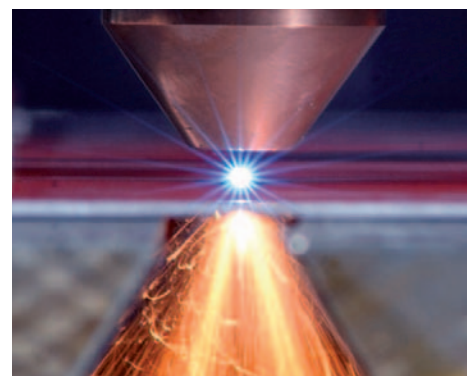
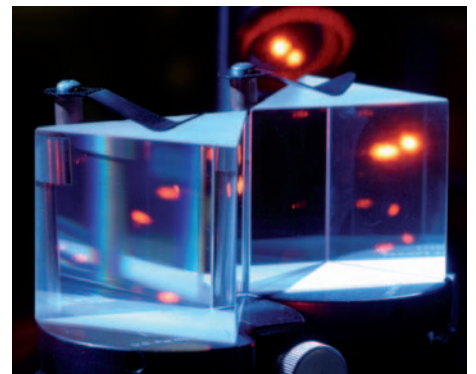




Fraunhofer Institut
Lasertechnik

Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2008



Jahresbericht
des Fraunhofer-Instituts
für Lasertechnik ILT
2008



Die Wirtschaftspolitik hat bereits seit einigen Jahren erkannt, dass der Schlüssel zum Wachstum in Hochlohnländern in der Innovationskraft steckt. Dass diese Erkenntnis von den Verantwortlichen nicht nur publikumswirksam in den Außenraum getragen wird, sondern auch konsequenter danach gehandelt wird, ist vielleicht der zentrale positive Aspekt in wirtschaftlich schwierigeren Zeiten. In diesem Umfeld wird die Rolle von starken nationalen Netzwerken sowie themenfokussierten und regional aufgestellten Clustern als Innovationstreiber von fachkundigen Politikern und aufgeschlossenen Unternehmen hoffentlich wahrgenommen. Der Zusammenschluss von Unternehmen, Forschungsinstitutionen, Hochschulen und Dienstleistern, die sich auf der Leistungsebene ergänzen und gleichzeitig ein gemeinsames Interesse an definierten technologischen Themen haben, kann zu einer echten Trendwende führen. Dies setzt allerdings voraus, dass die Akteure den Mehrwert in der nationalen Kooperation und in der überregionalen Ausstrahlungskraft sehen.

Je stärker das Commitment der Akteure und je zielgerichteter die gemeinsamen Maßnahmen sind, umso wirkungsvoller tritt ein technologischer Cluster auf. Das Spektrum der Erwartungen ist weit gefächert und reicht von der kooperativen Forschung und Entwicklung über gemeinschaftliche Einkaufsstärke und Weiterbildung bis hin zur Internationalisierung der Vertriebs- und Marketingaktivitäten. Im Gegensatz zu nationalen und internationalen Netzwerken liegt der Charme regionaler Cluster in dem schnellen Austausch von Informationen, Hardware und Personen auf kurzen Wegen. Dabei steht natürlich auch hier die nationale Wirkung auf internationalen Märkten im Vordergrund.

Mit dieser Erkenntnis haben einige in ihrem jeweiligen Bereich exzellente Aachener Institute das Projekt RWTH Aachen Campus ins Leben gerufen. Ziel ist es, eine der größten europäischen Technologieplattformen mit Büros und Forschungseinrichtungen für Unternehmen in unmittelbarer Nähe zu einer Universität aufzubauen. In den kommenden 8 Jahren ist beabsichtigt, über 1 Mrd. Euro in Gelände, Ausrüstung und Büros für rund 10.000 Personen zu investieren. Der erste Bauabschnitt startet 2009 in Melaten auf einer Fläche von rund 270.000 qm. In unmittelbarer Nähe zum Fraunhofer ILT entsteht eines der 15 anvisierten Cluster rund um die optischen Technologien. Das Fraunhofer ILT hat die Koordination dieses Clusters übernommen und lädt Interessenten dazu ein, sich näher über die Vorteile und Perspektiven am Standort Aachen zu informieren.

Wir wollen Ihrem Unternehmen neue Marktchancen durch die Zusammenarbeit mit exzellenten Forscherteams der RWTH Aachen und der Fraunhofer Institute eröffnen. Nutzen Sie jetzt die Chance des First Mover und setzen Sie sich mit uns in Verbindung. Was Sie inhaltlich von uns erwarten dürfen, können Sie den zahlreichen FuE-Projektdarstellungen im vorliegenden Jahresbericht entnehmen. Unabhängig davon, ob Sie sich auch für unsere Clusteraktivitäten interessieren, würden wir uns natürlich freuen, aus Ihrem Hause anspruchsvolle Aufgabenstellungen anzunehmen. Ich wünsche Ihnen eine inspirierende Lektüre und freue mich auf Ihre Resonanz.

Ihr

Professor Reinhart Poprawe M.A.

Das Institut im Profil	6	Ausgewählte Forschungsergebnisse aus den Geschäftsfeldern des ILT	
Leitbild	7		
Geschäftsfelder	8	Laserstrahlquellen und Plasmasysteme	37 - 62
Kuratorium und Gremien	10	Laserfertigungsverfahren	63 - 108
Ansprechpartner	11	Laseranlagen und Systemtechnik	109 - 124
Kernkompetenzen	12		
Dienstleistungsangebot	14	Lasermess- und Prüftechnik	125 - 141
Das Institut in Zahlen	16		
Kundenreferenzen	19	Patente	142
Fraunhofer USA Center for Laser Technology CLT	20	Dissertationen	143
		Diplomarbeiten	143
Coopération Laser Franco-Allemande CLFA	22	Wissenschaftliche Veröffentlichungen	144
Fraunhofer-Verbund Oberflächen- technik und Photonik VOP	24	Vorträge	148
Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick	26	Kongresse und Seminare	152
		Messebeteiligungen	156
Lasertechnik an der RWTH Aachen	28	Publikationen	157
Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«	30	Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.	160
		CD-Rom »Lasertechnik«	161
RWTH Aachen Campus	32	Fachbuch »Lasertechnik für die Fertigung«	162
European Laser Institute ELI	34	Informations-Service	163
PhotonAix e.V. - Kompetenznetz Optische Technologien	35	Impressum	164



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

Kurzportrait

ILT - dieses Kürzel steht seit über 20 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 Garanten 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 Stahlbau, der Feinmechanik und der Optik.

Mit über 250 Mitarbeitern und 10.000 m² Nutzfläche zählt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten seines Fachgebiets. Die vier Geschäftsfelder des Fraunhofer ILT decken ein weites, vertikal integriertes Themenspektrum ab. Im Geschäftsfeld »Laserstrahlquellen und Plasmasysteme« konzentrieren sich die Entwicklungsaktivitäten auf innovative Dioden- und Festkörperlaser für den industriellen Einsatz sowie auf kompakte EUV-Strahlquellen für die Lithographie in der Halbleiterproduktion. Das Geschäftsfeld »Laserfertungsverfahren« löst Aufgabenstellungen zum Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen, Löten sowie zur Oberflächenbearbeitung und Mikrofertigung. Das Anwendungsspektrum reicht von der Makrobearbeitung über die Nanostrukturierung bis hin zur Biophotonik. Im Geschäftsfeld »Laseranlagen und Systemtechnik« werden Prototypanlagen entwickelt, konstruiert und vor Ort installiert. Prozessüberwachung und -regelung sind ebenso Bestandteil

der Aktivitäten wie Steuerungen und Systemkomponenten. Im Geschäftsfeld »Lasermess- und Prüftechnik« werden Verfahren und Systeme zur Oberflächeninspektion, zur Stoffanalyse, zur Prüfung der Maßhaltigkeit und Geometrie von Bauteilen sowie zur Analyse statischer und dynamischer Verformungen entwickelt.

Unter einem Dach bietet das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik Forschung und Entwicklung, Systemaufbau und Qualitätssicherung, Beratung und Ausbildung. Zur Bearbeitung der Forschungs- und Entwicklungsaufträge stehen industrielle Lasersysteme verschiedener Hersteller sowie eine umfangreiche Infrastruktur zur Verfügung.

Im Anwenderzentrum des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik 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 ILT-Experten. Rund 10 Firmen nutzen die Vorteile des Anwenderzentrums. Neben Laserherstellern und Laseranwendern finden hier auch Unternehmensgründer aus dem Bereich des Sonderanlagenbaus, der Laserfertigungstechnik und der Lasermesstechnik ein geeignetes Umfeld zur industriellen Umsetzung ihrer Ideen.



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.

Laserstrahlquellen und Plasmasysteme

Das Geschäftsfeld umfasst die Entwicklung von Diodenlasern, Stab-, Slab- und Faser basierten Festkörperlaser sowie nichtlinearen Optikanordnungen zur Frequenzkonversion, das Optikdesign für Strahlführungs- und Strahlformungssysteme, die Mikromontage von Diodenlasern, Festkörperlaser und optischen Komponenten sowie die Entwicklung von Plasmasystemen.

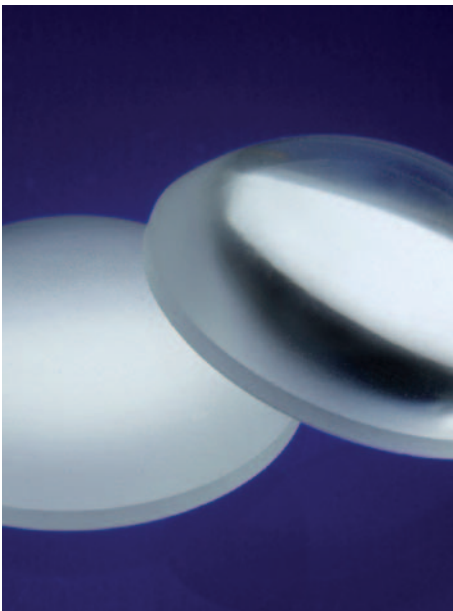
In Kooperation mit führenden Partnern aus dem Bereich der Halbleitertechnik wie dem Fraunhofer IAF, dem Fraunhofer HHI sowie dem Ferdinand Braun Institut für Höchstfrequenztechnik werden neue Strukturen und Anordnungen entworfen, die die Herstellung von Diodenlasern höherer Strahlqualität erlauben.

Zu den Alleinstellungsmerkmalen des Geschäftsfelds zählt neben der Montage von Hochleistungs-, Dioden- und Festkörperlaser die Realisierung automatisierter Montage- und Testanlagen. Im Bereich Plasmatechnik liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung von EUV-Strahlquellen für die Halbleiterlithographie. Die wesentlichen Zielmärkte des Geschäftsfelds sind die Lasermaterialbearbeitung, die Medizintechnik, die Messtechnik, die Beleuchtungstechnik sowie der Komponentenmarkt für die Informations- und Kommunikationstechnik.

Aus diesem Geschäftsfeld werden seit über 10 Jahren zahlreiche Spin-offs des Fraunhofer ILT gegründet.

Laserfertigungsverfahren

Zu den Fertigungsverfahren, mit denen sich das Geschäftsfeld befasst, zählen die Trenn- und Fügeverfahren in Mikro- und Makrotechnik sowie die Oberflächenverfahren. Die angebotenen Dienstleistungen reichen von der Verfahrensentwicklung für die Herstellung branchenspezifischer Produkte und die Integration dieser Verfahren in Produktionslinien über Simulationsdienstleistungen für Laserapplikationen bis zur Musterfertigung zur Unterstützung des Serienanlaufs. Die Stärke des Geschäftsfelds beruht auf dem umfangreichen Prozess-Know-how, das auf die Kundenanforderungen jeweils zugeschnitten wird. Neben den Prozessentwicklungen bietet das Geschäftsfeld durch Nutzung ausgewählter Technologienetzwerke komplette Systemlösungen an. Dem Kunden werden laserspezifische Problemlösungen angeboten, die Konstruktion, Werkstoff, Produktdesign, Produktionsmittel und Qualitätssicherung mit einbeziehen. Neben dem Zielmarkt Materialbearbeitung spricht das Geschäftsfeld ebenfalls Kunden aus den Bereichen Medizintechnik, Biotechnologie und Chemie an.



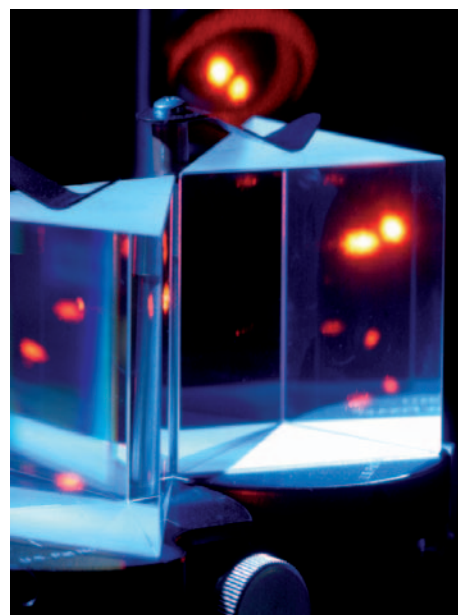
Laseranlagen und Systemtechnik

Das Geschäftsfeld konzentriert sich einerseits auf die Entwicklung von Prototypanlagen für Laserapplikationen und plasmatechnische Anwendungen sowie andererseits auf die Lasersystemtechnik mit Schwerpunkt Automation und Qualitätssicherung. Anwendungsbereiche sind u. a. Schweißen, Schneiden, Härten, Reparaturbeschichten, Bohren und Mikrofügen. In der Systemtechnik werden Komplettlösungen zur Prozessüberwachung, Komponenten und Steuerungen zur Präzisionsbearbeitung, laserspezifische CAD/CAM-Technologiemodule sowie Software zum Messen, Steuern, Regeln und Prüfen angeboten. Insbesondere in der Prozessüberwachung hält das Geschäftsfeld umfangreiches und bei Bedarf patentrechtlich geschütztes Know-how vor. Zahlreiche Systeme wurden in diesem Bereich bereits für Unternehmen lizenziert. Zielmärkte sind neben den Laseranlagen- und -komponentenherstellern sämtliche Branchen der produzierenden Industrie, die Laser in der Fertigungstechnik einsetzen oder beabsichtigen, dies zu tun.

Lasermess- und Prüftechnik

Das Angebotsspektrum des Geschäftsfelds umfasst die Entwicklung von Mess- und Prüfverfahren sowie entsprechender Anlagen zur Stoffanalyse und zur Geometrie- und Oberflächenprüfung. Die erforderliche Mess- und Prüfsoftware wird auf die kundenspezifischen Problemstellungen zugeschnitten. Die Stoffanalyse beruht auf dem Einsatz laserspektroskopischer Verfahren. Schwerpunktmäßig befasst sich dieser Bereich mit der Analyse metallischer und oxidischer Werkstoffe, der Verwechslungsprüfung, der Schnellerkennung von Werkstoffen für Recyclingaufgaben sowie der Analyse von Gasen und Stäuben. Für die parallele Verarbeitung von Detektorsignalen hoher Bandbreite werden spezielle Elektronikkomponenten entwickelt.

