Numerical analysis of external feedback concepts for spectral stabilization of high-power diode lasers, LASE2014, San Francisco, CA, USA
- 03.02.2014 - T. Westphalen:** Automated alignment of fast-axis collimator lenses for high-power diode laser bars, LASE2014, San Francisco, CA, USA
- 03.02.2014 - S. Hengesbach:** High-Power Dense Wavelength Division Multiplexing (HP-DWDM) of frequency stabilized 9xx diode laser bars with a channel spacing of 1.5 nm, LASE2014, San Francisco, CA, USA
- 04.02.2014 - B. Jungbluth:** Broadly tunable, longitudinally diode-pumped Alexandrite laser, Photonics West, San Francisco, CA, USA
- 06.02.2014 - S. Britten:** Quasi-simultaneous laser soldering for the interconnection of back-contact solar cells with composite foils, Photonics West, San Francisco, CA, USA
- 06.02.2014 - R. Poprawe:** Laser Technology for Industry and Society – The Fraunhofer Future of Digital Photonic Production, Lawrence Livermore National Laboratory, USA

- 11.02.2014 - A. Olowinsky:** FSEM II Cluster Batterie/Range Extender: Energie für Elektromobilität - sicher bereitgestellt und gut verpackt, Kongress Elektromobilität, Berlin
- 12.02.2014 - A. Olowinsky:** Metall-Kunststoff verbinden mit Lasertechnik, Leichtbautagung 2014, Bremen
- 19.02.2014 - M. Schulz-Ruthenberg:** Laser structuring in a roll-to-roll environment, Tag der offenen Tür, Dormagen
- 03.03.2014 - R. Poprawe:** Additive / Generative Fertigung, acatech, Deutschland
- 05.03.2014 - A. Gillner:** Ultrakurzpuls laser auf dem Weg in den industriellen Alltag – systemtechnische Herausforderungen und technologische Lösungen, Innovationsforum MikroLas, Rostock
- 07.03.2014 - W. Schulz:** Schneiden von Glas, TRUMPF Technologie Tag, Ditzingen
- 12.03.2014 - D. Buchbinder:** Selective Laser Melting of Aluminium Die-Cast Alloy, DDMC, Berlin
- 12.03.2014 - M. Schniedenharn:** Current Applications and R&D Topics in Selective Laser Melting, LAM, Houston, USA
- 19.03.2014 - C. He:** Laser beam precise cutting with ultrashort pulses using helical optics, Laser World of Photonics China 2014, Shanghai, China
- 20.03.2014 - L. Jauer:** SLM of biodegradable metals, Biodegradable Magnesium Workshop, Turracher Höhe, Österreich
- 20.03.2014 - R. Poprawe:** Laser additive manufacturing: the vision of 3D printing, Tsinghua University, China
- 10.04.2014 - A. Gillner:** New perspectives for surface treatment of metals and polymers by laser processing, Vortrag Limburgenco, Geleen, Niederlande
- 15.04.2014 - L. Büsing:** Design, alignment and applications of optical systems for parallel processing with ultra- short laser pulses, Photonics Europe, Brüssel, Belgien
- 15.04.2014 - A. Gatej:** Methods for compensation of thermal lensing based on thermo-optical (TOP) analysis, Photonics Europe, Brüssel, Belgien
- 15.04.2014 - B. Gronloh:** Ultrafast green-laser exceeding 400 W of average power, Photonics Europe, Brüssel, Belgien
- 16.04.2014 - F. Elsen:** Feasibility and performance study for a spaceborne 1645 nm OPO for French-German satellite mission MERLIN, Photonics Europe, Brüssel, Belgien
- 16.04.2014 - A. Özmert:** Penetration depth in laser welding: Detectability of penetration depth based on weld pool geometry and process emission spectrum in laser welding of copper, Photonics Europe 2014, Brüssel, Belgien
- 16.04.2014 - R. Poprawe:** Laser additive manufacturing: the vision of 3D printing, EU-Commission Brüssel, Belgien
- 17.04.2014 - M. Dahmen:** Laser beam welding of new ultra-high strength and supra-ductile steels, SCT 2014, Braunschweig
- 21.04.2014 - R. Poprawe:** Novel Perspectives of Laser Metal Processing, Chair for Laser Technology, MELCO, Yokohama, Japan
- 22.04.2014 - R. Poprawe:** Thrust areas of laser materials processing in the past, present and future, The First Smart Laser Processing Conference 2014, Yokohama, Japan
- 23.04.2014 - C. Hartmann:** Plasma expansion during laser structuring of metals with ps pulse bursts, SLPC 2014, Yokohama, Japan
- 23.04.2014 - R. Noll:** Laser-induced Breakdown Spectroscopy – from R&D to industrial applications, Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Wuhan, China

06.05.2014 - J. Flemmer: Machine tool and CAM-NC Data Chain for Laser Polishing complex shaped parts, 1st Conference on Laser Polishing, Aachen

07.05.2014 - A. Temmler: Design surfaces by Laser Remelting, 1st Conference on Laser Polishing, Aachen

07.05.2014 - C. Nüsser: Process- and Material-Induced surface structures during Laser Polishing, 1st Conference on Laser Polishing, Aachen

07.05.2014 - S. Heidrich: Laser Polishing and Form Correction of fused silica opties, 1st Conference on Laser Polishing, Aachen

07.05.2014 - S. Ocylok: Effects of nano-particles on the properties of laser cladded wear resistant layers, Friction, Wear and Wear Protection Conference, Karlsruhe

07.05.2014 - I. Kelbassa: Overview Laser Additive Manufacturing in aeronautics – status quo and challenges of LMD and SLM processes, EU Innovation Forum – Laser Additive Manufacturing (LAM) in Aeronautics, International Laser Technology Congress AKL'14, Aachen

07.05.2014 - P. Abels: Wie funktionieren die Laserbearbeitungsverfahren? Einsteiger Seminar Lasertechnik, International Laser Technology Congress AKL'14, Aachen

07.05.2014 - C. Hinke: Aktuelle Entwicklungstrends in der Lasertechnik, Einsteiger Seminar Lasertechnik, International Laser Technology Congress AKL'14, Aachen

08.05.2014 - R. Poprawe: Digital Photonic Production – Crosslinking of virtual Reality with the Reality of Laser Manufacturing, International Laser Technology Congress AKL'14, Aachen

08.05.2014 - T. Schopphoven: High Speed Laser Material Deposition, International Laser Technology Congress AKL'14, Aachen

09.05.2014 - C. Engelmann: Fügen von Faserverbundkunststoffen FVK / FVK und FVK / Metall, International Laser Technology Congress AKL'14, Aachen

09.05.2014 - B. Mehlmann: Neue Horizonte des Laserstrahlmikroschweißens für elektrische Kontakte, International Laser Technology Congress AKL'14, Aachen

09.05.2014 - E. Willenborg: Laserpolieren von Glasformen, International Laser Technology Congress AKL'14, Aachen

12.05.2014 - S. Rittinghaus: Laserbasierte Herstellung funktionaler Oberflächen und Schichten, Aalener Oberflächentage

13.05.2014 - M. Reininghaus: Fabrication of gold nanoantennas for infrared near-field enhancement by fs-laser radiation, Peking, China

23.05.2014 - A. Gillner: Kohärente Laserquellen für Phototechnologie, DAFP Symposium, Nürnberg

26.05.2014 - S. Danylyuk: Multi-angle spectroscopic EUV reflectometry for analysis of thin films and interfaces, E-MRS 2014, Lille, Frankreich

27.05.2014 - W. Meiners: Process and design challenges of Selective Laser Melting in aerospace applications, International Symposium Materials Science and Technology of Additive Manufacturing, Bremen

27.05.2014 - J. Tempeler: High resolution laboratory-scale EUV interference lithography, ICXRL 2014 International Conference on X-Ray Lasers, Denver, USA

03.06.2014 - N. Nottrodt: Laser based functionalization for graded immobilization of biomolecules on biocompatible polymer surfaces, NanoBio Europe, Münster

04.06.2014 - A. Gasser: Laser-Pulver-Auftragschweißen, Reis Livetechnikum, München

04.06.2014 - A. Gillner: *ArtiVasc 3D – Artificial vascularized scaffolds for 3D tissue regeneration, NanoBio Europe, Münster*

04.06.2014 - R. Poprawe: *Neue Wege der Automatisierung durch Generative Fertigung, Automatika Messe, München*

05.06.2014 - K. Wissenbach: *Generative Laserverfahren in der Kraftwerkstechnik, VDI Fachseminar, Raunheim*

11.06.2014 - M. Aden: *Structural Mechanics Simulations of the Join Behaviour under Stress, Projektbesprechung PMJoin, Lüttich, Belgien*

17.06.2014 - M. Dahmen: *Laser beam welding of new ultra-high strength and supra-ductile steels, TEMA, Braunschweig*

18.06.2014 - D. Hoffmann: *Beam Forming and Propagation, Schott Expert Panel, Mainz*

18.06.2014 - N. Nottrodt: *Combined additive manufacturing processes for building up artificial vascularized soft tissue – ArtiVasc 3D, ArtiVasc 3D, Maastricht, Niederlande*