In der Biophotonik werden Verbundprojekte im Bereich hochsensitiver Fluoreszenzdetektion für Proteinchips und Laser-Streulichtmessungen in Sub- μ l Probenvolumina für die Proteinkristallisation durchgeführt. Im Bereich Geometrie- und Oberflächenprüfung werden Komponenten, Geräte und Anlagen, mit denen 1- bis 3-D-Informationen über die Geometrie- oder die Oberflächenbeschaffenheit von Werkstücken gewonnen werden können, entwickelt. Hierzu zählen beispielsweise Verfahren und Sonderanlagen für die Prüfung der Maßhaltigkeit von strang- und bandförmigen Produkten und Geräte für die 1-D- bis 3-D-Vermessung von Stückgut. Zielmärkte sind die produzierende Industrie und die Recyclingwirtschaft, die mess- oder prüftechnische Aufgaben prozessnah und schnell durchführen müssen.



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:

C. Baasel (Vorsitzender)

Carl Baasel Lasertechnik GmbH

Dr. Thomas Fehn

Jenoptik AG

Dr. Ulrich Hefter

Rofin-Sinar Laser GmbH

Dipl.-Ing. H. Hornig

BMW AG

Dr. U. Jaroni

ThyssenKrupp Stahl AG

RD Andreas Kletschke

Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF

Prof. Dr. G. Marowsky

Laserlaboratorium Göttingen e. V.

MinRat Dipl.-Phys. T. Monsau

Ministerium für Arbeit und Soziales, Qualifikation und Technologie des Landes NRW

Dr. Rüdiger Müller

Osram Opto Semiconductors GmbH & Co. OHG

Dr. Joseph Pankert

Philips Lighting B.V.

Prof. R. Salathé

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Dr. Dieter Steegmüller

DaimlerChrysler AG

Dr. Klaus Wallmeroth

TRUMPF Laser GmbH & Co. KG

Die 24. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 17. September 2008 im Fraunhofer ILT in Aachen statt.

Institutsleitungskreis ILEI

Der Institutsleitungskreis ILEI berät die Institutsleitung und wirkt bei der Entscheidungsfindung über die Grundzüge der Forschungs- und Geschäftspolitik des Instituts mit. Mitglieder des ILEI sind: Dipl.-Betw. (FH) Vasvija Alagic MBA, Dipl.-Phys. A. Bauer, Dr. K. Boucke (bis 31.01.2008), Dr. A. Gillner, Dr. J. Gottmann, Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Dr. S. Kaierle, Dr. I. Kelbassa, Prof. Dr. P. Loosen, Dr. W. Neff, Dr. R. Noll, Dr. D. Petring, Prof. Dr. R. Poprawe, Prof. Dr. 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: Dipl.-Betw. (FH) Vasvija Alagic MBA, K. Bongard, M. Brankers, A. Hilgers, A. Lennertz, Dr. W. Neff, E. Neuroth, Dipl.-Ing. H.-D. Plum, Prof. Dr. 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. Dr. R. Poprawe, B. Theisen, Dr. C. Janzen.

Betriebsrat

Der Betriebsrat wurde im März 2003 von den Mitarbeitern des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT gewählt. Mitglieder sind: Dipl.-Ing. P. Abels, Dipl.-Ing. G. Backes, M. Brankers, Dipl.-Phys. J. Geiger, M. Janßen, Dipl.-Phys. G. Otto, B. Theisen (Vorsitz), Dr. A. Weisheit, Dipl.-Ing. N. Wolf.



Prof. Dr. Reinhart Poprawe MA (-110)
Institutsleiter



Prof. Dr. Peter Loosen (-162)
Stellvertretender Institutsleiter



Dr. Dirk Petring (-210)
Abt. Trenn- und Fügeverfahren



Dipl.-Phys. Axel Bauer (-194)
Marketing und Kommunikation



Dipl.-Ing. Dieter Hoffmann (-206)
Abt. Laser und Laseroptik



Dr. Konrad Wissenbach (-147)
Abt. Oberflächentechnik



Dipl.-Betrw. Vasvija Alagic MBA (-181)
Verwaltung und Infrastruktur



Dr. Reinhard Noll (-138)
Abt. Lasermess- und Prüftechnik



Dr. Arnold Gillner (-148)
Abt. Mikrotechnik



Dr. Bruno Weikl (-134)
IT-Management



Dr. Willi Neff (-142)
Abt. Plasmatechnologie



Dr. Stefan Kaierle (-212)
Abt. Systemtechnik



Dr. Alexander Drenker (-223)
Qualitätsmanagement



Prof. Dr. W. Schulz (-204)
Abt. Modellierung und Simulation

Laser und Laseroptik Dipl.-Ing. Dieter Hoffmann

- Aktive und passive Kühlung von Diodenlasern
- Ausdehnungsangepasste Kühler und Aufbautechniken für Diodenlaser-Montage von Laserdiodenbarren mit Indium- und AuSn-Lot
- Charakterisierung und Test von Diodenlasern im Wellenlängenbereich von 630 nm bis 2,1 µm
- Mikrooptische Systeme zur Faserkopplung für Singlemode und Multimodefasern
- Automatisierbare Präzisionsmontageprozesse für Laser- und Optiksyste
- Entwicklung von Komponenten und Fertigungsprozessen für Faserlaser sowie Festkörper- und Diodenlaser
- Entwurf, Analyse und Optimierung von Festkörper- und Diodenlasern, Faserlasern und UltrakurzpulsLasern sowie Verfahren und Komponenten zur Frequenzkonversion
- Analytische und numerische Modellierung der relevanten mechanischen, thermischen und optischen Effekte in Lasern und nichtlinearen Kristallen
- Optische Anordnungen zur Führung und Formung von Laserstrahlung
- Design und Charakterisierung von optischen Komponenten

Lasermess- und Prüftechnik Dr. Reinhard Noll

- Lasermessverfahren für online Prüfaufgaben
- Entwicklung, Bau, Integration und Erprobung von Lasermess- und Prüfsystemen
- Chemische Analyse von festen, flüssigen und gasförmigen Substanzen mit Laser-Spektroskopie
- Spektroskopische Überwachung von Schweißprozessen
- Fluoreszenz-Analytik
- Quantifizierung von Proteinwechselwirkungen durch markierungsfreie Laser-Streulichtverfahren
- In-vivo-Diagnostik zur online Überwachung minimal invasiver chirurgischer Eingriffe
- Messung von Abständen, Profilen und Formen mit Laser-Triangulation
- Echtzeitdatenverarbeitung und Automation

Plasmatechnologie Dr. Willi Neff

- Entwicklung plasmabasierter EUV/XUV-Quellen
- Entwicklung, Bau und Integration von Komponenten für EUV/XUV-Messsysteme (Mikroskopie, Oberflächencharakterisierung, Reflektivitätsmessung ...)
- Leistungsgeneratoren zur gepulsten Plasmaerzeugung
- Prozessregelungs- und Steuerungssysteme für räumlich verteilte Anlagen auf Mikrosekundenbasis
- Atmosphärendruckplasmen zur Oberflächenmodifikation (Packstoffsterilisation, Funktionalisierung ...)

Trenn- und Fügeverfahren Dr. Dirk Petring

- Schneiden, Perforieren, Bohren, Tiefengravur
- Schweißen, Löten
- Hochgeschwindigkeitsbearbeitung
- Dickblechbearbeitung
- Trennen und Fügen von Sonderwerkstoffen
- Fügen mit Zusatzwerkstoff
- Laser-Lichtbogen Hybridverfahren
- Produktorientierte Verfahrensoptimierung
- Multifunktionale Fertigungsprozesse
- Design und Implementierung von Bearbeitungsköpfen
- Sensorgestützte Prozessüberwachung und -regelung
- Rechnergestützte Prozesssimulation und -optimierung
- Multimediale Ausbildungs- und Informationssysteme

Oberflächentechnik Dr. Konrad Wissenbach

- Herstellung beanspruchungsgerechter Funktionsschichten durch Wärmebehandlung, Umwandlungshärten, Umschmelzen, Legieren, Dispergieren und Auftragschweißen
- Verfahrensentwicklung zum Instandsetzen von Werkzeugen und Bauteilen
- Entwicklung von Pulverzufuhrsystemen und Innenbearbeitungsköpfen
- Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing zur Herstellung metallischer und keramischer Bauteile und Werkzeuge
- Polieren, Strukturieren, Glätten und Aufrauen durch Umschmelzen von Metallen, Glas und Kunststoffen
- Funktionalisierung dünner Schichten
- Erzeugung strukturierter Schichten aus der schmelzflüssigen Phase
- Reinigung von Oberflächen

Mikrotechnik

Dr. Arnold Gillner

- Lasermikroschweißen von Metallen und artungleichen Werkstoffkombinationen
- Laserstrahlkunststoffschweißen von Thermoplasten und thermoplastischen Elastomeren mit Dioden- und Faserlasern
- Laserstrahlmikrolöten von Metallen und Gläsern
- Mikrobonden von Glas, Halbleitern und Keramiken
- Laserunterstützte Stanz-, Biege- und Prägeprozesse
- Feinschneiden und Bohren von Metallen, Keramiken, Halbleitern und Diamanten
- Mikrostrukturierung mit Excimer- und Nd:YAG-Lasern
- Mikrobohren mit Festkörperlasern
- Abtrags- und Strukturierungsverfahren mit Pikosekunden- und Femtosekundenlasern
- Nanostrukturierung mit interferenzbasierten Verfahren und Multiphotonenanregung
- Mikrowerkzeugtechnik in Hartmetallen, Keramiken und Diamant
- Oberflächenstrukturierung für funktionale Bauteilgestaltung
- Markieren und Beschriften

- Schneiden und Perforieren von Papier, Kunststoffen und Verbundwerkstoffen
- Lasermedizin für die Gewebetherapie
- Laseranwendungen für die Biotechnologie
- Zellmanipulation und biophotonische Analyseverfahren
- Photochemische Prozesse
- Beratung und Durchführung von Machbarkeitsstudien und Prozessentwicklungen für laserbasierte Fertigungsverfahren
- Verfahrensqualifizierung unter seriennahen Bedingungen

Modellierung und Simulation

Prof. Dr. Wolfgang Schulz

- Erzeugung von EUV-Strahlung
- Auslegung von Resonatoren für Hochleistungslaser
- Strahlführung, Strahlformung
- Strömungen und Wärmetransport in Gasen und Schmelzen
- Schmelzen und Verdampfen
- Dynamische Modelle zum Abtragen, Schneiden, Schweißen und Bohren
- Auswertung und Visualisierung von Daten aus Messung und Simulation
- Computational Steering von Simulationen
- Numerische Methoden und Berechnungsverfahren, Finite Elemente und Finite Volumen in Gebieten mit freien Rändern, adaptive Vernetzung
- Diagnose von Laserstrahlung und Laser-Fertigungsverfahren

Systemtechnik

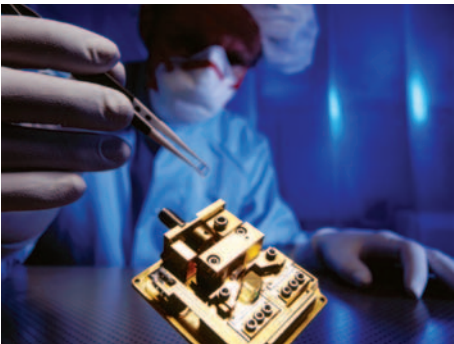
Dr. Stefan Kaierle

- Prozessüberwachung und -regelung zur Qualitätssicherung
- Prozessanalyse und Prozessentwicklungstools
- Entwicklung von online-Sensoren und Regelungssystemen (z. B. Nahtfolge, Geschwindigkeitsmessung, Positionierung, Abstandsmessung und -regelung, Multisensorik und Vernetzung)
- Automatisierte Prüfung von Bearbeitungsergebnissen (z. B. Systeme zur Nahtbewertung)
- Verfahrensprüfung und -erprobung
- Machbarkeitsstudien
- Nullserien-Applikation
- Integration von Lasertechnik in bestehende Fertigungseinrichtungen
- Remote- und Scannerapplikationen
- Integrierte Bearbeitungsköpfe
- CAD/CAM-unterstützte Laserbearbeitung
- Offline-Bahnplanung und -Simulation
- Anlagenkonzeptionierung
- Pilotanlagen
- Steuerungstechnik für Laseranlagen
- Beratung, Consulting, Aus- und Weiterbildung

Dienstleistungen

Das Dienstleistungsangebot 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
- Fertigungs- und Montagetechnik
- Pulsnetzteile und Steuerungstechnik
- Strahlführung und -formung
- Entwicklung, Aufbau und Test von Pilotanlagen
- Verfahrensentwicklung
- Modellierung und Simulation
- Prozessüberwachung und -regelung
- Muster- und Testserien
- Integration von Lasertechnik in bestehende Produktionsanlagen
- Röntgen-, EUV- und Plasmasysteme



Kooperationen mit FuE-Partnern

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 am Fraunhofer ILT (spezielle Kooperationsverträge)

Durch Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und spezialisierten Unternehmen bietet das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik 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.

Ausstattung

Die Nutzflächen des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT betragen über 10.000 m².

Technische Infrastruktur

Zur technischen Infrastruktur des Instituts gehören eine mechanische und eine elektronische Werkstatt, ein Metallographielabor, 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 20 kW
- Lampen- und diodengepumpte Festkörperlaser bis 8 kW
- Scheibenlaser bis 10 kW
- Faserlaser bis 4 kW
- Diodenlasersysteme bis 3 kW
- SLAB-Laser
- Excimerlaser
- Ultrakurzpulslaser
- Breitbandig abstimmbare Laser
- 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

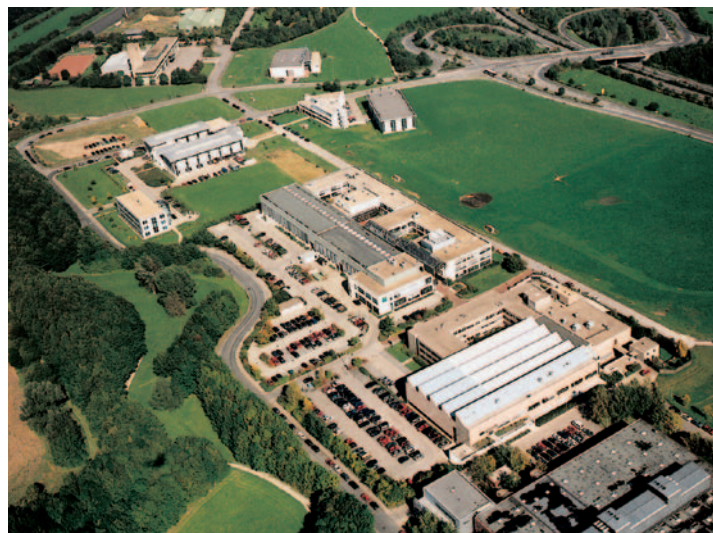
- Reinräume zur Montage von Diodenlasern, diodengepumpten Festkörperlaser und Faserlasern
- Life Science Labor mit S1 Klassifizierung
- Geräte zur Verfahrens- und Prozessdiagnostik sowie zur Hochgeschwindigkeits-Prozessanalyse
- Laser-Spektroskopie-Systeme zur chemischen Analyse fester, flüssiger und 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

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.