18.06.2014 - R. Poprawe: *High Performance Light sources-based Additive Manufacturing, Photonics21 Board of Stakeholders, Brüssel, Belgien*

18.06.2014 - I. Ross: *Prospects of Laser Polishing for small and complexly shaped parts, EPMT 2014, Genf, Schweiz*

18.06.2014 - J. Schrage: *Additive Manufacturing with Selective Laser Melting (SLM) and Laser Metal Deposition (LMD), Forum Produktion Nordwest 2014, Papenburg*

18.06.2014 - W. Schulz: *Simulation of glass cutting, Schott expert panel, Mainz*

19.06.2014 - S. Herbert: *Multi-Angle spectroscopic EUV Reflectometry EXRS 2014, Bologna, Italien*

19.06.2014 - N. Nottrodt: *Combined additive manufacturing processes for building up artificial vascularized soft tissue – ArtiVasc 3D, 3D Bioprinting Conference, Maastricht, Niederlande*

19.06.2014 - B. Mehlmann: *Fundamentals and recent developments in spatial power modulation for laser beam micro welding of metals, LPM 2014, Vilnius, Litauen*

19.06.2014 - J. Ryll: *Enhancing Quality and Productivity for Micro Cutting Processes using Ultrafast Laser, LPM 2014, Vilnius, Litauen*

24.06.2014 - S. Heidrich: *Highlights of LaP 2014, 1st Conference on Laser Polishing, OF&T14, Hawaii, USA*

24.06.2014 - S. Heidrich: *Polishing and Form Correction with Laser Radiation, OF&T14, Hawaii, USA*

25.06.2014 - W. Schulz: *Simulation of glass cutting, SLT 14, Stuttgart*

25.06.2014 - M. Traub: *Automatic Design of Multi-Lens Optical Systems Based on Stock Lenses for High Power Lasers, IODC 2014, Kohala Coast, Hawaii, USA*

26.06.2014 - D. Hoffmann: *Hochbrillante Strahlquellen, LASYS 2014, Short Course »Basiswissen Laser und Lasermaterialbearbeitung«, Stuttgart*

26.06.2014 - S. Merkt: *3D Printing and its emerging opportunities, Lasys 2014, Stuttgart*

27.06.2014 - F. Gaussmann: *New light source enables IR near-field spectroscopy of strained gallium nitride, 56th Electronic Materials Conference, Santa Barbara, Kalifornien, USA*

03.07.2014 - A. Gillner: *High throughput laser manufacturing processes, SU2P Solid State Laser and Nonlinear Optics Workshop, Edinburgh, Schottland*

17.07.2014 - D. Buchbinder: Activities at Steinbachstraße 15 in Aachen, RIM Plus Workshop, Brüssel, Belgien

24.07.2014 - R. Wester: Freiform-Optiken für die gezielte Lichtlenkung, Workshop LED Pflanzenbeleuchtung, Duisburg

29.07.2014 - A. Gillner: Vergleichende Bewertung beim Laserschneiden von Faserverbundwerkstoffen, CFK-Workshop Freudenstadt, Freudenstadt

04.08.2014 - A. Diatlov: Manufacturing Antenna Components for Satellites out of ALSi10Mg by Selective Laser Melting (SLM), Austin, Texas, USA

31.08.2014 - M. Dahmen: Laser beam welding of high manganese TWIP steels produced by twin roll strip casting, HMnS 2014, Aachen

05.09.2014 - R. Poprawe: Laudatio zum RWTH Ingenieurpreis an Prof. Dr. Berthold Leibinger, Aachen

08.09.2014 - P. Loosen: Optical systems for high-power laser applications, LANE 2014, Fürth

09.09.2014 - M. Dahmen: Laser beam welding of ultra-high strength chromium steel with martensitic microstructure, LANE 2014, Fürth

10.09.2014 - S. Engelhardt: Photoinitiator free stereolithography for biomedical applications, European Symposium of Photopolymer Science, Wien, Österreich

10.09.2014 - P. Heinen: Helium-tight laser beam welding of aluminum with brilliant laser beam radiation, LANE2014, Fürth

10.09.2014 - H. Kind: Laser glass frit sealing for encapsulation of vacuum insulation glasses, LANE2014, Fürth

10.09.2014 - H. Leonards: Stereolithography processing and biocompatibility of a Thiol-ene based resin, European Symposium of Photopolymer Science, Wien, Österreich

10.09.2014 - R. Noll: LIBS expanding into industrial applications, Invited talk, LIBS 2014, Beijing, China

10.09.2014 - S. Ocylok: Correlations of melt pool geometry and process parameters during laser metal deposition by coaxial process monitoring, LANE 2014, Fürth

11.09.2014 - N. Pirch: Space-Resolved Laser Beam Diagnostics for Material Processing, Darmstadt

12.09.2014 - A. Gillner: ArtiVasc 3D – Artificial vascularized scaffolds for 3D tissue regeneration, Österreichische Gesellschaft für Gefäßchirurgie, Graz, Österreich

12.09.2014 - A. Meissner: Granatmischkristalle für Laseranwendungen, Deutsch-Französischer Oxidkristall-Dielektrika, Laserkristall-Workshop, Idar-Oberstein

17.09.2014 - G. Backes: Lasertechnik in der Oberflächenbearbeitung, IHK, Geilenkirchen

17.09.2014 - A. Gillner: High Power ultrashort laser processing with innovative optical systems, Vortrag Ailu. Birmingham, England

19.09.2014 - A. Olowinsky: Energie für Elektromobilität – sicher bereitgestellt und gut verpackt, Automechanika 2014, Frankfurt/Main

22.09.2014 - U. Eppelt: Metamodeling of Laser Cutting, ICNAAM2014, Rhodos, Griechenland

22.09.2014 - T. Hermanns: Modelling for Self-Optimization in Laser Cutting, ICNAAM2014, Rhodos, Griechenland

23.09.2014 - S. Heidrich: Politur und Formkorrektur mit Laserstrahlung, Moderne Optikfertigung, Wetzlar

24.09.2014 - T. Biermann: Laser Additive Manufacturing / 3D Printing, LME 2014, Schaumburg

29.09.2014 - R. Poprawe: Barrieren überwinden - neue Designmöglichkeiten für integrierte Funktionen in Bauteilen durch Generative Fertigung, Stuttgart

01.10.2014 - S. Herbert: Extreme Ultraviolet Dark-Field Microscopy for Defect Inspection, COST MP1203, Annual General Meeting, Dubrovnik, Kroatien

07.10.2014 - S. Bremen: Increased productivity and resulting material properties for High Power SLM, Materialise Metal Day, Leuven, Belgien

08.10.2014 - S. Britten: Laserstrahlmikroschweißen von elektrischen Kontakten und Verbindern - eine Alternative zum Lötten, Technologie Tage Wolf, Freudenstadt

08.10.2014 - K. Van der Straaten: Laser-based Joining and Cutting of Composite Materials, Composites Europe 2014, Düsseldorf

09.10.2014 - R. Poprawe: Digital Photonic Production – Crosslinking of virtual Reality with the Reality of Laser Manufacturing, Lab Workshop, Tsinghua, China

09.10.2014 - W. Schulz: Simulation and Diagnostics for Laser Processing – Sheet Metal and Wide Band-gap Materials, Symposium Joint Research Laboratory, Beijing, China

15.10.2014 - D. Buchbinder: Selective Laser Melting of Aluminium Die-Cast Alloy – Correlations Between Process Parameters, Solidification Conditions and Resulting Mechanical Properties, ICALEO, San Diego, CA, USA

15.10.2014 - D. Hawelka: Tailoring Laser Induced Temperature distributions for the Nano Crystallization of Printed Sol-gel-films on Substrates with Low Thermal Stability, Material Science and Technology 2014, Pittsburgh, USA

16.10.2014 - A. Gillner: Flexible Multistrahlssysteme zur Erhöhung der Produktivität bei der Laser-Mikrobearbeitung, Laserforum, Bochum

16.10.2014 - A. Temmler: Laser Polishing and structuring by Remelting, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore

20.10.2014 - S. Hengesbach: Comparison of edge emitter and vertical emitter based diode lasers for materials processing, ICALEO, San Diego, CA, USA

20.10.2014 - R. Poprawe: Digital Photonic Production – the Future of Tailored Light, Schawlow Presentation 2014, ICALEO, San Diego, CA, USA

21.10.2014 - A. Temmler: Structuring by remelting of Ti6Al4V, ICALEO, San Diego, CA, USA

21.10.2014 - F. Zibner: Ultrahigh-Speed Separation Process using a combination of gas-supported laser ablation and laser cutting & Ultra-High-Precision Helical Laser Cutting of sapphire and glass, ICALEO, San Diego, CA, USA

22.10.2014 - V. Blattmann: Laser Structuring of Surfaces for PV Applications, PV Days, Halle

22.10.2014 - P. Lott: Laser-Based Production of Carbon Fibers, ICALEO, San Diego, CA, USA

22.10.2014 - H. Uchtmann: Drilling of Cooling Holes by Using High Power ultrashort-pulsed Laser Radiation, ICALEO, San Diego, CA, USA

23.10.2014 - S. Merkt: Scalability of the mechanical properties of slim produced micro-struts, ICALEO, San Diego, CA, USA

05.11.2014 - W. Meiners: 3D Druck in Metall: Stand der Technik und Perspektiven, POTENZIALE-Veranstaltung, Aachen

05.11.2014 - R. Poprawe: Bedeutung des 3D Drucks für die industrielle Fertigung und Möglichkeiten der Zusammenarbeit mit dem Cluster Photonics, POTENZIALE-Veranstaltung, Aachen

06.11.2014 - D. Maischner: Einsatzmöglichkeiten des Laserauftragschweißens im Werkzeugbau, Infotage Werkzeugbau 2014, Loßburg

06.11.2014 - R. Poprawe: Future Challenges and Chances of 3D Printing / Additive Manufacturing, »Photonics Seminars“, European Commission, DG CONNECT, Brüssel, Belgien

12.11.2014 - M. Brosda: New Perspectives in Laser Processing for Medical Product Manufacturing, COMPAMED High Tech Forum, Düsseldorf

13.11.2014 - R. Poprawe: Digital Photonic Production- Crosslinking of virtual Reality with the Reality of Laser Manufacturing, Korean society of laser processing, Fall Meeting, Shanghai, China

17.11.2014 - R. Poprawe: Ultrafast Lasers with kW Class Output Power for Applications in Industry and Science, Advanced Solid State Lasers Conference, Shanghai, China

18.11.2014 - C. Holly: Festkörperlaser und Diodenlaser für das Schweißen von Kunststoffen, Würzburg

19.11.2014 - M. Schniedenharn: Verbesserung der Oberflächenqualität und Detailauflösung generativ gefertigter Bauteile durch μ SLM, IPA Anwenderforum, Stuttgart

20.11.2014 - D. Hoffmann: Femtosekundenlaser: aktuelle Trends und Anwendungspotenziale, Wissenschaftlicher Beirat Jenoptik, Jena

20.11.2014 - W. Meiners: Selective Laser Melting on the way to production: Recent research topics at Fraunhofer ILT, MAMC, Wien

20.11.2014 - R. Poprawe: SLM Production Systems: Recent Developments in Process Development, Machine Concepts and Component Design, Exzellenzcluster, SAB-Sitzung, Aachen

21.11.2014 - C. Gayer: Generative Fertigung von Keramikwerkstoffen mittels Selective Laser Melting, AK Biokeramik, Aachen

25.11.2014 - D. Buchbinder: Emerging 3D Printing Materials, Euromold, Frankfurt

25.11.2014 - F. Elsen: Robust design and assembly technology of a 1645 nm OPO for French-German satellite mission MERLIN, Workshop on »Laser Sources for LIDAR Applications«, Wessling

25.11.2014 - D. Hoffmann: High Peak Power Solid State Laser Sources for LIDAR Applications, Workshop on »Laser Sources for LIDAR Applications«, Wessling

02.12.2014 - G. Rolink: Laser Metal Deposition and Selective Laser Melting of Fe-Al and Fe-Al-Ti, MRS-Fall Meeting, Boston, MA, USA

11.12.2014 - J. Risse: Latest Developments in SLM, Dissemination Workshop of MERLIN FP7 Project, Ordizia, Spain

KONGRESSE UND SEMINARE



Gut besucht: AKL'14 – Sponsorenausstellung.

AKL'14

7. bis 9. Mai 2014, Aachen **International Laser Technology Congress AKL'14**

Vom 7. bis 9. Mai 2014 fand in Aachen der International Laser Technology Congress AKL'14 statt. Auf dem Kongress zur angewandten Lasertechnik mit Themen aus Mikro- und Makro-Bearbeitung stand auch das große Zukunftsthema »Digital Photonic Production (DPP)« im Fokus. Dies umfasst sowohl die generative Fertigung als auch die abtragenden Laserprozesse zur Herstellung individueller und komplexer Bauteile auf der Grundlage von Datensätzen aus der virtuellen IT-Welt. Mit bis zu 30 Millionen Euro fördert das BMBF über 15 Jahre einen Forschungscampus DPP, der eine neue Form der engen Kooperation zwischen Industrie und Forschungszentren im Bereich der anwendungsbezogenen Grundlagenforschung vorantreibt.

Zum 10. Mal veranstaltete das Fraunhofer ILT den International Laser Technology Congress AKL in Aachen. Der alle zwei Jahre stattfindende AKL hat sich zum größten europäischen Industriekongress für angewandte Lasertechnik in der Produktion entwickelt. In 2014 kamen 629 Experten nach Aachen, um sich über aktuelle Markt- und Technologietrends sowie über zukunftsrelevante Forschungs- und Entwicklungsergebnisse wie zum Additive Manufacturing, zur Präzisionsbearbeitung oder zu neuen Hochleistungs-Ultrakurzpulslasern auszutauschen. Der Anteil der internationalen Besucher aus über 20 Ländern ist weiter gestiegen und lag 2014 bei 24 Prozent. Das Tagungsprogramm orientierte sich an den unterschiedlichen Interessen der Besucher. Am ersten Tag gab es neben dem EU Innovation Forum »Laser Additive Manufacturing (LAM) in Aeronautics« das Einsteiger Seminar Lasertechnik und den Technologie Business Tag für Führungskräfte und Marketingverantwortliche. Der zweite und dritte Tag waren

dem eigentlichen Fachkongress mit den drei Sessions Lasermaterialbearbeitung - Makro, Lasermaterialbearbeitung – Mikro und Laserstrahlquellen gewidmet.

Additive Manufacturing auf der AKL-Fachkonferenz **am 8. und 9. Mai 2014**

Den Hauptteil des Kongresses nahm die technologische Fachkonferenz ein. In drei parallelen Vortragsreihen wurden neue Entwicklungen in den Bereichen Laserstrahlquellen und Lasermaterialbearbeitung im Mikro- und Makrobereich präsentiert.

In seinem Eröffnungsvortrag gab Rudolph Strohmeier, Stellvertretender Generaldirektor GD Forschung und Innovation der Europäischen Kommission, einen Ausblick in die Forschungsförderpolitik der nächsten Jahre.

Die Gerd Herziger Session stand unter der Überschrift »Digital Photonic Production – Neue Horizonte für die Industrielle Produktion«. In den Vorträgen wurde Additive Manufacturing als Technologie präsentiert, die momentan in der Serienfertigung Einzug hält.

Zum Thema »CFK Bearbeitung mit dem Ultrakurzpulslaser« wurden auf der Fachkonferenz neue Anwendungen sowohl im Leichtbau (Trennen und Fügen von CFK, d. h. carbonfaserverstärkter Kunststoffe) als auch in der Displayfertigung (Glasschneiden) diskutiert. In beiden Fällen spielen Ultrakurzpulslaser (UKP) eine entscheidende Rolle.

Lasertechnik Live am 8. Mai 2014 im Fraunhofer ILT

Eine gute Gelegenheit zum direkten Austausch mit den Lasertechnik-Experten boten die Live-Vorfürhungen im Fraunhofer ILT. An 80 Stationen präsentierten die Mitarbeiter des Instituts aktuelle Projekte und Forschungsergebnisse. Die Themen reichten dabei von Klassikern wie Fügen und Schneiden bis hin zu Laserauftragschweißen, Laserpolieren



*Abendveranstaltung des AKL'14 im Krönungssaal
des Aachener Rathauses.*

oder neuen Anwendungen im Bereich Life Science wie der laserinduzierten Übertragung von Zellen (Laser Induced Forward Transfer LIFT). Großes Interesse fanden auch die Stände aktueller Ausgründungen des Fraunhofer ILT, das seit seiner Gründung 1985 auf rund 30 erfolgreiche Spin-offs in der Lasertechnik zurückblicken kann. Diese Gründerkultur wird noch durch das Kooperationsmodell der Spin-ins ergänzt, bei dem sich kleine und große Kooperationspartner in den Gebäuden des Fraunhofer ILT mit eigenen FuE-Laboren und Büros niederlassen können. Die Besucher des AKL'14 konnten sich davon überzeugen, dass dieses Modell erfolgreich läuft und nun auch in einer noch größeren Dimension seitens der RWTH Aachen im Rahmen des RWTH Campus ausgebaut wird. Das Fraunhofer ILT und die kooperierenden RWTH-Lehrstühle koordinieren in diesem Campus den Cluster Photonics. Dort können sich Unternehmen in einem neuen Innovationszentrum in unmittelbarer Nähe zum Fraunhofer ILT niederlassen. Der Spatenstich für dieses Gebäude erfolgte im Sommer 2014. Das gesamte rund 240.000 qm große Gelände zur Errichtung von sieben thematischen Clustern – darunter der Cluster Photonics – beeindruckte die Gäste während einer Rundfahrt über den Campus.

Ein Rückblick zum AKL'14 ist unter www.lasercongress.org zu finden.