© AVIA-Luftbild, Aachen
Dipl.-Ing. Martin Jochum



Mitarbeiter

Mitarbeiter am Fraunhofer ILT 2008	Anzahl
Stammpersonal	152
- Wissenschaftler und Ingenieure	93
- Mitarbeiter der technischen Infrastruktur	37
- Verwaltungsangestellte	22
Weitere Mitarbeiter	124
- wissenschaftliche Hilfskräfte	114
- externe Mitarbeiter	7
- Auszubildende	3
Mitarbeiter am Fraunhofer ILT, gesamt	276

- 8 Mitarbeiter haben ihre Promotion abgeschlossen
- 38 Studenten haben ihre Diplomarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt

Mitarbeiter 2008

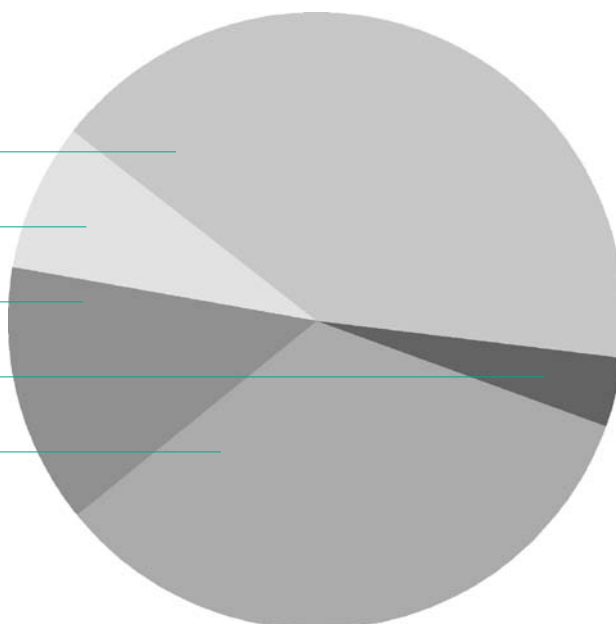
41 % wissenschaftliche Hilfskräfte

8 % Verwaltungsangestellte

13 % technische Infrastruktur

4 % Auszubildende / externe Mitarbeiter

34 % Wissenschaftler und Ingenieure



Aufwendungen und Erträge

Aufwendungen 2008 Mio EUR

- Personalaufwendungen	9,0
- Sachaufwendungen	10,4
Aufwendungen Betriebshaushalt	19,4

Investitionen	2,5
----------------------	------------

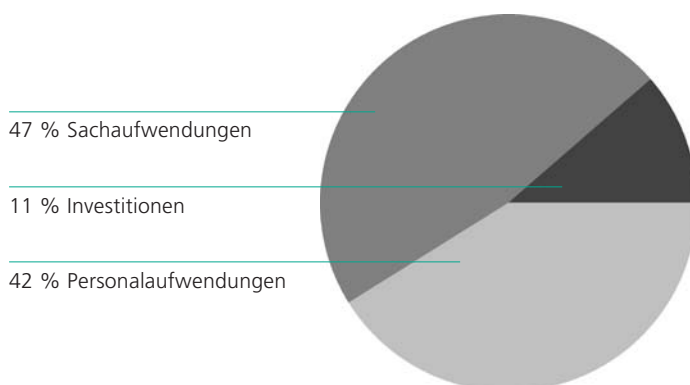
Erträge 2008 Mio EUR

- Erträge aus der Industrie	9,6
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	6,4
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	3,4
Erträge Betriebshaushalt	19,4
- davon entfallen auf Auslandsprojekte	2,8

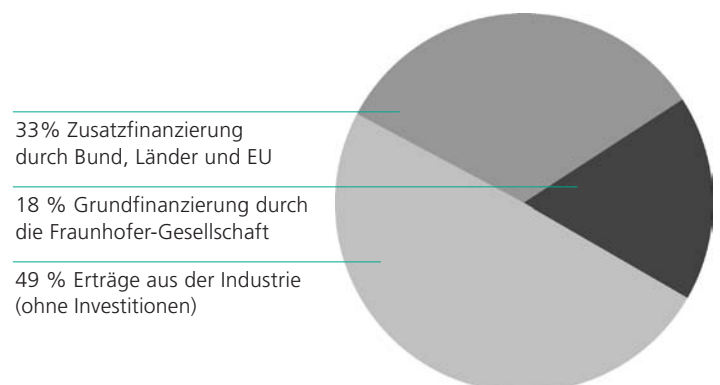
Investitionserträge aus der Industrie	0,4
--	------------

Fraunhofer Industrie p_{Ind}	51,5 %
---	---------------

Gesamtaufwendungen 2008 (100 %)



Betriebshaushalt 2008 (100 %)



Betriebshaushalt

Die Graphik verdeutlicht die Entwicklung des Betriebshaushaltes in den letzten 9 Jahren.

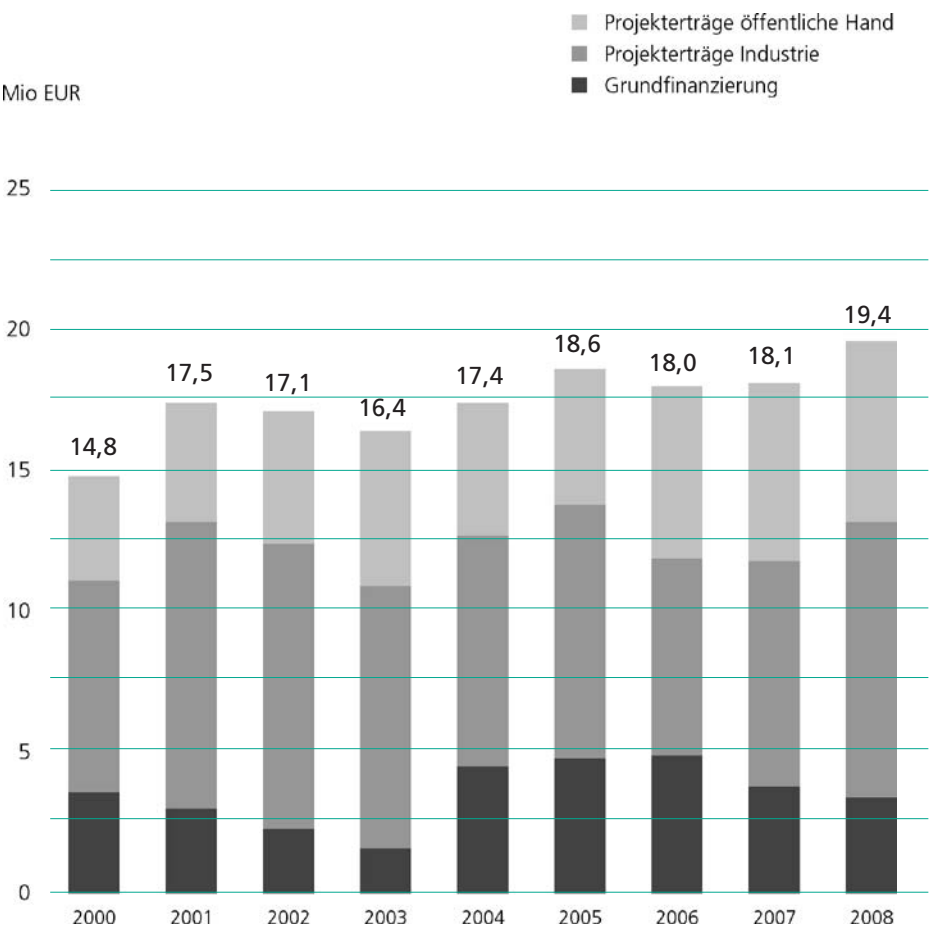


ABB ALSTOM
POWER

AIXUV
EUV-Technology

Bartels mikrotechnik

BRAUN



BOSCH

DILLINGER HÜTTE

DILAS
The diode laser company.

EVONIK
INDUSTRIES

EOS
e-Manufacturing Solutions



HEIDELBERG INSTRUMENTS

Heraeus

Huf Tools

INSTITUTET
FOR METALLFORSKNING
SWEDISH INSTITUTE FOR METALS RESEARCH

INOVAN

KARLOMA
ARMATUREN

JENOPTIK
JENA
LASERDIODE

LAMBDA PHYSIK

LASAG
INDUSTRIAL-LASERS
A COMPANY OF THE SWATCH GROUP



LEYER & KIWUS
ULTRASCHALL + LASERTECHNIK



MARQUARDT

MicroLaserTec GmbH

MESSER
Igm Steigerwald

Mubea
ENGINEERING FOR MOBILITY

MULTEK

NAU



PHILIPS



PROMETEC

Radium
Die Lichtmarke

Raufoss

REIS
REIS ROBOTICS

rofin
BAASEL LASERTECH

rofin
ROFIN-SINAR LASER

Rolls-Royce



Siemens Automotive

Sempell

STORK
Gears & Services

Techspace Aero
SAFRAN Group

TESAT
SPACECOM



Valeo
ELEKTRONIK

VYCON
Kompetenz für Medical Produkte

WILDEN

Zinser

ZUMTOBEL STAFF
DAS LICHT

ZWIESEL KRISTALLGLAS AG

Stand März 2009
Mit freundlicher Genehmigung
der Kooperationspartner.

Die aufgelisteten Firmen sind ein
repräsentativer Ausschnitt aus der
umfangreichen Kundenliste des
Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik.

Kurzportrait

Das Fraunhofer Center for Laser Technology CLT hat seinen Sitz in Plymouth, Michigan. Diese Region hat sich zu einem Zentrum für Laserhersteller, Systemintegratoren und industrielle Anwender in den USA etabliert. Das Gebäude des CLT umfasst Räumlichkeiten mit einer Grundfläche von 1250 m². Mit einem Gesamtwert von mehr als 9 Millionen US\$ weist das CLT die modernste und vielseitigste Ausstattung von Lasersystemen in Nordamerika auf.

Die verfolgten Ziele des CLT sind:

- Einbindung in wissenschaftliche und industrielle Entwicklungen in den USA
- Know-how Zuwachs am Mutterinstitut durch Austausch von Studenten und schnelleres Erkennen von Trends, in denen die USA führend sind
- Know-how Zuwachs am CLT durch enge Kooperation mit der University of Michigan und der Wayne State University sowie anderen führenden US Universitäten
- Bedienung internationaler Unternehmen vor Ort auf beiden Kontinenten
- Stärkung der Position am FuE-Markt

Die zentrale Philosophie von Fraunhofer USA ist der Aufbau eines deutsch-amerikanischen Joint-Ventures, bei dem Nehmen und Geben im Einklang stehen. Der Nutzen für beide Seiten ist eine essentielle Voraussetzung für die Zusammenarbeit. Die Fraunhofer-Gesellschaft wird stets auch Interessen der amerikanischen Seite berücksichtigen und versuchen, Beziehungen zu entwickeln, die sich wechselseitig verstärken.

Das Interesse der amerikanischen Partner-Universitäten konzentriert sich auf die:

- Nutzung von Kompetenzen der Fraunhofer-Institute
- Nutzung der Erfahrung bei der Einführung neuer Technologien in den Markt
- Verbindung zwischen Industrie und Hochschule
- Praxisnahe Ausbildung von Studenten, Diplomanden und Doktoranden

In Zusammenarbeit mit der University of Michigan werden am CLT Faserlaser hoher Brillanz und Leistung entwickelt. Die Grundlagen werden an der Universität gelegt, während Fraunhofer die Entwicklung brillanter Pumpquellen, die Systemintegration, den Prototypenbau und die Applikationsuntersuchungen übernimmt. Das CLT hat in diesem Rahmen neue Technologien und Fertigungsmethoden umgesetzt, welche die Leistungsfähigkeit von Diodenlasern mit der von Festkörperlaser vergleichbar machen. Gemeinsam werden entsprechende Forschungsprojekte bearbeitet.

In Zusammenarbeit mit der Wayne State University werden kostengünstige Fertigungsverfahren für die alternative Energieerzeugung und -speicherung entwickelt. Der Schwerpunkt liegt auf Solarzellen und auf Li-Ionen Batterien, welche bedingt durch den Trend für Hybridfahrzeuge einen enormen Entwicklungsschub erfahren. Laser-induzierte Trenn- und Fügeverfahren, auch ungleicher Werkstoffe wie Metall und Kunststoff, bilden die technologische Grundlage.



Aus dem Fraunhofer CLT wurde 2001 Visotek ausgegründet, um die Ergebnisse des CLT im Bereich fasergekoppelter Hochleistungslaser und Spezialoptiken zu vermarkten. Die Gründung von Arbor Photonics zur Vermarktung der Entwicklungen im Bereich flexibler Faserlaser mit beugungsbegrenzter Strahlqualität und hohen Pulsleistungen wurde 2007 zusammen mit der University of Michigan initiiert.

Dienstleistungen

Das CLT bietet Dienstleistungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung, die Entwicklung von optischen Komponenten und speziellen Lasersystemen an. Diese umfassen das gesamte Spektrum von Machbarkeitsstudien über Prozessentwicklung bis hin zur Vorserienproduktion sowie Prototypenfertigung von Laserstrahlquellen und schlüsselfertigen Laseranlagen. Als unabhängige Einrichtung bietet es vor allem kleinen und mittelständischen Unternehmen die Möglichkeit, ihren Prozess mit Fraunhofer Maschinen und Personal zu entwickeln und zu testen. Auch komplette Anlagen können am CLT entwickelt und erprobt werden. Die Kunden kommen aus der Automobilindustrie, der Bauindustrie, dem Schiffbau und der Medizintechnik.

Mitarbeiter

Am CLT sind deutsche sowie amerikanische Mitarbeiter tätig. Ziel ist es, die deutschen Mitarbeiter turnusmäßig auszutauschen, damit die gesammelten Erfahrungen in die Mutterinstitute einfließen können und weiteren Mitarbeitern in Deutschland die Möglichkeit geboten wird, sich durch einen USA-Aufenthalt weiter zu qualifizieren. Darüber hinaus fertigen Studenten aus Aachen in den USA ihre Diplomarbeit an.