07. Mai 2014, Aachen

Verleihung des Innovation Award Laser Technology 2014

Der Innovation Award Laser Technology wird vom Arbeitskreis Lasertechnik e.V. und dem European Laser Institute ELI alle 2 Jahre als europäischer Wissenschaftspreis verliehen. Er richtet sich sowohl an Einzelpersonen als auch an Projektgruppen, deren Fähigkeiten und Engagement zu einer herausragenden Innovation auf dem Gebiet der Lasertechnik geführt haben. Die abgeschlossenen wissenschaftlichen und technologischen

Arbeiten befassen sich im Kern mit der Nutzung und Erzeugung von Laserlicht zur Materialbearbeitung und haben zu einem belegbaren wirtschaftlichen Nutzen für die Industrie geführt.

Rund 300 Gäste wohnten der Preisverleihung im historischen Ambiente des Krönungssaales des Aachener Rathauses bei. Die 9-köpfige internationale Jury wählte 3 Finalisten aus den 23 eingegangenen Bewerbungen aus.

Dr. Paul Hilton, Sprecher der internationalen Jury, hob den persönlichen Einsatz aller 3 Finalisten und die herausragenden Innovationen der Projektteams auf dem Gebiet der Lasertechnik hervor. Die Jury verlieh den ersten Preis des Innovation Award Laser Technology 2014, der mit 10.000 € dotiert war, an den Sprecher des erstplatzierten Teams Dr. Ralf Preu, Bereichsleiter »Photovoltaik - Produktionstechnologie und Qualitätssicherung« am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, für die »Laser Fired Contact (LFC) Technologie für die Produktion von hocheffizienten Silizium-Solarzellen«. Mit der Nutzung des LFC-Verfahrens konnte der kooperierende Industriepartner mehrere technologische Rekorde aufstellen. So wurden Zellen- und Moduleffizienzen von 19,5 Prozent für großflächige multikristalline Silizium-Solarzellen und 18,5 Prozent für Module in Standardgröße erreicht. Inzwischen wurden etwa eine Million Photovoltaik-Module mit LFC-Technologie produziert und verbaut. Die herausragende Leistung dieser Module im Vergleich zur Standardtechnologie wurde bei mehreren Feldtests bestätigt. Das Fraunhofer ISE in Freiburg ist ein Institut der Fraunhofer-Gesellschaft und trägt mit seinen rund 1300 Mitarbeitern und den kooperierenden Industriepartnern durch Innovationen zu einer effizienten und umweltfreundlichen Energieversorgung bei. Der Preisträger Dr. Ralf Preu wurde zum »AKL Fellow« und »ELI Fellow« ernannt. Die Urkunden für die erst-, zweit- und drittplatzierten Finalistenteams wurden durch Dipl.-Ing. Ulrich Berners, Vorstandsvorsitzender des Arbeitskreises Lasertechnik AKL e.V., und Dr. Paul Hilton, Vorstandsvorsitzender des European Laser Institute ELI, überreicht.



Verleihung des Innovation Award Laser Technology 2014 im Aachener Rathaus: (v.l.n.r.) Dr. P. Hilton, Prof. R. Poprawe, Dr. M. Kogel-Hollacher, Dr. R. Preu, Dr. Y. Bellouard, Dipl.-Ing. U. Berners.

Die 3 Finalisten und ihre Teams

1. Platz: Laser Fired Contact (LFC) Technologie für die Produktion von hocheffizienten Silizium-Solarzellen
Team: Dr. Ralf Preu, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, (Teamsprecher); Dr. Jan Nekarda, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg; Dipl.-Phys. Martin Graf, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg.

2. Platz: Messung der Einschweißtiefe und der Topographie in der Laser-Materialbearbeitung mit Hilfe der Kurzkohärenz-Interferometrie
Team: Dr. Markus Kogel-Hollacher, Precitec Optronik GmbH, Neu-Isenburg, (Teamsprecher); Dr. Stephan Bichmann, Scheidt & Bachmann GmbH, Mönchengladbach; Dipl.-Phys. Niels König, Fraunhofer IPT, Aachen; M.Sc. Guilherme Mallmann, Fraunhofer IPT, Aachen; Dipl.-Ing. Thibault Bautze, Precitec GmbH & Co. KG, Gaggenau; Dipl.-Ing. (FH) Christian Fraas, Precitec Vision GmbH & Co. KG, Neftenbach (CH).

3. Platz: FEMTOPRINT: Femtosekunden-Lasersystem für die 3D-Mikro- und Nano-Bearbeitung von Glas
Team: Dr. Yves Bellouard, Eindhoven (NL) University of Technology (Teamsprecher); Dr. Clemens Hönninger, Amplitude Systèmes, Pessac (F); Eric Mottay, Amplitude Systèmes, Pessac (F); Stefano Bottinelli, Mecartex SA, Muzzano (CH); Michael Hopper, Quintenz Hybridtechnik GmbH, Neuried; Dr. Jean-Marc Breguet, CSEM, Neuchâtel (CH); Dr. François Barrot, CSEM, Neuchâtel (CH); Prof. Peter Kazansky, University of Southampton (UK); Prof. Reymond Clavel, EPFL, Lausanne (CH); Dr. Rainer Kling, ALPhANOV, Bordeaux (F); Dr. John Lopez, ALPhANOV, Bordeaux (F); Nicoletta Casanova, FEMTOprint SA, Muzzano (CH).

Weitere Informationen zum Innovation Award Laser Technology unter www.innovation-award-laser.org.

KONGRESSE UND SEMINARE

11.2. - 12.2.2014, Bremen

3. Leichtbau-Tagung

Am 11. und 12. Februar 2014 fand in Bremen die dritte Fraunhofer-Leichtbau Tagung unter Mitwirkung des Fraunhofer ILT als Mitglied der Fraunhofer-Allianz Leichtbau statt. Mit Vorträgen aus der Industrie und den Allianz Partner-Instituten wurde das Thema »Aktuelle Trends im Leichtbau - Mischbauweisen« dargestellt und es wurde Gelegenheit zu Diskussion und Austausch gegeben.

11.3. - 12.3.2014, Berlin

Forum ElektroMobilität - KONGRESS

230 Experten aus Forschung und Wirtschaft nutzten die jährliche Fachveranstaltung des Innovationsnetzwerkes Forum ElektroMobilität e.V. für den branchen- und technologieübergreifenden Wissensaustausch. Mehr als 20 Aussteller, darunter u. a. Rockwood Lithium, die Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität sowie zahlreiche E-Fahrzeuge (Mitsubishi Outlander PHEV, Opel, Ampera, Cetos, eSmart, eUp, eFlinkster, u. v. w.) und Probefahrten rundeten das Programm ab und machten die neuen Technologien im wahrsten Sinne des Wortes »erfahrbar«. Das Fraunhofer ILT trägt mit seinen Aktivitäten im Bereich Batterien mit Kontaktierungstechnologien für Zellen und Schneid- und Fügetechnik im Leichtbau für Batteriegehäuse dazu bei.

12.3. - 13.3.2014, Berlin

Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference 2014

Die dritte Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Konferenz fand vom 12. bis 13. März 2014 im Sofitel Berlin Kurfürstendamm statt. Fast 200 Konferenzteilnehmer befassten sich mit sämtlichen Themen aus dem Bereich der Generativen Verfahren. Die nächste DDMC Konferenz wird vom 16. bis 17. März 2016 in Berlin stattfinden.

8.4. - 9.4.2014, Aachen**Aachener Kunststoffoptiktage 2014**

Am 8. und 9. April 2014 veranstalteten das Fraunhofer ILT, IPT und das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen erstmals gemeinsam die »Aachener Kunststoffoptiktage 2014«. Die internationale Konferenz befasste sich mit optischen Kunststoffkomponenten und setzte hier auf die vier anwendungsbezogenen Themen Beleuchtungsoptiken, Lichtleiter, Abbildende Optiken und Spezialoptiken. 16 Fachvorträge von Referenten namhafter Unternehmen wie Bayer MaterialScience AG, Evonik Industries AG, BMW AG, Momentive Performance Materials GmbH, Zumtobel Lighting GmbH, Hella KGaA, 3M, Thales Group und Optotune AG gaben einen Einblick in verschiedene State-of-the-Art-Technologien und -Produkte und thematisierten zukunftsweisende Innovationen und fertigungstechnische Herausforderungen entlang der Wertschöpfungskette von optischen Kunststoffformteilen.

10.4.2014, Aachen**Workshop »Analytik auf der Nanometerskala mittels Infrarotlicht«**

Zur Eröffnung des neuen Anwenderzentrums für Nahfeldmikroskopie hat das Fraunhofer ILT am 10. April 2014 alle Interessenten aus den Bereichen Analytik, Forschung und Entwicklung zu einem eintägigen Workshop »Analytik auf der Nanometerskala mittels Infrarotlicht« nach Aachen eingeladen. Die Veranstaltung fand in enger Kooperation mit dem 1. Physikalischen Institut der RWTH Aachen University statt. Die Themengebiete erstreckten sich von der Molekülspektroskopie über die Charakterisierung moderner Halbleiterelemente bis hin zu der Erforschung neuartiger Metamaterialien und Effekte auf der Nanometerskala. Wissenschaftler des Fraunhofer ILT und der RWTH Aachen University sowie international renommierte Gastredner gaben einen Einblick in aktuelle Arbeiten auf dem Gebiet der Nahfeldmikroskopie und -spektroskopie sowie deren Potenzial für industrielle Anwendungen.

6.5. - 7.5.2014, Aachen**1st Conference on Laser Polishing LaP 2014**

Die erste LaP Konferenz zum Polieren mit Laserstrahlung fand im Vorfeld des AKL'14 vom 6. bis 7. Mai 2014 im Fraunhofer ILT in Aachen statt. Die Themengebiete erstreckten sich von Laserpolieren von Metallen über Laserpolieren von Glas und laserbasierten Prozessen für die Herstellung von optischen Oberflächen bis hin zum Strukturieren durch Laserumschmelzen. An der Konferenz nahmen über 70 Teilnehmer aus 10 Ländern teil. Der Erfolg dieser Konferenz veranlasste den Veranstalter Fraunhofer ILT zu einer Fortsetzung in 2016 im Umfeld des AKL'16.

11.6.2014, Aachen**Seminar »Automatisierte Montage optischer Systeme«**

Am 11. Juni 2014 fand im Fraunhofer IPT ein gemeinsam von Fraunhofer ILT und IPT durchgeführtes Seminar zum Thema »Automatisierte Montage optischer Systeme« statt. Hier wurden Lösungskonzepte für die Montage optischer Systeme vermittelt und dabei auf die kritischen Prozessschritte, wie Handhabung und Manipulation, Dosieren und Aushärten von Klebstoffen sowie die passive und aktive Justage eingegangen. Auch das Optikdesign und die Auslegung individuell angepasster Anlagenkonzepte wurden im Seminar behandelt. Die Fachvorträge hielten Industrievertreter sowie Mitarbeiter von Fraunhofer IPT und ILT.

25.6.2014, Aachen**Workshop »Speichertechnologie«**

Am 25. Juni 2014 fand ein Workshop zum Thema »Speichertechnologie« im Fraunhofer ILT als Mitglied des Innovationsnetzwerks »Forum ElektroMobilität« statt. Dieser Workshop fand im Rahmen des FSEM II-Clusters »Batterie/Range Extender« der Fraunhofer-Systemforschung Elektromobilität II statt. Das FSEM II-Cluster treibt vor allem Technologien in den Bereichen Weiterentwicklung von Batteriesystemen, Gehäusetechnologien und Produktionsverfahren voran. Die gewonnen Erkenntnisse und Erfahrungen wurden im Rahmen



Fraunhofer ILT-Vorfürungen im Rahmen der Veranstaltung »Potenziale«.

des Workshops aufgezeigt. Ausgewählte Fachvorträge sowie die Besichtigung des Fraunhofer ILT boten den Teilnehmern Einblicke in aktuelle Technologien, Entwicklungen und Verfahren.

23.9. - 24.9. 2014, Schaumburg, IL, USA

Lasers for Manufacturing Event LME 2014

Vom 23. bis 24. September 2014 fand in Schaumburg, Illinois, USA das »Lasers for Manufacturing Event« LME 2014 statt mit einem Keynote Vortrag von Tim Biermann zum Thema »Laser Additive Manufacturing/3D Printing«.

29.9. - 30.9.2014, Stuttgart

Management Circle Trendforum »3D Druck«

Der Management Circle veranstaltete in Kooperation mit dem Fraunhofer ILT das 2. Trendforum zum Thema »3D-Druck« unter der fachlichen Leitung von Prof. Reinhart Poprawe. Es richtete sich an Fach- und Führungskräfte aus den Bereichen Produktion, FuE, Konstruktion, Innovations- und Technologiemanagement, Logistik, Ersatzteilmanagement, Business Development Management, Strategische Unternehmensplanung, Recht, Marketing und Vertrieb. Inhaltliche Schwerpunkte waren unter anderem die Frage nach den derzeitigen technologischen und wirtschaftlichen Grenzen und den wirtschaftlichen Perspektiven des 3D-Drucks sowie seine Abgrenzung zu konventionellen Fertigungsverfahren. Experten zeigten auf, wie Unternehmen schon jetzt die Technologie erfolgreich für sich nutzen.

6.10.2014, Aachen

Themenabend »Additive Fertigung« und Fachgruppentreffen »Photonik«

Der Themenabend »Additive Fertigung« des Vereins NanoMikroWerkstoffePhotonik NMWP e.V. und das Fachgruppentreffen »Photonik« waren am 6. Oktober 2014 zu Gast im Fraunhofer ILT. Die Themenabende des Vereins NMWP dienen der Information von Unternehmen und Hochschulen über aktuelle Entwicklungen und bieten gleichzeitig die Möglichkeit, Einrichtungen zu besichtigen und mit Fachleuten zu diskutieren.

Im Vorfeld des Themenabends fand die Kick-off Veranstaltung der Fachgruppe Photonik des NMWP.NRW e.V. statt. Die Fachgruppentreffen bieten Mitgliedern die Möglichkeit, sich und ihre aktuellen Entwicklungen vorzustellen, sich über Ideen und Interessen auszutauschen sowie gemeinsame Kooperationen und Projekte anzustoßen.

16.10.2014, Bochum

LaserForum 2014 »Produktivitätssteigerung in der Lasermikrobearbeitung«

Nach dem erfolgreichen Auftakt im Herbst 2013 fand das zweite LaserForum zum Thema »Produktivitätssteigerung in der Lasermikrobearbeitung« am 16. Oktober 2014 in der Ruhr-Universität Bochum statt. Im Fokus standen dabei die Themen maßgeschneiderte Laser- und Optiksyste-me, Prozessstrategien für produktive Lasermikrobearbeitung sowie Prozessüberwachung für zero-failure manufacturing. Im Rahmen des LaserForums werden einmal jährlich ausgewählte Fragestellungen und Trends zum Einsatz von Lasertechnik entlang der gesamten industriellen Wertschöpfungskette umfassend dargestellt. Das Forum bietet damit eine Plattform für Diskussionen zwischen Branchenexperten. Das Forum richtet sich an Entwickler, Hersteller und Anwender von Lasertechnik-Lösungen. Das LaserForum wurde vom IVAM Fachverband für Mikrotechnik gemeinsam mit den Partnern Fraunhofer ILT, Laser Zentrum Hannover e.V., LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH und Ruhr-Universität Bochum (RUB) veranstaltet.

5.11.2014, Aachen

POTENZIALE-Veranstaltung – Wirtschaft trifft Wissenschaft 3D-Druck: Hat die Zukunft schon begonnen? Chancen und Grenzen der Anwendung in kleinen und mittelständischen Unternehmen

Am 5. November 2014 fand die von der IHK Aachen gemeinsam mit der FH Aachen, dem Fraunhofer ILT und dem Arbeitskreis Lasertechnik e.V. durchgeführte Veranstaltung zum Thema 3D-Druck im Fraunhofer ILT statt. Anwendungsnahe Forschungseinrichtungen aus der Technologieregion Aachen



stellen sich in der POTENZIALE-Reihe der Wirtschaft vor. Der gegenseitige Gedanken- und Erfahrungsaustausch unterstützt den Wissens- und Technologietransfer zwischen Forschung und Wirtschaft. An der 3D-Druck Veranstaltung nahmen Unternehmer teil, die nach den Fachvorträgen Gelegenheit hatten, die Anlagen des Fraunhofer ILT zu besichtigen und sich intensiv mit den Laserexperten auszutauschen.

KOLLOQUIUM LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN

16.1.2014, Aachen

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Kolloquium Lasertechnik

Dr. Dimitri Scholz, Conway Institute – University College Dublin UCD, Irland, »Contemporary University Imaging Facility for Cutting Edge Biomedical Research«

13.2.2014, Aachen

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Kolloquium Lasertechnik

Prof. Dr. Alexander Heisterkamp, Laser Zentrum Hannover e.V., Hannover, »Laser in der Medizin und Biotechnologie«

6.3.2014, Aachen

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Kolloquium Lasertechnik

Prof. Dr. Michael Zäh, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb), Garching
»Lasermaterialbearbeitung mit modernen Strahlquellen«

20.3.2014, Aachen

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Kolloquium Lasertechnik

Prof. Dr. Klaus Behler, Technische Hochschule Mittelhessen
»Laser welding of (ultra) high strength steel«

27.3.2014, Aachen

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Kolloquium Lasertechnik

Prof. Dr. Heinz P. Huber, Laserzentrum Hochschule München
»Ultrakurzzeit-Mikroskopie und Multi-Skalen-Simulation zeigen neue Aspekte der Laser-Ablation mit ultrakurzen Lichtimpulsen auf«

3.7.2014, Aachen

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Kolloquium Lasertechnik

Prof. Dr. Claus Emmelmann, Laser Zentrum Nord GmbH, Hamburg, »Bionik durch Lasertechnologie – Vision oder industrielle Revolution«

24.7.2014, Aachen

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Kolloquium Lasertechnik

Ph.D. M.Sc. Bart van der Schüren, Materialise N.V., Belgien
»3D Printing: A hype or a real game changer?«

1 Auftaktveranstaltung der

Schüleruniversität Maschinenbau.