Ausstattung

Die derzeitige Ausstattung des CLT umfasst CO₂-Laser im Leistungsbereich bis zu 8 kW, Nd:YAG-Laser von 250 W bis 4,4 kW, Diodenlaser von 30 W bis 3 kW, frequenzverdreifachte Nd:YAG und Excimer Laser, eine Vielzahl von Spezial- und Hybridoptiken, 3-, 5- und 6-Achsen Anlagen sowie mehrere Roboter.

Kundenreferenzen

- US Air Force Research Laboratories
- Office of Naval Research
- Michigan Lifescience Corridor
- Alcan
- Borg Warner Automotive
- Dana Corporation
- DaimlerChrysler
- Ford Motor Company
- General Motors
- Hemlock Semiconductors
- Nuvonyx
- LASAG
- PRC
- Roфин Sinar
- Spectra Physics
- Siemens VDO
- Trumpf
- Visteon

Aufwendungen Betriebshaushalt 2008*

	Mio. US\$
Betriebshaushalt	2,9
- Personalaufwendungen	1,2
- Sachaufwendungen	1,7

*Nachkalkulation ist noch nicht erfolgt

Ihr Ansprechpartner



Dr. Stefan Heinemann
Direktor

46025 Port Street
Plymouth
Michigan 48170
USA

Telefon +1 734 354-6300
Durchwahl: -210
Fax +1 734 354-3335

sheinemann@clt.fraunhofer.com
www.clt.fraunhofer.com



Coopération Laser
Franco-Allemande
Deutsch-Französisches
Laserzentrum



Kurzportrait

In der Coopération Laser Franco-Allemande (CLFA) in Paris kooperiert das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT seit 1997 erfolgreich mit führenden französischen Forschungseinrichtungen. Die wichtigsten Kooperationspartner sind dabei MINES ParisTech, ARMINES und das Institut CAROT Mines in Paris, die École Nationale Supérieure de Méchanique et des Microtechniques ENSMM in Besançon, die Ingenieurhochschule Louis de Broglie in Rennes sowie namhafte Laseranwendungszentren in Frankreich. 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 & Procédés, und beteiligt sich aktiv an der Organisation regionaler und nationaler Konferenzen und Ausstellungen.

Die verfolgten 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 F&E-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 und ist eine Konsequenz der insbesondere im Bereich der Lasertechnik zunehmenden Vernetzung der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung in Europa.

Die Kooperation des Fraunhofer ILT mit den französischen Partnern ist auch ein Beitrag zum Ausbau der europaweiten Präsenz der Fraunhofer Gesellschaft, bei dem die Vorteile für die französische und die deutsche Seite gleichermaßen Berücksichtigung finden. International wird dadurch die führende Position der europäischen Industrie in den lasergestützten Fertigungsverfahren weiter gefestigt.

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 Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten

Die CLFA unterhält enge Kooperationen insbesondere auch mit mittelständischen Unternehmen. Mit Unterstützung der französischen Partner erfolgte 2007 die Ausgründung der Firma PolyShape durch Mitarbeiter der CLFA. Das Unternehmen bietet Dienstleistungen im Bereich generativer Fertigungsverfahren für französische Kunden an. Es kooperiert mit der CLFA und dem Fraunhofer ILT im Rahmen regionaler und europäischer Projekte.

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. Hierbei haben vor allem auch kleine und mittelständische Unternehmen die Möglichkeit, die Vorteile der Lasertechnik in einer unabhängigen Einrichtung kennenzulernen und zu erproben. Die offenen Entwicklungsplattformen erlauben den französischen Auftraggebern den Test und die Qualifizierung neuer lasergestützter Fertigungsverfahren.

Mitarbeiter

In der CLFA sind Mitarbeiter aus Frankreich und Deutschland gemeinsam tätig. Im Rahmen von Verbundprojekten wird der wechselseitige Personalaustausch zwischen den Standorten Aachen und Paris gefördert. Hierdurch wird den Mitarbeitern die Möglichkeit geboten, ihre Kompetenz insbesondere im Hinblick auf Mobilität und internationales Projektmanagement zu vertiefen.

Ausstattung

Neben der am Fraunhofer ILT zur Verfügung stehenden Einrichtung verfügt die CLFA über eine eigene Infrastruktur im Centre des Matériaux Pierre-Marie Fourt der École des Mines de Paris in Evry im Süden von Paris. Hierbei besteht auch Zugriff auf die Kompetenz und Infrastruktur im Bereich der Materialwissenschaften des Instituts. Kunden- und projektorientiert kann auch die Infrastruktur der anderen französischen Partner mit genutzt werden.

Standorte

Paris - im Zentrum von Paris in der École Nationale Supérieure des Mines de Paris ENSMP.

Evry - ca. 40 km südlich von Paris in den Räumen des Centre des Matériaux Pierre-Marie Fourt.

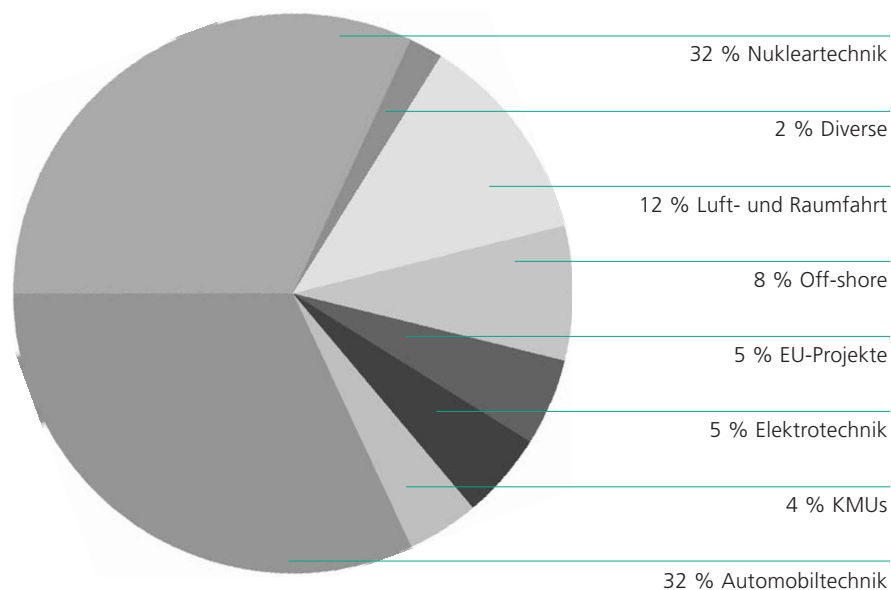
Ihr Ansprechpartner



Dr. Wolfgang Knapp
Direktor

CLFA c/o Armines
60 Boulevard Saint Michel
75272 PARIS Cedex 6
Frankreich

Telefon +33 1 4051-9476
Fax +33 1 4634-2305
wolfgang.knapp@ilt.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de/ger/100097.htm
www.clfa.fr





Fraunhofer Verbund Oberflächentechnik und Photonik

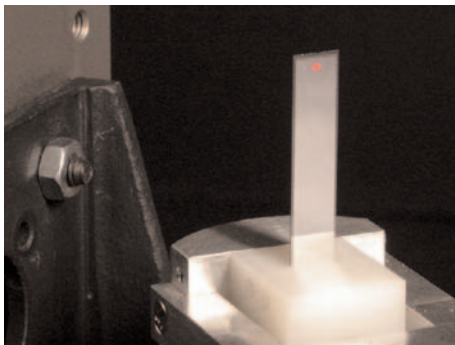
Kompetenz und Vernetzung

Sechs Fraunhofer-Institute kooperieren im Verbund Oberflächentechnik und Photonik. Aufeinander abgestimmte Kompetenzen gewährleisten eine permanente, schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an den raschen technologischen Fortschritt in allen industriellen Anwendungsbereichen. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Marktes ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten. Es wird ein breiteres Leistungsangebot zum Nutzen des Kunden erzielt.



Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Ziel des Fraunhofer FEP ist die Erforschung und Entwicklung innovativer Verfahren zur Nutzung von Elektronenstrahlen hoher Leistung und dichter Plasmen in Produktionsprozessen für die Oberflächentechnik. Dabei stehen praktische Fragestellungen wie Prozessmonitoring, Qualitätskontrolle, Reproduzierbarkeit, Aufskalierung und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund.



Oben: Fraunhofer FEP
Mitte: Fraunhofer IPM
Unten: Fraunhofer ILT

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Das Fraunhofer IPM entwickelt optische Systeme für die Spektroskopie und Laserbelichtungstechnik. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Verwirklichung hochdynamischer Systeme. Neben der schnellen Laseransteuerung sind dafür besondere Kompetenzen bei der Signalverarbeitung gefragt. So wurden für die Infrastrukturüberwachung von Hochgeschwindigkeitsstrecken robuste, wartungsarme Messgeräte realisiert.

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Im Bereich der Lasertechnik ist das Zusammenspiel zwischen Laserentwicklung und Laseranwendung von herausragender Bedeutung. Neue Laser erlauben neue Anwendungen und neue Anwendungen geben Anregungen für neue Lasersysteme. Deshalb erweitert das Fraunhofer ILT durch die enge Kooperation mit führenden Laserherstellern und innovativen Laseranwendern ständig seine Kernkompetenzen.

Kernkompetenzen	FEP Dresden	ILT Aachen	IPM Jena	IPA Freiburg	ISI Braunschweig	IMS Dresden
Schicht- und Oberflächen- technologie	●	●	●	●	●	●
Strahlquellen	●	●	●	●		
Mikro- und Nanotechnologie	●	●	●	●	●	●
Material- bearbeitung	●	●			●	●
Optische Messtechnik		●	●	●	●	●

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtanwendung und Schichtcharakterisierung. Zurzeit ist das Institut in folgenden Geschäftsfeldern tätig: Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, Werkzeuge, Energie, Glas und Fassade, Optik, Information und Kommunikation, Mensch und Umwelt.

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Hauptgegenstand der Forschungstätigkeit des Fraunhofer IOF ist die optische Systemtechnik mit dem Ziel der immer besseren Kontrolle von Licht. Schwerpunkte sind multifunktionale optische Schichtsysteme, mikro-optische Systeme, optische Messsysteme und Systeme zur Optik-Charakterisierung, feinmechanische Präzisionssysteme sowie die Mikromontage.

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

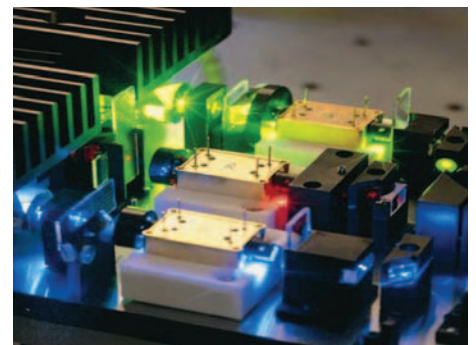
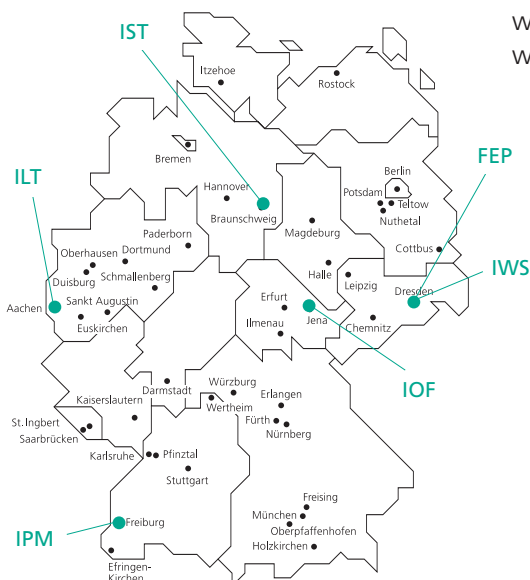
Das Fraunhofer IWS forscht auf den Gebieten der Lasertechnik (z. B. Laserschweißen, Laserschneiden, Laserhärten), der Oberflächentechnik (z. B. Auftragschweißen), der Mikrobearbeitung sowie der Dünnschicht- und Nanotechnologie. Die in die Forschung und Entwicklung integrierte Werkstoffprüfung und -charakterisierung fundiert und erweitert das Spektrum des Fraunhofer IWS.

Kontakt und Koordination

Sprecher des Verbunds
Prof. Dr. Eckhard Beyer

Koordination
Udo Klotzbach
Telefon +49 351 2583-252
udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de
www.vop.fraunhofer.de

Die Institute
www.fep.fraunhofer.de
www.ipm.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de
www.ist.fraunhofer.de
www.iof.fraunhofer.de
www.iws.fraunhofer.de



Oben: Fraunhofer IST
Mitte: Fraunhofer IOF
Unten: Fraunhofer IWS

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 mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute. 15 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,4 Milliarden Euro. Davon fallen 1,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt 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. Studentinnen und Studenten eröffnen sich an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

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

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 Vorteile der Vertragsforschung

Durch die Zusammenarbeit aller Institute stehen den Auftraggebern der Fraunhofer-Gesellschaft zahlreiche Experten mit einem breiten Kompetenzspektrum zur Verfügung. Gemeinsame Qualitätsstandards und das professionelle Projektmanagement der Fraunhofer-Institute sorgen für verlässliche Ergebnisse der Forschungsaufträge. Modernste Laborausstattungen machen die Fraunhofer-Gesellschaft für Unternehmen aller Größen und Branchen attraktiv. Neben der Zuverlässigkeit einer starken Gemeinschaft sprechen auch wirtschaftliche Vorteile für die Zusammenarbeit, denn die kostenintensive Vorlaufforschung bringt die Fraunhofer-Gesellschaft bereits als Startkapital in die Partnerschaft ein.

Die Standorte der Forschungseinrichtungen



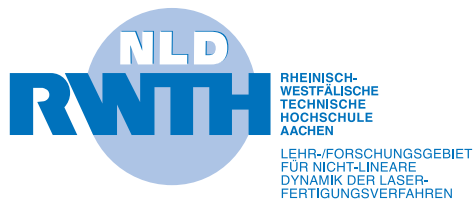


Gemeinsam Zukunft gestalten

Die RWTH Aachen bietet mit den Lehrstühlen für Lasertechnik LLT und für Technologie Optischer Systeme TOS sowie dem Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD 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 drei 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 drei 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 integrierte Optik, integrative Produktion, Abtragen - Modifizieren - Diagnose (AMD), Bohren und generative Verfahren tätig. Untersuchungen zur Integration von Hochleistungsdiodenlasern mit Wellenleiterlasern und strahlformenden optischen Komponenten sowie die Entwicklung neuartiger integrierter Leistungslaser stehen im Fokus der Aktivitäten in der integrierten Optik. Die Integration von optischen Technologien in die Produktion sowie die Produktion von optischen Systemen sind wesentlicher Bestandteil des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«.

Mit Ultrakurzpuls-Laserstrahlung werden sowohl Grundlagenexperimente durchgeführt als auch praxisrelevante Nano- und Mikro-Bauteile 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. Dr. Reinhart Poprawe M. A.
Leiter des Lehrstuhls
Telefon +49 241 8906-109
Fax +49 241 8906-121
reinhart.poprawe@llt.rwth-aachen.de

Akad. Rat Dr. Ingomar Kelbassa (stellv.)
Telefon +49 241 8906-143
ingomar.kelbassa@llt.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 Wellenleiterstrukturen zur Frequenzkonversion. Im Bereich Hochleistungsdiodenlaser werden mikro- und makrooptische Komponenten entwickelt und zu Systemen kombiniert. Weiterhin werden Montagetechniken optimiert.

Kontakt

Prof. Dr. Peter Loosen
Leiter des Lehrstuhls
Telefon +49 241 8906-162
Fax +49 241 8906-121
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.

Technische Systeme werden durch Anwendung und Erweiterung mathematisch-physikalischer und experimenteller Methoden untersucht. Mit der Analyse mathematischer Modelle wird 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. Dr. Wolfgang Schulz
Leiter des Lehr- und Forschungsgebiets
Telefon +49 241 8906-204
Fax +49 241 8906-121
wolfgang.schulz@nld.rwth-aachen.de





Exzellenzcluster

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 2011 angelegten Projekt beteiligt.

Der mit ca. 40 Mio. Euro 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 Planungs-wirtschaftlichkeit.

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 Produktanforderungen bei gleichzeitiger Sicherung von Mindeststückzahlen in der Produktion.

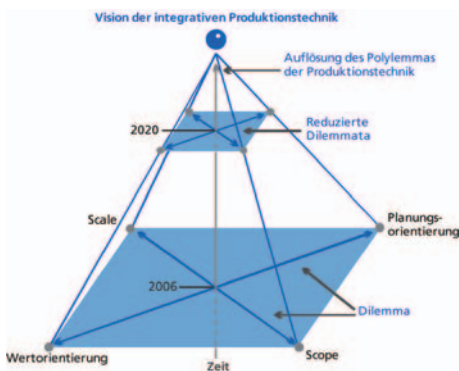
In der zweiten Dimension, der Planungs-wirtschaftlichkeit, bemühen sich die Hersteller in Hochlohnländern um eine immer weitergehende Optimierung der Prozesse mit entsprechend anspruchsvollen, kapitalintensiven Planungsmethoden und -instrumenten sowie technologisch überlegenen Produktionssystemen, während 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.

Integrative Produktion

Der Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« verfolgt das langfristige Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Produktionstechnik zu steigern. Die übergeordnete Lösungshypothese liegt in der nächst höheren Stufe der Integrativität der Produktionstechnik.



Produktionstechnisches Dilemma:
Scale-Scope und Planungsorientierung-
Wertorientierung, Quelle: WZL Aachen.

Individualisierte Produktion

Die individualisierte Produktion erfordert einen hohen Grad an Produktvariabilität und -dynamik zu Kosten einer Massenproduktion. Hierzu werden Konzepte entwickelt, um die optimale Kombination und Konfiguration der Elemente eines Produktionssystems zu identifizieren. Daneben werden geeignete Fertigungstechnologien wie das Selective Laser Melting (SLM) weiterentwickelt, mit denen sich ein One-Piece-Flow zu Kosten einer Massenproduktion umsetzen lässt.

Virtuelle Produktion

Die Flexibilisierung der Produktion führt zu einer Steigerung der vorbereitenden, planenden Tätigkeiten. Im Bereich »Virtuelle Produktionssysteme« soll daher die Qualität der Planung erhöht werden bei gleichzeitiger Reduzierung des Planungsaufwands. Hierzu werden Einzelmodelle wie z. B. Prozess- und Materialmodelle zum Schweißen mit Laserstrahlung verknüpft und in virtuelle Prozessketten integriert.

Hybride Produktion

Durch die Integration von mehreren Einzelprozessen in einen einzigen hybriden Prozess können Prozessketten verkürzt und damit effizienter gestaltet werden. Im Bereich »Hybride Produktion« werden Methoden zur systematischen Hybridisierung von Prozessketten untersucht und hybride Technologien wie die laserunterstützte inkrementelle Blechumformung entwickelt.

Selbstoptimierende Produktion

Selbstoptimierung ermöglicht eine Optimierung von Produktionsprozessen, ohne gleichzeitig den vorgelagerten Planungsaufwand zu erhöhen. Im Bereich »Selbstoptimierende Produktion« werden Methoden und Technologien zur Steigerung der kognitiven Fähigkeiten von Produktionssystemen wie z. B. einer Laserstrahlschneidanlage oder eines Montagesystems für optische Komponenten entwickelt.

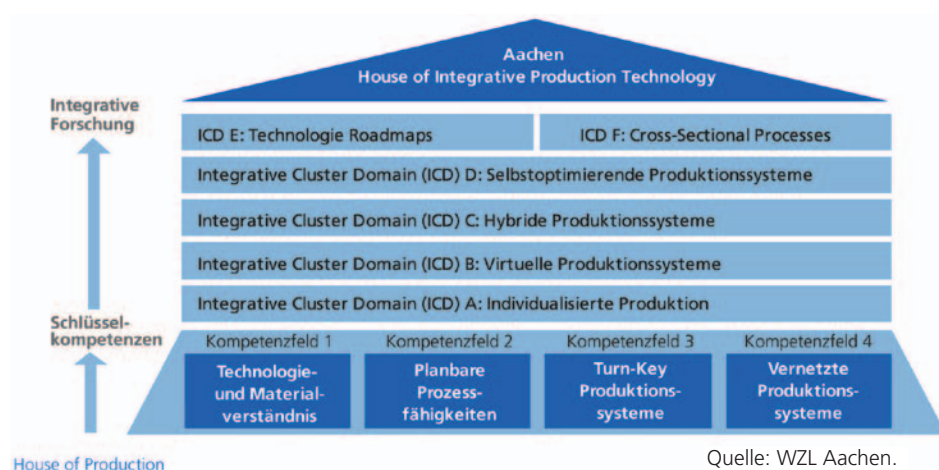
Ansprechpartner

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

Geschäftsstelle Exzellenzcluster
Dr. Lutz Schapp
Telefon +49 241 80-27590
l.schapp@wzl.rwth-aachen.de



Auftaktveranstaltung des Exzellenzclusters im Oktober 2006,
Quelle: WZL Aachen.



Quelle: WZL Aachen.

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.



RWTH Aachen Campus I - Westbahnhof,
Skizze: RKW Rhode Kellermann Wawrowsky,
Düsseldorf.

Entwicklung und Zeitplan

Der RWTH Aachen Campus entsteht in drei Etappen. Die erste Etappe beginnt 2009 mit der Erschließung und Bebauung von Campus Melaten mit 6 Clustern. Es folgt der Bebauungsplan und die Erschließung von Campus Westbahnhof für weitere 9 Cluster. In der zweiten Etappe von 2010 bis 2012 findet die Erschließung und



Bebauung von Campus Westbahnhof mit 4 Clustern statt. Die dritte Etappe von 2013 bis 2014 konzentriert sich auf das Wachsen und Verdichten auf 15 Cluster in Melaten und Westbahnhof sowie die Erweiterung der Infrastruktur beispielsweise durch den Bau von Kongresshalle, Bibliothek und Hotels.

Cluster

In bis zu 15 Clustern werden die relevanten Zukunftsthemen der Industrie gemeinsam bearbeitet - in der Produktionstechnik, Energietechnik, Automobiltechnik, Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Werkstofftechnik.

Der Bereich Werkstofftechnik ist unterteilt in die Cluster Aluminium Engineering, Advanced Metals, Chipless Forming, Surface Engineering, Plastics Technology und Fibre-based Materials. Im Bereich Energietechnik/Automobiltechnik befinden sich die Cluster Sustainable Energy, Heavy Duty & Off Highway Powertrain, Future Fuels, Tailor-made Chemical Products und Future Internal Combustion Engines. Zum Bereich Automobiltechnik/Informations- und Kommunikationstechnologie gehören die Cluster Car Communication und High-Speed Mobile Communication and Information. Der Bereich Automobiltechnik/Produktionstechnik ist aufgeteilt in die Cluster On Highway Powertrain, Integrative Production Technology, Production Logistics, Bio-Medical Engineering und Photonics. Für den Cluster Photonics sind Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe und Prof. Dr. rer. nat. Peter Loosen vom Fraunhofer ILT bzw. Lehrstuhl für Lasertechnik LLT und Lehrstuhl für Technologie optischer Systeme TOS zuständig.

Forschungskatalysator und Innovationsgenerator

Durch das in Deutschland einzigartige Angebot der »Immatrikulation« von Mitarbeitern angesiedelter Unternehmen bietet der RWTH Aachen Campus eine völlig neue Form des Austausches 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, intensivere Form der Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Unternehmen entstehen, denn schon heute hat keine andere Universität in Europa mehr anwendungsorientierte Großinstitute als die RWTH Aachen.

Hinter allem steht das ganzheitliche Konzept: Forschen, Lernen, Entwickeln, Leben; denn der RWTH Aachen Campus schafft nicht nur die ideale, repräsentative 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 Transferleistungen ein hohes Maß an Lebensqualität bieten.

Quelle:
Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen,
Projektplanung RWTH Aachen Campus.



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





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 über 20 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 schlag-

kräftiges 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 zukünftig durch die Zusammenarbeit mit den jeweiligen Interessensvertretungen (z. B. EPIC, AILU, WLT) gefördert. Eine enge Kooperation mit dem Laser Institute of America (LIA) besteht bereits 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. Stefan Kaieler (Vorsitzender), Fraunhofer ILT, Deutschland
- Abdelkrim Chehaibou, Institut de Soudure, Frankreich
- Dr. François De Schutter, Lasercentrum Vlaanderen, Belgien
- Dr. Paul Hilton, TWI, Großbritannien
- Dr. Wolfgang Knapp, CLFA, Frankreich
- Prof. Dr. Veli Kujanpää, Lappeenranta University of Technology, Finnland
- Prof. Dr. José Luis Ocaña, Centro Láser U.P.M., Spanien

Kontakt

Dr. Stefan Kaieler
Telefon +49 241 8906-212
Fax +49 241 8906-212
kaieler@europeanlaserinstitute.org



Kurzportrait

PhotonAix, das Kompetenznetz für Optische Technologien und Systeme, wurde im Jahr 2002 auf Initiative des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT, des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT und des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen gegründet. Das Aachener Kompetenznetzwerk PhotonAix und weitere acht regionale Kompetenznetze im Bereich der Optischen Technologien verknüpfen in ihren Regionen die Kompetenzen der über 400 Mitglieder aus Forschung und Industrie mit dem gemeinsamen Ziel, die Optischen Technologien zu fördern.

Von der Lasermaterialbearbeitung über die Biophotonik bis hin zu Anwendungen in Verkehr und Raumfahrt repräsentieren die Netze die vollständige Bandbreite der Optischen Technologien »made in Germany«. Die Hauptaktivitäten und Dienstleistungsangebote der Kompetenznetze umfassen Technologiemanagement, Beratung von Start-Up-Unternehmen, regionales Technologie- und Branchenmarketing, Aus- und Weiterbildungsinitiativen sowie die intensive Förderung der Kommunikation innerhalb der Netzwerke. Durch die enge Verzahnung des Know-hows in den Regionen gelingen praxis- und zeitnahe Problemlösungen und ein schnellerer Transfer von Forschungsergebnissen in marktreife Produkte.

Highlights 2008

Neben den Gemeinschaftsständen der Kompetenznetze Optische Technologien auf der Photonics West 2008 in San Jose, USA und der Optatec 2008 in Frankfurt standen im vergangenen Jahr die europäischen Technologieplattform Photonics21 und die Mitarbeit an der NRW Clusterstrategie im Mittelpunkt.

Ziel der Technologieplattform Photonics21 ist es, die führende Rolle Europas im Bereich der Optischen Technologien weiter auszubauen und gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu koordinieren.

Die Clusterpolitik der Landesregierung Nordrhein-Westfalen fördert die Kooperation von Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Öffentlicher Hand entlang von Wertschöpfungsketten in insgesamt 16 Branchen- und Technologiefeldern.

Gemeinsam mit sieben weiteren Netzwerken wurde PhotonAix im Dezember 2008 von der Landesregierung beauftragt, das Clustermanagement für das Technologiefeld »NanoMikro+Werkstoffe« aufzubauen.