2 Abschlussveranstaltung des MINT-Camps

Produktionstechnik im Fraunhofer ILT.



2

AIX-LASER-PEOPLE

9.5.2014, Aachen

48. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People« und des Arbeitskreises Lasertechnik e.V.

An dem Aix-Laser-People Treffen im Umfeld des International Laser Technology Congress AKL'14 vom 7. bis 9. Mai 2014 nahmen knapp 60 Ehemalige und Mitglieder des AKL e.V. teil. Sie informierten sich bei 80 Lasertechnik-Live-Vorfürungen über die jüngsten Entwicklungen des Fraunhofer ILT. Darüber hinaus hielt der Arbeitskreis Lasertechnik e.V. seine Mitgliederversammlung im Fraunhofer ILT ab. Bei dem anschließenden Get-Together tauschten sich Ehemalige und Mitarbeiter des Fraunhofer ILT intensiv aus.

18.12.2014, Aachen

49. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People« und des Arbeitskreises Lasertechnik e.V.

Dieses Seminar stand ganz im Zeichen der Oberflächenemitter (vertical-cavity surface-emitting laser), kurz VCSEL. Zunächst gab Hans-Dieter Hoffmann, Leiter des Kompetenzfelds Laser und Laseroptik am Fraunhofer ILT, einen Überblick über den Stand der Technik und die Potenziale dieses speziellen Halbleiterlasers. Dr. Joseph Pankert, Geschäftsführer der Philips GmbH Photonics Aachen, ging in seinem Vortrag »VCSEL überall: Lasertechnologie in Alltagsgegenständen« auf die unterschiedlichen Einsatzgebiete der Oberflächenemitter ein. Zum Schluss konnten die rund 40 Teilnehmer einen Halbleiterlaser im Einsatz im Labor von Philips Photonics Aachen besichtigen.

VERANSTALTUNGEN FÜR SCHÜLER UND STUDENTEN

9.5.2014, Aachen

Studentenführung

Den Studenten, die im Wintersemester 2013/14 die Veranstaltungen Laserstrahlquellen und Einführung in Laseranwendungen besucht haben, wurde das Fraunhofer ILT vorgestellt und ein Einblick in aktuelle Forschungsthemen gegeben. Die Führung erfolgte im Rahmen der »Lasertechnik Live« des AKL'14.

26.5.2014, Aachen

Institutsführung

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für die German Society of Glass Technology (DGG) und die Glass & Optical Materials Division (GOMD).

20.6.2014, Herzogenrath

Exkursion zur Firma Clean-Lasersysteme GmbH

Besichtigung der Firma Clean-Lasersysteme GmbH im Rahmen der Exkursionswoche der RWTH Aachen mit einer Gruppe Studierender.

20.6.2014, Aachen

Studieninformationstag

Ausstellung des Yb:Innoslab-Demonstrators im Kármán-Gebäude im Rahmen des Studieninformationstags für die Physik für Abiturienten und Studieninteressierte.

17.7.2014, Aachen

Schüleruniversität

Die RWTH Aachen bietet in den Sommerferien Schüleruniversitäten zu den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) für Schülerinnen und Schüler



Gut besucht: Fraunhofer ILT bei der »Nacht der Unternehmen« in Aachen.



Schüler experimentieren im Rahmen der Schüleruniversität Maschinenbau.

ab Jahrgangsstufe 9 an. Dabei lernen die Schüler eine Woche lang das Universitätsleben kennen. Das Fraunhofer ILT hat sich daran gemeinsam mit anderen Instituten aus dem Fachbereich Maschinenbau A und der Fachschaft Maschinenbau mit Vorlesungen und Laborübungen zum Thema Lasertechnik beteiligt.

10.10.2014, Aachen
Studentenführung

Institutsführung und eine kurze Einführung zur Lasertechnik am Fraunhofer ILT für die Erstsemester der Ingenieurwissenschaften der RWTH Aachen.

20.10.2014, Aachen
Besuch des Lehrerkollegiums des St. Ursula Gymnasiums

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für das Lehrerkollegium des St. Ursula Gymnasiums Geilenkirchen.

6.11.2014, Aachen
Nacht der Unternehmen

Im Rahmen der neuen Personalmarketing-Kampagne der Fraunhofer-Gesellschaft präsentierte sich das Fraunhofer ILT unter dem Motto »DOCH.« bei der 7. »Nacht der Unternehmen« mit neuem Design und standortspezifischen Inhalten. Über 2000 Hochschulabsolventen, Studierende und Fachkräfte informierten sich am 6. November 2014 bei den rund 95 ausstellenden Unternehmen und Instituten über Gestaltungsmöglichkeiten ihrer beruflichen Laufbahn.

Zuvor wurde in der Zeit vom 13. Oktober bis zum 6. November 2014 die modular konzipierte Fraunhofer Employer Branding Kampagne von den Aachener Instituten mit individuellen und innovativen Marketing-Aktionen, wie etwa den dreidimensionalen DOCH.-Buchstaben, als Pilotprojekt erfolgreich ausgerollt und von der Fraunhofer-Zentrale als »Best Practice« gewürdigt.

15.11.2014, Aachen
MINT-Camp Produktionstechnik

Spannende Einblicke in die Welt der »Produktionstechnik« ermöglichte das Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« 19 Schülerinnen und Schülern beim diesjährigen MINT-EC-Camp in Aachen. Am Fraunhofer ILT experimentierten die Oberstufenschüler einen Vormittag lang mit Licht und Lasern.

28.11.2014, Aachen
Institutsführung

Institutsführung und eine kurze Einführung zur Lasertechnik am Fraunhofer ILT für die IHK mit Schwerpunkt generative Fertigungsverfahren.

MESSEBETEILIGUNGEN

SPIE Photonics West 2014
1. - 6.2.2014, San Francisco, USA

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik
Das Fraunhofer ILT war auf der internationalen Fachkonferenz Photonics West mit den 12 Vorträgen »High-power dense wavelength division multiplexing (HP-DWDM) of frequency stabilized 9xx diode laser bars with a channel spacing of 1.5 nm«, »Feasibility and performance study for a space-borne 1645 nm OPO for French-German satellite mission MERLIN«, »Green sub-ps laser exceeding 400 W of average power«, »Broadly tunable, longitudinally diode-pumped Alexandrite laser«, »Cognition for robot scanner based remote welding«, »Tracking the course of the manufacturing process in selective laser melting«, »Simultaneous laser and seam tracking with texture based image processing for laser materials processing«,



Gemeinschaftsstand der »Fraunhofer-Allianz Space« auf der ILA in Berlin.



Fraunhofer ILT auf der Photonics West in San Francisco.

»Numerical analysis of external feedback concepts for spectral stabilization of high-power diode lasers«, »Automated alignment of fast-axis collimator lenses for high-power diode laser bars«, »Utilizing the transparency of semiconductors via backside machining with a nanosecond 2 μm Tm: fiber laser«, »Quasi-simultaneous laser soldering for the interconnection of back-contact solar cells with composite foils« und »Investigations on laser transmission welding of absorber-free thermoplastics« vertreten. Zudem stellte das Fraunhofer ILT vom 4. bis 6. Februar 2014 auf dem Gemeinschaftsstand der Bundesrepublik Deutschland innovative Entwicklungen im Bereich Laserstrahlquellen und Optiken aus.

JEC Europe 2014

11. - 13.3.2014, Paris, Frankreich

Composite Show & Conferences

Das Fraunhofer ILT präsentierte wirtschaftliche Fertigungsverfahren für Faserverbundstoffe auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand. Hierzu wurden Ergebnisse aus dem EU-Projekt »FiberChain« und dem BMBF-geförderten Projekt »InProLight« vorgestellt, welche es sich zum Ziel gesetzt haben, unterschiedliche integrative Prozessketten von anspruchsvollen Speziallösungen bis hin zur großserientauglichen Produktion thermoplastischer FVK-Bauteile zu entwickeln. Gezeigt wurden FVK-Bauteile und Kunststoff-Metall-Hybridbauteile, die mit den Verfahren des Fraunhofer ILT bearbeitet wurden.

LASER World of PHOTONICS China

18. - 20.3.2014, Shanghai, China

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik

Die Gruppe Mikro- und Nanostrukturieren des Fraunhofer ILT präsentierte den Besuchern zusammen mit LaserFact eine Wendelbohreroptik sowie ein CombiHead Tool. In diesem Rahmen wurden Verfahren aus den Bereichen Bohren und Schneiden gezeigt. Dazu wurden Anwendungsmöglichkeiten zum Bohren von Einspritzdüsen und von Saphir sowie zum Schneiden und zur Bearbeitung von Wafern und metallischen und nichtmetallischen Materialien vorgestellt.