Kontakt

PhotonAix e.V.
Dipl.-Phys. Christian Hinke
Geschäftsführer
Steinbachstraße 15
52074 Aachen

Telefon +49 241 8906-352
Fax +49 241 8906-121
hinke@photonaix.de
www.photonaix.de





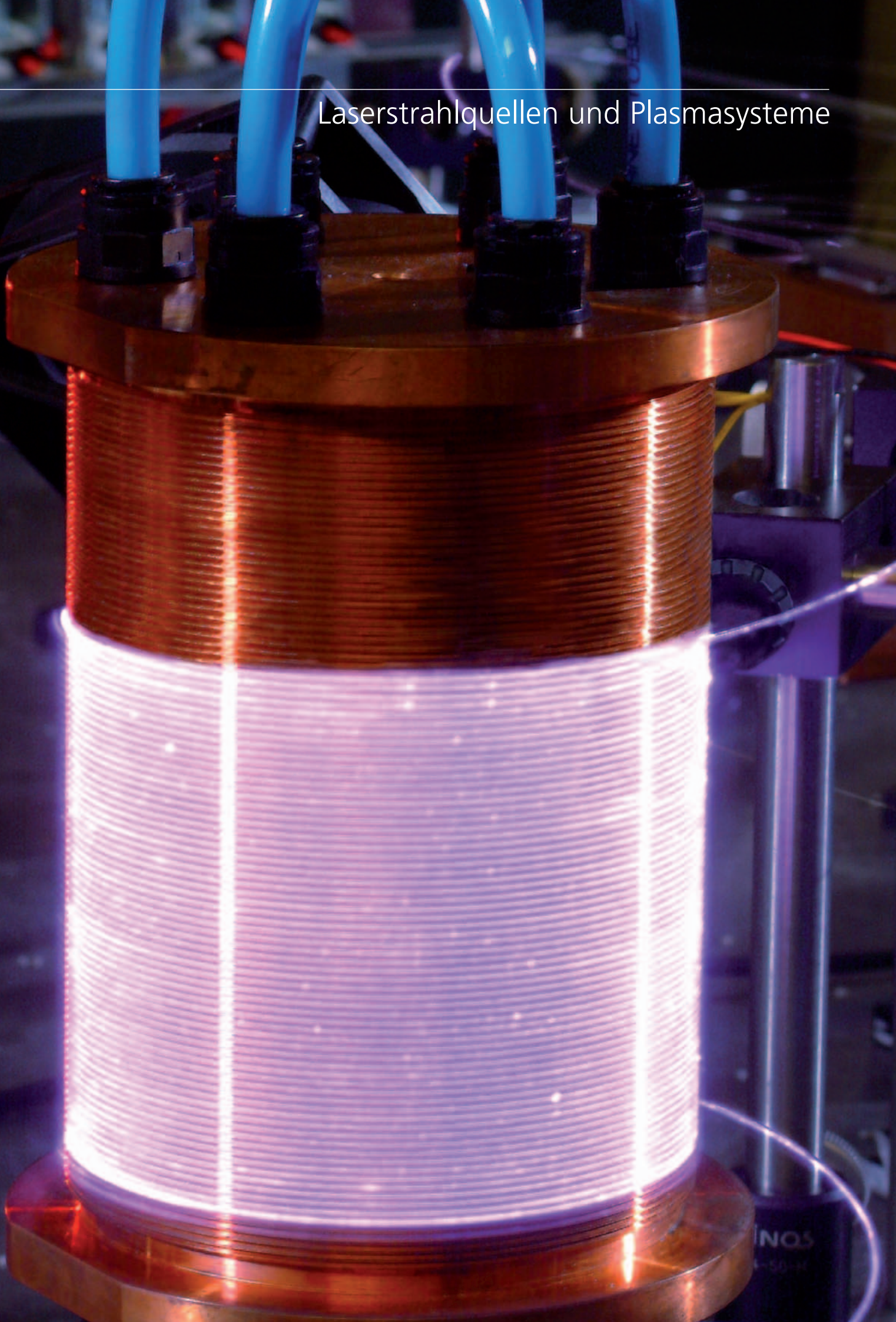
Ausgewählte Forschungsergebnisse aus den Geschäftsfeldern des Fraunhofer ILT

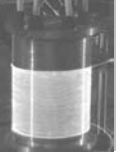
Laserstrahlquellen und Plasmasysteme	37 - 62
Laserfertigungsverfahren	63 - 108
Laseranlagen und Systemtechnik	109 - 124
Lasermess- und Prüftechnik	125 - 141

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.

Laserstrahlquellen und Plasmasysteme





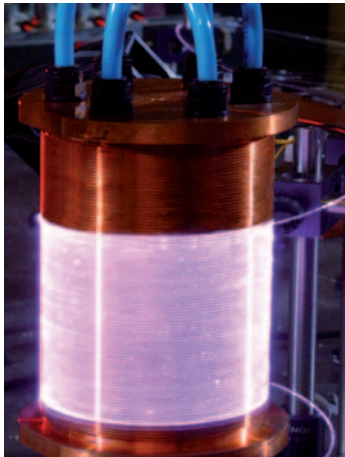
Laserstrahlquellen und Plasmasysteme

Das Geschäftsfeld umfasst die Entwicklung von Diodenlasern, Stab-, Slab- und Faser basierten Festkörperlasern sowie nichtlinearen Optikanordnungen zur Frequenzkonversion, das Optikdesign für Strahlführungs- und Strahlformungssysteme, die Mikromontage von Diodenlasern, Festkörperlasern und optischen Komponenten sowie die Entwicklung von Plasmasystemen.

In Kooperation mit führenden Partnern aus dem Bereich der Halbleitertechnik wie dem Fraunhofer IAF, dem Fraunhofer HHI sowie dem Ferdinand Braun Institut für Höchstfrequenztechnik werden neue Strukturen und Anordnungen entworfen, die die Herstellung von Diodenlasern höherer Strahlqualität erlauben.

Zu den Alleinstellungsmerkmalen des Geschäftsfelds zählt neben der Montage von Hochleistungs-, Dioden- und Festkörperlasern die Realisierung automatisierter Montage- und Testanlagen. Im Bereich Plasmatechnik liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung von EUV-Strahlquellen für die Halbleiterlithographie. Die wesentlichen Zielmärkte des Geschäftsfelds sind die Lasermaterialbearbeitung, die Medizintechnik, die Messtechnik, die Beleuchtungstechnik sowie der Komponentenmarkt für die Informations- und Kommunikationstechnik.

Aus diesem Geschäftsfeld werden seit über 10 Jahren zahlreiche Spin-offs des Fraunhofer ILT gegründet.



1 kW Grundmode Faserlaser.
Die aktive Faser ist zur Kühlung
auf eine wasserdurchflossene
Kupferspule aufgewickelt.



Frequenzverdopplung von cw-Diodenlasern	40	Demonstratormodul für medizinische Anwendungen mit roten einzeladressierbaren Diodenlaserbarren	53
Diodengepumpter Festkörperlaser bei 523 nm	41	Kaskadierender AuSn-Lötprozess für die Montage von Hochleistungsdiodenlasern	54
Entwicklung einer UV-Quelle hoher mittlerer Leistung auf Innoslab-Basis	42	Justagealgorithmen zur Automatisierung der Montage von Diodenlasermodulen	55
Nd:YGG basierter Single Frequency MOPA bei 935 nm	43	Low-cost Burn-in	56
Ultrakurzpuls laser mit 400 W mittlerer Laserleistung	44	Applikationsangepasste Strahlgeometrie für das Laserstrahl-Löten	57
Lasermontage mittels Löttechnik	45	Laseroptik für das Räumen von Landminen	58
Elektronikkonzept für die automatisierte Montage miniaturisierter Laser	46	Berechnung optischer Freiformflächen	59
1 kW Grundmode Faserlaser	47	Röntgenmikroskopie biologischer Proben	60
Gewinngeschalteter diodengepumpter Faserlaser	48	Einfluss des Hall-Effekts auf die Stromverteilung im EUV-Plasma	61
Dreistufiger gepulster Faserverstärker 100 W / 200 kW	49	Mach-Zehnder Interferenzmikroskopie	62
Spleiß- und Präparationstechnik für Hochleistungsfaserlaser	50		
Einzelemitter basiertes Pumpmodul für Faserlaser	51		
Supergepulster fasergekoppelter Diodenlaser	52		

Aufgabenstellung

In der Displaytechnik weisen kompakte und kostengünstige RGB-Laserstrahlquellen der neuesten Generation das Potenzial für eine große Durchdringung dieses Massenmarkts auf. Gegenüber konventionellen mobilen Flachbildschirmen können mittels laserbasierter Displays Auflösung und Bildgröße deutlich erhöht werden und damit die gewachsene Datenbandbreite von mobilem TV-Empfang und Internetzugang sowie Videoübertragung abgebildet werden.

Insbesondere auf Basis von Laserdioden lassen sich sehr kompakte Systeme realisieren, die direkt in entsprechende Handgeräte eingebaut werden können oder als eigenständige »Mikroprojektoren« Anwendung finden. Weitere Vorteile sind die sehr brillanten Farben, der hohe Kontrast und die Effizienz. Außerdem bieten laserbasierte Projektoren den Vorteil, auch bei unebenen Projektionsflächen ein scharfes Bild zu liefern.

Vorgehensweise

Während es Halbleiter-Materialien für Laserdioden im roten und blauen Spektralbereich gibt, kann die für Displayanwendungen dritte benötigte Farbe, Grün, derzeit nicht direkt hergestellt werden. Einen vielversprechenden Ansatz zur Erschließung des Wellenlängenbereichs um 530 nm stellt der Umweg über die Frequenzverdopplung von Laserdioden bei 1060 nm dar.

Als Laserquelle steht hierfür ein DFB-Tapered Laser zur Verfügung. Dadurch wird ein Laserstrahl sowohl hoher Leistung als auch guter Strahlqualität und niedriger spektraler Bandbreite erzeugt. Dieser wird in einen periodisch

gepolten Lithium-Niobat-Kristall fokussiert und frequenzverdoppelt. Periodisch gepolte Kristalle haben den Vorteil eines deutlich höheren nichtlinearen Koeffizienten, so dass auch bei geringen Intensitäten (im Vergleich zu gepulsten Lasern) akzeptable Konversionseffizienzen erreicht werden können.

Ergebnisse und Anwendungen

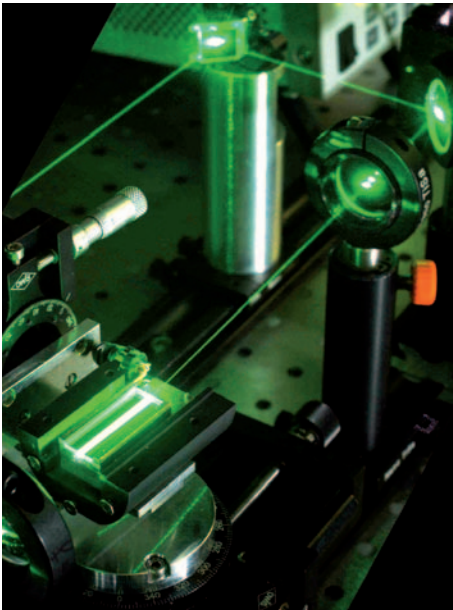
Mit numerischen Rechnungen wurde der Konversionsprozess zunächst simuliert. Unter Berücksichtigung von spektraler Bandbreite, Strahlqualität und thermischen Effekten wurden die optimalen Werte für Kristalllänge und Fokussierung ermittelt. Darauf aufbauend wurde ein Versuchsaufbau erstellt, mit dem eine Leistung von 250 mW bei 531 nm, d. h. eine Konversionseffizienz 3,66 Prozent/W, erreicht wurde. Mit in Kürze einsatzbereiten Laserdioden mit höherer Brillanz und einer verbesserten Temperierung der nichtlinearen Kristalle wird eine weitere Steigerung von Effizienz und Ausgangsleistung erwartet.

Ansprechpartner

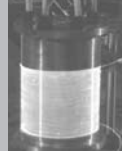
Dipl.-Phys. Jochen Wueppen
Telefon 0241 8906-303
jochen.wueppen@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Bernd Jungbluth
Telefon 0241 8906-414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Experimenteller Aufbau zur Frequenzkonversion in periodisch gepolten Kristallen.



Aufgabenstellung

Der Markt der digitalen Projektoren ist bereits heute ein Konsumentenmarkt mit jährlichen Stückzahlen im Millionenbereich. Bisher sind im Bereich der digitalen Projektoren Höchstdruckentladungslampen im Einsatz, welche die Bauform und Preise wesentlich bestimmen. Die Vorteile laserbasierter RGB-Module liegen im kompakteren Aufbau und der wesentlich höheren Effizienz und Brillanz gegenüber den üblichen Projektorlampen. Durch die kleine Bauform und die höhere Energieeffizienz der Laser-Module lassen sich vollkommen neue Anwendungsfelder wie z. B. hochintegrierte, tragbare Mikro-Projektoren erschließen und damit das Marktvolumen deutlich vergrößern. Die Schlüsselkomponente für ein solches RGB-Lasermodul ist ein integrierter, effizienter grüner Laser. Dieser ist im Gegensatz zu Lasern im blauen und roten Spektralbereich nicht als Laserdiode verfügbar.

Vorgehensweise

Bei der hier vorgestellten Lösung wird die grüne Komponente des RGB-Moduls durch optisches Pumpen eines speziellen Laserkristalls realisiert. Hierbei wird eine kommerziell erhältliche, blauemittierende Laserdiode als Pumpquelle genutzt. Als aktives Lasermaterial dient mit Praseodym dotiertes YLF. Dieses Konzept zur Erzeugung von grünem Laserlicht bei 523 nm nutzt einen Konversionsprozess, welcher hohe Effizienzen und geringe Temperaturabhängigkeiten garantiert. Hierdurch wird der angestrebte hohe Integrationsgrad gewährleistet.

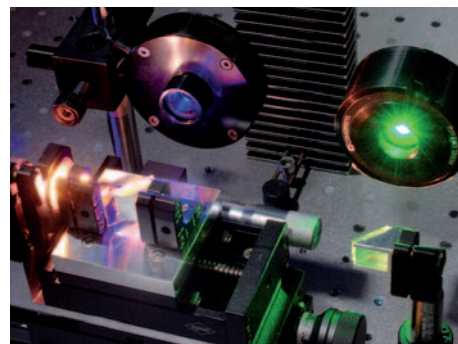
Ergebnisse und Anwendungen

Zunächst wurde mit numerischen Simulationen eine Performanceanalyse zur Ermittlung der Justagetoleranzen der geplanten Anordnung durchgeführt.

Anschließend wurde ein Laboraufbau mit einem extrem kurzen Resonator von 10 mm Länge realisiert, an welchem mit 381 mW Pumpleistung eine cw-Ausgangsleistung von 121 mW erreicht wurde. Die Strahlqualität des Lasers wurde zu $M^2 < 1,05$ ermittelt.

Durch den Einsatz von neuen Pumpdioden lassen sich die Leistungen skalieren und die Effizienz weiter steigern. Des Weiteren ist geplant, mittels einer Mikrooptik die Strahlformung ebenfalls hoch-integriert zu realisieren, was zu einem insgesamt sehr kompakten Aufbau führen wird.

Das Vorhaben wird vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N9353 gefördert.



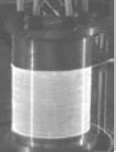
Kompakter Aufbau eines diodengepumpten grünen Festkörperlasers.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Michael Strotkamp
Telefon 0241 8906-132
michael.strotkamp@ilt.fraunhofer.de

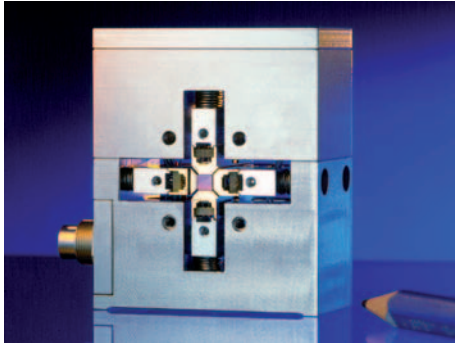
Dipl.-Phys. Bernd Jungbluth
Telefon 0241 8906-414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Für Produktionsverfahren wie z. B. das Bohren, Ritzen und Schneiden von Si- oder Saphir-Wafern, das Bohren von μ -Vias in Leiterplatten, das Schneiden von Flex-Schaltungen und die Kantenisolation von Solarzellen werden UV-Festkörperlaser mit hoher mittlerer Leistung benötigt. Stand der Technik sind Laserstrahlquellen im Bereich von 20 - 30 W. Um höheren Durchsatz in der Produktion zu erzielen, werden Strahlquellen hoher Brillanz, Repetitionsraten und Pulsenergien benötigt.



Ofen zur Temperaturstabilisierung nichtlinearer Kristalle.

Vorgehensweise

Ein gütegeschalteter Innoslab-Laser, basierend auf einer Oszillator Verstärker Anordnung (Nd:YVO₄, 1064 nm) der Firma EdgeWave, wird in zwei Konversionsstufen unter Verwendung von LBO-Kristallen frequenzverdreifacht (355 nm). Bei einer Repetitionsrate von 40 kHz und Pulsdauern von 11,4 ns steht eine mittlere Leistung von 300 W bei einer Strahlqualität von $M^2 = 1,8/5,2$ in stabiler/instabiler Richtung zur Konversion zur Verfügung. Um eine möglichst hohe Effizienz des Systems zu erzielen, wird der Verdreifachungsprozess unter Verwendung der gemessenen Strahlparameter numerisch simuliert und optimiert. Hierbei wird insbesondere die inhomogene Erwärmung der nichtlinearen Kristalle mit Hilfe einer FEM-Rechnung berücksichtigt. Dazu steht ein eigens am Fraunhofer ILT entwickeltes Softwarepaket zur Verfügung.

Ergebnisse und Anwendungen

Nach der Konversionsstufe konnte eine mittlere Leistung von 66 W @ 355 nm und eine Pulsdauer von 8,9 ns und Pulsenergien von 1,65 mJ erzielt werden. Dies entspricht einer Pulsleistung von über 180 kW @ 355 nm. Die Strahlqualität liegt bei $M^2 = 1,7/2,4$ in stabiler/instabiler Richtung und konnte somit gegenüber den im Infraroten gemessenen Parametern deutlich verbessert werden. Die erzielte Konversionseffizienz liegt bei 35 Prozent der gemessenen Eingangsleistung am Konverter. Die experimentellen Werte zeigen hierbei eine gute Übereinstimmung mit der Simulation.

Aufgrund der besonderen Hybridresonatorgeometrie des Innoslab-Lasers sind tophatförmige Strahlverteilungen mit Hilfe einfacher Zylinderlinsenteleskope zu erzielen. Verwendet man eine solche tophatförmige Intensitätsverteilung zur Konversion, zeigen die Simulationsrechnungen, dass eine Konversionseffizienz von 47 Prozent bei gleichbleibender Belastung der optischen Flächen möglich ist.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Marco Höfer
Telefon 0241 8906-128
marco.hoefer@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Zukünftige satellitengestützte DIAL-Systeme zur Vermessung klimarelevanter Wasserdampfverteilungen mit bislang nicht erreichter lateraler Auflösung verlangen robuste und effiziente, gütegeschaltete Laserstrahlquellen bei 935 nm. Dabei wird eine Pulsenergie von mehreren 10 mJ bei einer Repetitionsrate von 100 Hz im Single-Frequency-Betrieb mit einer spektralen Breite von weniger als 100 MHz bei gleichzeitig hoher Strahlqualität verlangt. Von den Kooperationspartnern, der Universität Hamburg und dem Kristallforschungsinstitut FEE, sind erstmals Nd:YGG-Kristalle mit der für die Güteschaltung notwendigen mechanischen und optischen Qualität gezüchtet worden. Mit einer Effizienz von 9 Prozent (absorbiertes Pumplicht zum Laserlicht) konnten Pulsenergien um 4 mJ bei 100 Hz bereits demonstriert werden.

Vorgehensweise

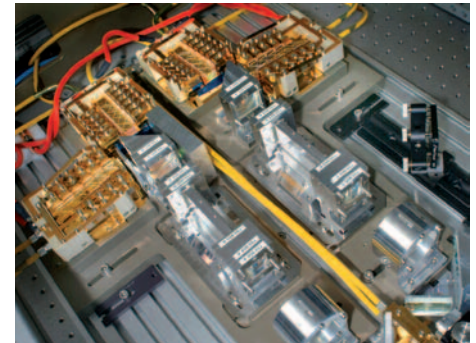
Zur Erfüllung der spektralen Anforderungen wurde der bestehende Oszillator um den Twisted-Mode-Betrieb erweitert, mit einem cw-Single-Frequency-Laser geseedet und die Resonatorlänge mit dem Ramp-Fire-Verfahren auf Resonanzlänge stabilisiert. Dieses Verfahren bietet höchste Stabilität der Zentralwellenlänge auch in Vibrationsumgebung.

Zur Skalierung der Pulsenergie wurde ein INNOSLAB-basierter Verstärker mit doppelseitiger longitudinaler Pumpanordnung realisiert. 44 passiv gekühlte Diodenbarren liefern bei einer Pumpdauer von 200 μ s eine Pulsenergie von 870 mJ. Jeweils 11 Barren werden optisch gestapelt, zwei Stapel werden jeweils polarisationsgekoppelt.

Ergebnisse und Anwendungen

Für den Resonator konnten 4.3 mJ im Single-Frequency-Betrieb bei einer Strahlqualität von $M^2 < 1,12$ gezeigt werden. Mit Heterodyne-Messungen wurde die spektrale Breite des Oszillators zu 8 MHz (fwhm) bestimmt. Die Energie konnte mit der Verstärkerstufe auf 30 mJ skaliert werden. Das entspricht einer Effizienz von 3 Prozent (Pumplicht Verstärker zur extrahierten Energie). Dazu wurde der Oszillatorstrahl 13mal durch den Slabkristall geführt. Es wird eine Strahlqualität von $M^2 < 1.3$ erreicht.

Das System soll für bodengestützte Wasserdampfmessungen der Atmosphäre eingesetzt werden, um die prinzipielle Tauglichkeit für den Messeinsatz nachzuweisen. Die erfolgreiche Erprobung ist Voraussetzung für einen eventuellen Einsatz im Messflugzeug des DLR oder auf einem Satelliten.



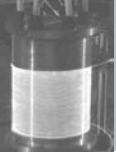
Nd:YGG-basierter INNOSLAB-Verstärker.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Jens Loehring
Telefon 0241 8906-414
jens.loehring@ilt.fraunhofer.de

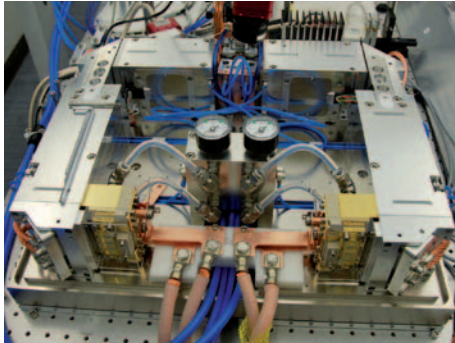
Dipl.-Phys. Marco Höfer
Telefon 0241 8906-128
marco.hoefer@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Die Verstärkung gepulster Laserstrahlung ($\tau < 1$ ps) in den Bereich einiger 100 W mittlerer Leistung mit einem INNOSLAB-Laser soll untersucht werden. Ytterbium (Yb^{3+}) dotierte Lasermaterialien vereinigen als einzige Festkörperm Medien sowohl ausreichende Verstärkungsbandbreite zur Unterstützung ultrakurzer Pulse als auch eine breite Absorptionsbande im Wellenlängenbereich verfügbarer Hochleistungsdiolenlaser. Aufgrund des Quasi-3-Niveau Verhaltens des laseraktiven Yb^{3+} Ions werden besonders hohe Anforderungen an die Pumpquelle gestellt. Ungepumpte Bereiche müssen aufgrund der Eigenabsorption vermieden werden.



Laborprototyp des
Yb-INNOSLAB-Verstärkers.

Vorgehensweise

Aufgrund der guten Wärmeleitung und relativ hohen Verstärkung wird $\text{Yb}:\text{YAG}$ als Lasermedium gewählt. Der slabförmige $\text{Yb}:\text{YAG}$ -Kristall ($1 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$) wird beidseitig mit der Strahlung zweier Horizontalstacks mit jeweils vier Diodenlaserbarren gepumpt. Eine Pumpoptik formt die Strahlung der Diodenlaserbarren zu einer 10 mm breiten und einige 100 μm hohen, homogenisierten Linie um. Transmittierte Pumpstrahlung wird unter Ausnutzung der Polarisation nochmals in den Laserkristall zurückgefaltet. Etwa 800 W Pumpstrahlung ($\lambda_{\text{pump}} = 940 \text{ nm}$) werden im Laserkristall deponiert, der sich in einem Hybrid-Resonator befindet. Dieser faltet den zu verstärkenden Seed-Strahl im Einfachdurchgang neunmal durch den Kristall. Dabei wird der Strahlquerschnitt bei jedem Kristalldurchgang um einen Vergrößerungsfaktor M aufgeweitet. Dadurch wird die Intensität der Laserstrahlung annähernd konstant gehalten, das Verstärkungsmedium wird gleichmäßig

gesättigt und so eine effiziente Verstärkung gewährleistet. Zusätzlich wird hierdurch die Zerstörung optischer Komponenten durch Intensitätsspitzen vermieden.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit einem $\text{Yb}:\text{KGW}$ fs-Oszillator ($\tau = 277 \text{ fs}$, 76 MHz) mit 2 W mittlerer Leistung geseedet erreicht der Yb -Slab-Verstärker eine Ausgangsleistung von 400 W. Die Bandbreite des Oszillators von 3,7 nm wird durch Gain-Narrowing auf 1,8 nm verringert. Die gemessene Ausgangspulslänge ist mit $\tau = 682 \text{ fs}$ annähernd bandbreit eliminiert, wobei keinerlei zeitliche Strecker- oder Kompressor-Anordnungen (CPA) verwendet wurden. Die Strahlqualitätskennzahlen wurden zu $M_x^2 = 1,44$ und $M_y^2 = 1,28$ bestimmt. Bei der bislang erreichten Pulsenergie von 5,3 μJ und der zugehörigen Pulsspitzenleistung von 7,7 MW konnten keinerlei Zeichen von Selbstphasenmodulation, Strahlungsuntergrund oder parasitären Oszillationen beobachtet werden.

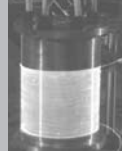
Teile dieser Arbeiten wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens »Lasertron« (FKZ: 13N8720) vom BMBF gefördert.

Ansprechpartner

Dr. Torsten Mans
Telefon 0241 8906-379
torsten.mans@ilt.fraunhofer.de

Dr. Peter Rußbüldt
Telefon 0241 8906-303
peter.russbueldt@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Der Einsatz der Löttechnik zum Fügen optischer Komponenten ist für die Montage von Lasersystemen in vielerlei Hinsicht von besonderem Interesse. Zum einen müssen Komponenten, bei denen es zu einer durch den Laserprozess bedingten Verlustwärme kommt, über einen guten thermischen Kontakt bei konstanter Kontaktsituation gekühlt werden. Zum anderen sind die robusten mechanischen Eigenschaften sowie eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen, wie Feuchtigkeit oder Temperaturschwankung, vorteilhaft im Vergleich zum Kleben oder Klemmen. Die Vielfalt an Laserkomponenten sowie die spezifischen Anforderungen an deren Montage machen die Entwicklung angepasster Fügeverfahren erforderlich. Entscheidend sind Justagegenauigkeit, Positionstreuung, aber auch das mechanische, thermische und elektrische Verhalten von Fügeverbindungen.

Vorgehensweise

Eine sukzessive Montage von Laserkomponenten ist für die Herstellung von Lasersystemen erforderlich. Entwickelt werden Lötverfahren, die durch eine lokale Wärmeerbringung die sukzessive Montage auf einer gemeinsamen Grundplatte ermöglichen. Optische Komponenten, wie Linsen oder Spiegel, sollen hierbei entweder passiv gegen eine Anschlagsfläche gelötet werden oder aktiv in der Schmelze eines Lotes justiert werden. Die Auswirkungen des Lötvorganges werden ebenso wie äußere Einflüsse, z. B. durch Temperaturschwankungen und mechanische Belastungen auf den Justagezustand, interferometrisch ermittelt.

Ergebnisse und Anwendungen

Entwickelt wurde ein Widerstands-lötverfahren, das eine sukzessive Ver-lötung von optischen Komponenten auf einer keramischen Grundplatte ermöglicht. Die Einkopplung der thermischen Energie zum Aufschmelzen des Lotes erfolgt über die Nutzung des elektrischen Widerstands des Lotes. Hierfür wird eine Lotschicht in einem Hochvakuum-PVD-Verfahren flächig auf die zuvor metallisierte Grundplatte aufgebracht. Die Lotschicht wird strukturiert aufgebracht, so dass sich zwei Kontaktierungsbereiche für das Anlegen des elektrischen Stroms und ein Verbindungsbereich, der Lötbereich, auf dem die optischen Komponenten gelötet werden, ergeben. Das Verfahren wird für die Montage einer Strahlformungsoptik in einem miniaturisierten Slab-Laser angewendet.

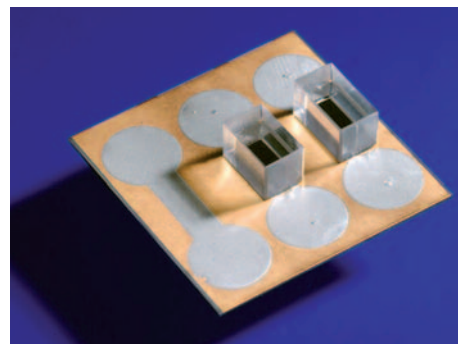
Des Weiteren wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem optische Komponenten in der Schmelze eines Lotes justiert werden können (Pick&Align). Angestrebt wird z. B. die Anwendung des Verfahrens für eine Resonatorspiegelmontage.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jan Dolkemeyer,
Telefon 0241 8906-351
Jan.Dolkemeyer@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Michael Leers
Telefon 0241 8906-343
michael.leers@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Widerstands-löten.
Unten: Pick & Align.

Aufgabenstellung

Lasersysteme zum Beschriften, Markieren und Gravieren werden vielfältig eingesetzt und haben bereits heute einen nennenswerten Weltmarktanteil bei Beschriftungssystemen. Die für die Herstellung dieser Lasersysteme erforderliche Präzisionsmontage ist momentan durch ein hohes Maß manueller oder teilautomatisierter Vorgänge gekennzeichnet, was einen erheblichen Wettbewerbsnachteil für Hochlohnländer bedeutet. Im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« wird ein miniaturisierter Slab-Laser realisiert (MicroSlab), der den Anforderungen an eine automatisierte, selbstoptimierende Montage gerecht wird.

Vorgehensweise

Trotz Kombination hoher Positionsauflösung des Montageroboters und Rückkopplung über visuelle Positionskontrolle in der Montagezelle bleibt die Resonatorjustage im Laserbetrieb unabdingbar. Um diese automatisiert durchführen zu können, wird dem Montageroboter der Zugriff auf die im Produkt integrierte Sensorik und die Lasersteuerung gewährt.