HANNOVER Messe 2014

7. - 11.4.2014, Hannover

Internationale Industriemesse

Das Fraunhofer ILT präsentierte Verfahren zur funktionalen Beschichtung von Bauteilen sowie zum Mikrofügen und Einsatzmöglichkeiten des UKP-Lasers. Es wurden beschichtete Bauteile wie beispielsweise laserbasiert hergestellte Leiterbahnen und Nanoschichten für den Verschleißschutz aus dem Bereich Dünnschichtverfahren vorgestellt. Darüber hinaus wurden Exponate aus dem Bereich Laserauftragschweißen gezeigt. Die ausgestellten Exponate zum Themengebiet Mikrofügen stellten einen Überblick über die Anwendungsbreite dieses Verfahrens dar. Die Exponate zur vielfältigen Anwendbarkeit der UKP Abtragtechnik demonstrierten die hohe Selektivität und Abtragtiefe dieses Verfahrens.

Control

6. - 9.5.2014, Stuttgart

Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung

Das Fraunhofer ILT präsentierte den neuen bidirektionalen interferometrischen Abstandssensor »bd-1« zur inline Prozessüberwachung der Form und Rauheit von Wellen. Interessierte Besucher konnten auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand Live-Messungen des »bd-1« miterleben.

ILA Berlin Air Show 2014

20. - 25.5.2014, Berlin

Internationale Luft- und Raumfahrttausstellung

Auf dem Gemeinschaftsstand der »Fraunhofer-Allianz Space« wurden von Fraunhofer ILT Diodenlaser-Pumpmodule für die satellitengestützte Freiraum-Telekommunikation, Festkörperlaser für LIDAR-Anwendungen, Faserlaser für ein satellitengestütztes Interferometer zur Messung des Gravitationsfelds, Laserbearbeitung von faserverstärkten Bauteilen und generative Fertigung von Komponenten für Telekommunikationssatelliten vorgestellt. Gemeinsam mit dem Fraunhofer IPT präsentierte



das Fraunhofer ILT den Fraunhofer-Innovationscluster »AdaM – Adaptive Produktion für Ressourceneffizienz in Energie und Mobilität«. Dort stellte das Fraunhofer ILT unter anderem Schaufelcluster aus, die durch Selective Laser Melting (SLM) im 3D-Druck Verfahren hergestellt werden, sowie Anwendungen für eine automatisierte mit Laserauftragschweißen (LA) Reparaturprozesskette von Schaufel-Tips.

Biomedica

17. - 18.6.2014, Maastricht

Gipfeltreffen für Biowissenschaften

Auf dem Gemeinschaftsstand LifeTecAachen-Jülich e.V. präsentierte die Gruppe Biotechnik und Lasertherapie des Fraunhofer ILT Arbeiten zur Funktionalisierung von Weichgewebeimplantaten. Darüber hinaus wurden Exponate aus dem Themenfeld Biofabrikation und 3D-Druck gezeigt, wie zum Beispiel Röhrchen als Stützgerüste für Blutgefäße und Scaffolds für 3D-Zellkulturen.

LASYS

24. - 26.6.2014, Stuttgart

Internationale Fachmesse für Laser-Materialbearbeitung
Auf dem Gemeinschaftsstand »Laser Additive Manufacturing« präsentierte die Gruppe Integrative Produktion von Fraunhofer ILT und RWTH Aachen die neusten Ergebnisse im Bereich des generativen Fertigungsverfahrens Selective Laser Melting (SLM). Funktional optimierte Bauteile von verschiedenen Formula Student Rennteams wurden ausgestellt, um das Potenzial generativer Fertigungsverfahren darzustellen. Des Weiteren wurde Industrievertretern das neuartige Forschungskonzept des Forschungscampus Digital Photonic Production näher gebracht.

1 *Fraunhofer ILT auf der Medica in Düsseldorf.*

2 *Fraunhofer ILT auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand der EuroBlech in Hannover.*

Composites Europe 2014

7. - 9.10.2014, Düsseldorf

Europäische Fachmesse & Forum für Verbundwerkstoffe, Technologie und Anwendungen

Das Fraunhofer ILT präsentierte wirtschaftliche Fertigungsverfahren für Faserverbundstoffe auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand. Ausgestellt wurden FVK-Bauteile und Kunststoff-Metall-Hybridbauteile, die mit den Verfahren des Fraunhofer ILT bearbeitet wurden. Dazu zählten Demonstratorbauteile aus der »InProLight« Prozesskette, Schnitte von Front-End-Komponenten, Exponate zur Kunststoff-Metall-Hybridverbindung sowie weitere Exponate lasertechnischer Leichtbauanwendungen.

Fakuma

14. - 18.10.2014, Friedrichshafen

Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung
Das Fraunhofer ILT war zusammen mit dem Fraunhofer IPT und dem IKV an der RWTH Aachen auf dem Gemeinschaftsstand »Kunststoffland NRW« vertreten. Beide Institute präsentierten dort ihr Know-how rund um die Auslegung und Fertigung von Kunststoffoptiken. Zu diesem Zweck wurden mehrere Freiformoptiken ausgestellt. Darunter eine multifunktionale Freiformoptik aus Kunststoff, Logo-Linsen sowie hocheffiziente Freiformoptiken zur Straßenbeleuchtung. Außerdem wurde im Rahmen der Messe die TWIST Technik zum absorberlosen Fügen transparenter Kunststoffe präsentiert.

ICALEO

19. - 23.10.2014, San Diego, USA

33rd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics

Das Fraunhofer ILT nahm mit mehreren Vorträgen an der ICALEO 2014 teil. Vor rund 350 Teilnehmern des ICALEO Kongresses verliehen LIA-Präsident Yongfeng Lu und LIA-Geschäftsführer Peter Baker Prof. Poprawe den Arthur L. Schawlow Award 2014. Damit würdigten sie die Verdienste



des ehemaligen LIA-Präsidenten für seine herausragenden Beiträge zur Grundlagenforschung und angewandten Forschung in der Lasertechnik. Diese haben einen wirkungsvollen Beitrag zum Einsatz des Lasers in Industrie, Medizin und Alltag geleistet. In seinem Vortrag »Digital Photonic Production – The Future of Tailored Light« zeigte Prof. Poprawe auf, wie die Lasertechnik – insbesondere durch die Vernetzung mit der virtuellen Welt - künftig die industrielle Produktion verändern wird.

glasstec

21. - 24.10.2014, Düsseldorf

Internationale Fachmesse der Glasbranche
Das Fraunhofer ILT präsentierte CO₂-Polituren von Optiken und erstellten Freiformflächen sowie lasergelötete und -geschweißte Glasverbünde auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand. Ebenso wurden Mikrostrukturierungen von Fluidiken und Mechaniken mittels inversem Glasbohren und Selektivem Laserinduziertem Ätzen SLE sowie farbige Glasinnenmarkierungen zur Fälschungssicherung vorgestellt.

EuroBlech 2014

21. - 25.10.2014, Hannover

Internationale Technologiemesse für Blechbearbeitung
Um zu demonstrieren, wie sich pressgehärtete, martensitische Chromstähle erstmals prozesssicher laserschweißen lassen, präsentierte das Fraunhofer ILT auf der EuroBlech ein Prüfbauteil für B-Säulen. Zum Thema Gewichtseinsparung durch lasergestützte Hybridverfahren zeigte das Fraunhofer ILT eine laserwärmebehandelte B-Säule aus MBW®1500.

Compamed/Medica

12. - 14./15.11.2014, Düsseldorf

Weltforum der Medizin und Internationale Fachmesse
Das Fraunhofer ILT war auf 2 Ständen vertreten, auf dem IVAM-Gemeinschaftsstand auf der Compamed und auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand auf der Medica. Auf der

Compamed wurden Inhalte des Fraunhofer ILT zum Thema Laserpolieren, -schweißen und SLM in der Medizintechnik vorgestellt. Hierzu zählten die Themenbereiche Laserpolieren und Oberflächenveredelung, Laserschweißen von Kunststoffen, Biophotonik und Selective Laser Melting (SLM). Dazu gezeigt wurden Bauteile aus Titan, deren Oberflächen durch Laserpolieren veredelt wurden zur Verbesserung ihrer Biokompatibilität und lasergeschweißte Multilayerfolien für die Produktion und Verpackung von Medizinprodukten. Zudem präsentierte das Fraunhofer ILT transparente Kunststoffbauteile, die ohne Absorber durch Laserdurchstrahlungsschweißen verbunden wurden, biokompatible Stützstrukturen aus Hydrogelen, die mit Hilfe des Laserstrahls erzeugt wurden, und Scaffolds aus einer resorbierbaren Magnesiumlegierung, hergestellt durch Selective Laser Melting.

Auf der Medica wurden der »LightSort« für den Nachweis von Antibiotikaresistenzen sowie der »miniScan«, ein schneller Miniscanner für Lasertherapiesysteme, vorgestellt. »LightSort« sortiert nach Spezies getrennt fluoreszenzmarkierte Erreger in einem mikrofluidischen System, um sie anschließend einem Resistenztest zugänglich zu machen. Mit »miniScan« hat das Fraunhofer ILT eine neuartige kompakte 2D-Scannertechnologie entwickelt, die ein geringes Bauvolumen mit einer großen optischen Öffnung vereint. »minScan« ist prädestiniert zur Verwendung in Lasertherapiesystemen, da dieser Scanner durch seine kompakte Bauweise in ein Handstück zur Applikation therapeutischer Laserstrahlung integriert werden kann. Die Optik des »miniScan« kann mit allen verfügbaren Hochleistungsbeschichtungen versehen werden und ist daher insbesondere für Piko- und Femtosekundenlaserstrahlung hoher Pulsspitzenleistung geeignet.

*3 Fraunhofer ILT auf der
EuroMold in Frankfurt.*



EuroMold

25. - 28.11.2014, Frankfurt/Main

Weltmesse für Werkzeug- und Formenbau sowie Additive Manufacturing

Im Rahmen der Messe präsentierte das Fraunhofer ILT ein völlig neues SLM-Anlagenkonzept, welches anhand einer Laboranlage des ILT dargestellt wird. Das Konzept bietet die Möglichkeit der einfachen Skalierung von Produktivität und Bauraumgröße zu signifikant niedrigeren Kosten als vergleichbare konventionelle Anlagen. Ausgestellt wurden zudem verschiedene laserpolierte Werkzeuge für die Herstellung von Gläsern, Blechen und Kunststoffteilen sowie laserpolierte Bauteile. Im Bereich SLM wurden unterschiedlichste Beispielbauteile aus der Medizintechnik (Implantate aus Kobalt-Chrom, Magnesium und bioresorbierbaren Kompositwerkstoffen), dem Turbomaschinen- und dem Automobilbau gezeigt.

AUSZEICHNUNGEN UND PREISE

Prof. Poprawe erhält Ehrenprofessur in Peking

Im April 2014 wurde Prof. Poprawe, Rektoratsbeauftragter der RWTH Aachen für die Volksrepublik China, zum Ehrenprofessor der Tsinghua Universität in Peking ernannt. Diese zählt zu den renommiertesten und forschungsstärksten technisch-naturwissenschaftlichen Universitäten Chinas.

Schawlow-Award für Prof. Poprawe

LIA-Präsident Yongfeng Lu und LIA-Geschäftsführer Peter Baker verliehen Prof. Poprawe am 22. Oktober 2014 vor rund 350 Teilnehmern des ICALEO-Kongresses in San Diego, Kalifornien, den Arthur L. Schawlow-Award 2014. Damit würdigten sie die Verdienste des ehemaligen LIA-Präsidenten für seine herausragenden Beiträge zur Grundlagenforschung und angewandten Forschung in der Lasertechnik.

Borchers-Plakette

Die Borchers-Plakette wird an Doktoranden der RWTH Aachen verliehen, die ihre Doktorprüfung »Mit Auszeichnung« bestanden haben. Namensgeber der Ehrenplakette ist der Geheimrat Professor Wilhelm Borchers, der von 1897 bis 1925 Ordinarius für Metallhüttenkunde an der Hochschule war. Am 05.09.2014 haben folgende Mitarbeiter bzw. ehemalige Mitarbeiter des Fraunhofer ILT die Borchers-Plakette verliehen bekommen: Axel Bäuerle, Georg Bergweiler, Damien Buchbinder und André Temmler.

1 Prof. Poprawe (Mitte) bei der Verleihung des Schawlow-Awards in San Diego, USA, Quelle: LIA.

ARBEITSKREIS LASERTECHNIK AKL E.V.



Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V. **Das Forum für industrielle Laseranwendungen**

Der AKL e.V. wurde 1990 gegründet, um die faszinierenden Möglichkeiten, die das Werkzeug Laser in Hinblick auf Präzision, Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit eröffnet, durch Intensivierung des Informations- und Ausbildungsstands für den industriellen Einsatz nutzbar zu machen.

Heute sind viele der Anwendungsmöglichkeiten bekannt und die Prozesse erprobt. Der Einsatz von Lasern ist vielerorts zum Tagesgeschäft geworden. Dennoch werden ständig neue Laserstrahlquellen und Laserverfahren entwickelt, die zu innovativen und neuen Perspektiven in der industriellen Fertigung führen. In dieser sich schnell wandelnden Disziplin unterstützt ein Netzwerk wie der AKL e.V. effektiv Innovationsprozesse.

Im Fokus der AKL e.V. Tätigkeit steht die wissenschaftliche Arbeit auf dem Gebiet der Lasertechnik sowie die Verbreitung der Lasertechnik zur qualitativen und wirtschaftlichen Verbesserung von Produktionsprozessen. Der AKL e.V. versteht sich hier als Moderator zwischen Anbietern und Anwendern sowie zwischen den wirtschaftlichen, wissenschaftlichen und politischen Institutionen im Umfeld.

Ein kontinuierlicher Informationsaustausch und Aufbau einer gemeinsamen Wissensbasis sowie die nachhaltige Verbesserung der Ausbildungssituation bilden die Grundlage zur Zielerreichung des Vereins. Dem AKL e.V. gehören derzeit 137 Mitglieder an.

Aufgabenspektrum

- Information zu innovativen lasertechnischen Produkten und Verfahren
- Pflege persönlicher Netzwerke von Laser-Experten
- Organisation von Tagungen und Seminaren
- Erstellung von Lehrmitteln zur Lasertechnik
- Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses
- Beratung von Industrie und Wissenschaft in lasertechnischen Fragestellungen
- Verleihung des Innovation Award Laser Technology

Vorstand

Dipl.-Ing. Ulrich Berners (Vorsitzender)
Prof. Reinhart Poprawe M. A.
(stellvertr. Vorsitzender)
Dr. Bernd Schmidt
Dipl.-Phys. Axel Bauer (Geschäftsführer)

Kontakt

Dipl.-Phys. Axel Bauer
Steinbachstraße 15
52074 Aachen
Telefon +49 241 8906-194
Fax +49 241 8906-121
info@akl-ev.de
www.akl-ev.de

EUROPEAN LASER INSTITUTE ELI



Kurzportrait

Das European Laser Institute wurde 2003 auf Initiative und mit Förderung der Europäischen Union gegründet. Ziel von ELI ist es, die Position Europas in der Lasertechnik zu stärken und weiter auszubauen. Darüber hinaus will ELI den Stellenwert und die Perspektiven der europäischen Lasertechnik für eine breitere Öffentlichkeit sichtbar machen. Gemeinsam mit knapp 30 führenden Forschungseinrichtungen sowie kleinen und mittelständischen Unternehmen hat sich das Fraunhofer ILT zu einem europäischen Netzwerk zusammengeschlossen. Neben der Integration in regionale und nationale Netzwerke ist das Fraunhofer ILT damit auch auf europäischer Ebene in ein schlagkräftiges Netzwerk im Bereich der Lasertechnik eingebunden. Des Weiteren wird die internationale Kooperation von Industrie und Forschung, insbesondere im Bereich der EU-Forschungsförderung, durch ELI forciert. Durch die Organisation von Konferenzen, Workshops, Summerschools etc. schafft ELI unter anderem entsprechende Plattformen. Nicht zuletzt wird dies auch durch die Zusammenarbeit mit den jeweiligen Interessensvertretungen (z. B. EPIC, AILU, WLT) gefördert. Eine enge Kooperation mit dem Laser Institute of America (LIA) besteht unter anderem bei der Ausrichtung von internationalen Konferenzen (ICALEO, PICALO, ALAW) sowie dem Journal of Laser Applications (JLA).

Executive Committee

Das European Laser Institute wird durch das Executive Committee vertreten. Mitglieder im Executive Committee sind:

- Dr. Paul Hilton (Vorsitzender)
TWI, Großbritannien
- Dr. Wolfgang Knapp
CLFA, Frankreich
- Prof. Veli Kujanpää
VTT Technical Research Center of Finland,
Lappeenranta, Finnland
- Dr. Filip Motmans
Lasercentrum Vlaanderen, Belgien
- Prof. José Luis Ocaña
Centro Láser U.P.M., Spanien
- Dr. Alexander Olowinsky
Fraunhofer ILT, Deutschland
- Prof. Andreas Ostendorf
Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

Kontakt im Fraunhofer ILT

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
Fax +49 241 8906-121
contact@europeanlaserinstitute.org
www.europeanlaserinstitute.org

ZUWENDUNGSGEBER

Einige Verbundprojekte wurden mit Mitteln von öffentlichen Zuwendungsgebern, denen wir an dieser Stelle danken, unterstützt.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Die Landesregierung
Nordrhein-Westfalen



EUROPÄISCHE UNION



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung



DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft

IMPRESSUM

Redaktion

Dipl.-Phys. Axel Bauer (verantw.)
Stefanie Flock
M.A. Petra Nolis

Gestaltung und Produktion

Dipl.-Des. Andrea Croll
www.andrea-croll.de

Druck

Druckspektrum
Hirche-Kurth GbR, Aachen
www.druck-spektrum.de

Papier

Dieser Jahresbericht wurde auf umweltfreundlichem,
chlor- und säurefrei gebleichtem Papier gedruckt.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Axel Bauer
Telefon +49 241 8906-194
Fax +49 241 8906-121
axel.bauer@ilt.fraunhofer.de

Änderungen bei Spezifikationen und anderen technischen
Angaben bleiben vorbehalten.

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung der Redaktion.

© Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen 2015.

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Steinbachstraße 15
52074 Aachen
Telefon +49 241 8906-0
Fax +49 241 8906-121

info@ilt.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de