Die Lasersteuerung besteht aus einer Leistungsplatine, die die Regelung des Pumpstroms und die Temperierung der Pumpdiode mittels kostengünstiger Industriestromversorgungen ermöglicht, den Verlustwärmeabtransport sichert und Sicherheitsfunktionen bereitstellt. Auf der darüber angebrachten Signalplatine findet die Aufbereitung der Signale der Betriebsüberwachungssensoren, die in SMD-Technik auf der stromführenden Beschichtung der Keramikgrundplatte angebracht sind, statt. Die Anbindung des Montageroboters

an die Sensorik und Lasersteuerung erfolgt über USB-Schnittstelle und einen Mikrocontroller. Dieser ermöglicht später auch einen autonomen Laserbetrieb, indem er die Algorithmen zur Temperatur- und Pumpstromregelung bereitstellt.

Ergebnisse und Anwendungen

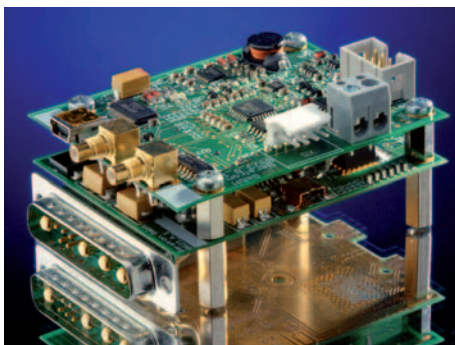
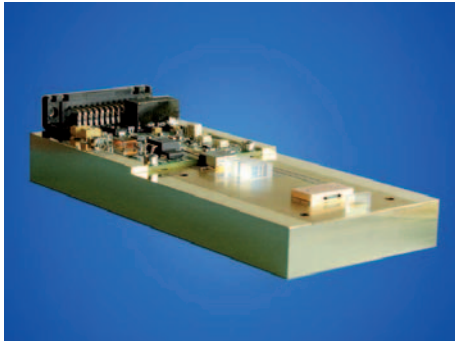
Durch den Einsatz integrierter Sensorik werden die durch Bauteil- und Montageprozessstreuung bedingten Einflüsse eliminiert und die Online-Betriebsüberwachung ermöglicht. Sensorkalibrierung, Ermittlung der optimalen Betriebsparameter, Charakterisierung des Lasers und ggf. Fehlerdiagnose erfolgen bereits während der Montage. Die Modularität der Steuerelektronik ermöglicht eine Funktionalitätserweiterung. Der Einsatz eines Mikrocontrollers bietet eine standardisierte, flexible und beliebig erweiterbare Kommunikationsplattform zwischen Produkt und Montageroboter, die eine starre Schnittstelle in Form einer analogen Dockingstation ersetzt. Somit befähigt das gewählte Elektronikkonzept das Gesamtsystem aus Montagezelle und Produkt zur Selbstoptimierung - einem der Schlüsselkonzepte auf dem Weg zur konkurrenzfähigen Fertigung hybrider Produkte in Hochlohnländern.

Die vorgestellten Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« gefördert.

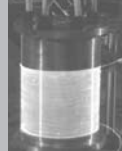
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Valentin Morasch
Telefon 0241 8906-224
valentin.morasch@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: MicroSlab Laser.
Unten: Integrierte Steuerelektronik.



Aufgabenstellung

Faserlaser bieten, aufgrund ihrer auch bei hohen Ausgangsleistungen exzellenten Strahlqualität, einzigartige Möglichkeiten in verschiedenen Bereichen der Lasermaterialbearbeitung, insbesondere beim Schneiden und Schweißen. Durch die Möglichkeit, den gesamten Laser faserintegriert zu gestalten, lassen sich kompakte, justagefreie und robuste Systeme für den industriellen Einsatz aufbauen. Im Rahmen des Verbundprojekts HELIOS soll ein Prototyp für einen vollständig faserintegrierten Laser mit einer cw-Ausgangsleistung von 1 kW entwickelt werden.

Vorgehensweise

Der Faserlaser ist als Oszillator ohne zusätzliche Verstärkerstufen konzipiert. Mittels zweier Pumpkoppler wird die Faser beidseitig gepumpt. Als Pumpquellen kommen zwölf fasergekoppelte Diodenlasermodule mit einer Ausgangsleistung von jeweils etwa 125 W zum Einsatz, so dass die gesamte zur Verfügung stehende Pumpleistung 1,5 kW beträgt. Den Resonator bilden zwei Faser-Bragg-Gitter, von denen eines als Reflektor und das andere als Auskoppelgitter ausgeführt ist. Die Zentralwellenlänge der Gitter beträgt 1080 nm. Als aktives Medium wird eine mit Ytterbium dotierte LMA Faser mit einem Kerndurchmesser von 20 μm und einem Manteldurchmesser von 400 μm verwendet.

Ergebnisse und Anwendungen

Eine Ausgangsleistung von 1,1 kW konnte demonstriert werden. Dies entspricht einer optisch-optischen Effizienz von etwa 73 Prozent. Die thermische Belastung der Spleißverbindungen zwischen den einzelnen Komponenten konnte reduziert werden, wodurch ein dauerhafter Betrieb bei Maximalleistung möglich wurde. Die Leckleistung auf der hochreflektierenden Seite beträgt weniger als 2 Prozent, die rücklaufende Leistung in die Pumpmodule weniger als 9 Prozent.

Diese Arbeiten wurden durch das BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N8691 gefördert.

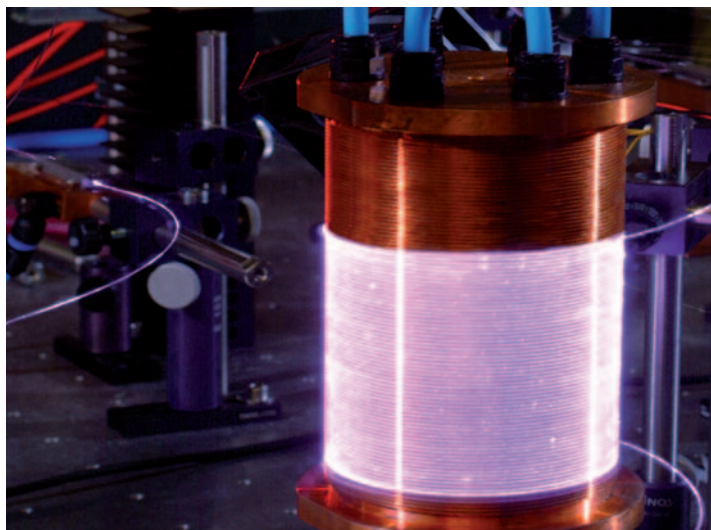
Ansprechpartner

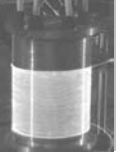
Dipl.-Phys. Oliver Fitzau
Telefon 0241 8906-442
oliver.fitzau@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Prototyp des 1 kW Grundmode-Faserlasers, der den eigentlichen Faserlaser, die diodenlaserbasierten Pumpmodule, das Netzteil und den Kühler enthält.
Unten: Faserlaser in Betrieb. Die aktive Faser ist zur Kühlung auf eine wasserdurchflossene Kupferspule aufgewickelt.





Aufgabenstellung

Volumenmärkte wie das Laserbeschriften, Abtragen und Bohren in der Mikromaterialbearbeitung verlangen nach kosteneffizienten, gepulsten Strahlquellen mit Grundmode-Strahlqualität. Hier bieten sich aufgrund ihrer hohen Effizienz, einfachen Bauform und exzellenten Strahlqualität gepulste Faserlaser an. Gütegeschaltete Faserlaser haben in den vergangenen Jahren ihre besondere Eignung bei hohen mittleren Leistungen und hohen Repetitionsraten unter Beweis gestellt. Jedoch treiben einige Komponenten wie fasergekoppelte optische Modulatoren die Kosten bei mittleren Leistungen über 5 W deutlich in die Höhe. Ein neuer Ansatz, der deutliche Kostenersparnisse verspricht, sind gewinngeschaltete Faserlaser. Dieses Konzept besitzt gegenüber gepulsten Faserlaserverstärker-Aufbauten und gütegeschalteten Faserlasern den Vorteil, dass der Faserlaser hier als faserintegrierter Oszillator aufgebaut werden kann und nur aus einer aktiven Faser und zwei Faser-Bragg-Gittern besteht. Die Pulserzeugung wird durch zeitliche Modulation der Pumpdioden realisiert. Dadurch ist es gegenüber den anderen Konzepten möglich, den Pulsfrequenzbereich von etwa 100 kHz bis hinunter in den Einzelschussbetrieb zu erweitern.

Vorgehensweise

Entscheidend für den Betrieb eines gewinngeschalteten Lasers ist das Zusammenspiel zwischen Pumpuls und Laserpuls. Zur Simulation des gewinngeschalteten Faserlasers wurde ein Programm entwickelt, das die Ratengleichungen zeitlich und spektral aufgelöst numerisch integriert. Somit ist es möglich, für gegebene Laserspezifikationen und Geometrien der aktiven Faser eine optimale Kombination von Pumpulsdauer und -energie zu finden.

Ergebnisse und Anwendungen

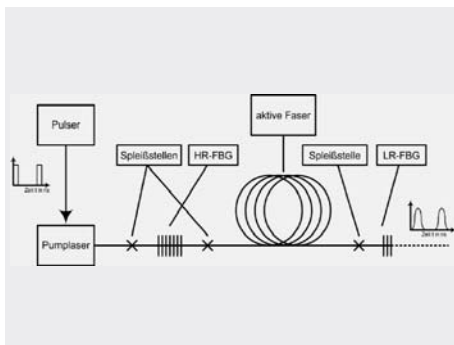
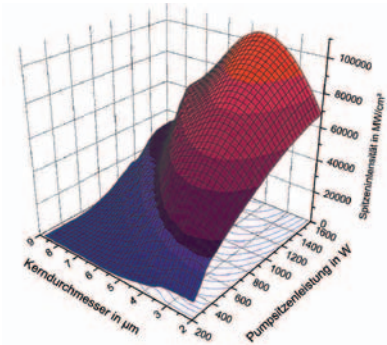
Um die Realisierbarkeit des Konzepts zu zeigen, wurde mit einem Diodenlaserpumpmodul eine mit Ytterbium dotierte 12,5 m lange Faser gepumpt. Die in die Faser gekoppelte Pumpenergie betrug bei einer Pulsbreite von 200 ns ca. 30 μ J. So konnten bei Repetitionsraten von ca. 50 kHz und einer Laserwellenlänge von 1080 nm $\pm$ 0,25 nm Pulsenergien im Bereich von 8 μ J gemessen werden. Die ermittelte Pulsbreite lag bei ca. 1,4 μ s. Um diese weiter zu verkürzen und die Effizienz weiter zu erhöhen, wird zurzeit ein gepulster Diodenlaser aufgebaut, mit dem eine ca. doppelt so hohe Pumpspitzenleistung und deshalb aufgrund der steigenden Extraktionseffizienz mehr als die doppelte Ausgangsleistung des gewinngeschalteten Faserlasers möglich sein wird.

Diese Arbeiten wurden durch das BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N9671 gefördert.

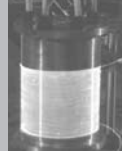
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Jens Geiger
Telefon 0241 8906-123
jens.geiger@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Abhängigkeit der Ausgangsspitzenintensität von Faserkern Durchmesser und Pumpspitzenleistung.
Unten: Schematischer Versuchsaufbau des gewinngeschalteten Faserlasers.



Aufgabenstellung

Im Rahmen eines internen Forschungsprogramms der Fraunhofer-Gesellschaft wurden Ytterbium-basierte Faserverstärker verschiedener Leistungsklassen untersucht. Die Vorgabe war dabei, Pulsdauern von etwa einer Nanosekunde bei einer Repetitionsrate im hohen kHz- bis MHz-Bereich zu erzeugen. Zu untersuchen waren sowohl das hochverstärkende, ungesättigte Regime als auch die Leistungsskalierung. Die Schwerpunkte der Arbeit lagen im Bereich der Verstärkercharakteristik und der Entwicklung der verstärkten Spontanemission (ASE). Weiterhin wurden nicht-lineare Effekte wie stimulierte Raman-Streuung (SRS) und Selbstphasenmodulation (SPM) untersucht.

Vorgehensweise

Das Eingangssignal für den Verstärker liefert eine gepulste Laserdiode. Sie gibt die zeitliche und spektrale Form der Pulse vor und besitzt einen hohen Polarisationsgrad. Die erste Verstärkerstufe besteht aus einer kerngepumpten Single-Mode-Faser. Auf sie folgt der Hauptverstärker, welcher auf einer Large-Mode-Area-Faser mit 20 μm Kerndurchmesser basiert. Diese Stufe wird von einem einzelemittierten Diodenlasermodul mit bis zu 45 W bei 976 nm gepumpt. Sie wird im Doppel-durchgang betrieben und erreicht eine maximale Ausgangsleistung von 17 W bei 500 kHz Repetitionsrate. Davon liegen über 70 Prozent innerhalb von 2,4 nm spektraler Bandbreite, der Polarisationsgrad beträgt 99 Prozent.

Die aktive Faser der dritten Stufe ist eine mikrostrukturierte Large-Mode-Area-Faser mit 40 μm Kerndurchmesser und Air-Clad-Struktur. Sie wird mit bis zu 150 W bei 976 nm gegen die Signalrichtung gepumpt. Durch eine einkoppelseitige Halbwellenplatte kann die Faser wahlweise mit linearer Polarisation oder unpolarisiert betrieben werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Es wurden folgende Kennzahlen erreicht:

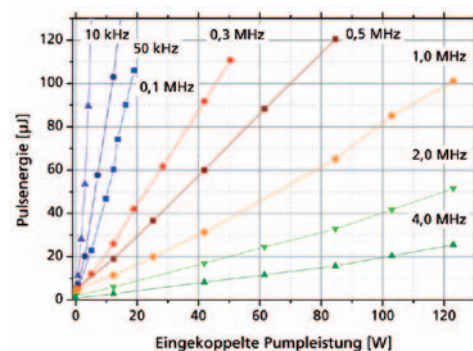
- mittlere Leistung bis 100 W
- Pulsspitze 100 kW polarisiert
200 kW unpolarisiert
- Repetitionsrate von 50 kHz bis 4 MHz
- Pulsenergie bis 100 μJ
- Pulsdauer etwa 1 ns
- Polarisationsgrad besser als 95 Prozent
- Gesamtverstärkung 56 dB

Das System wird für Pilotanwendungen in der Materialbearbeitung und Untersuchungen zur Frequenzkonversion genutzt.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Jens Geiger
Telefon 0241 8906-123
jens.geiger@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

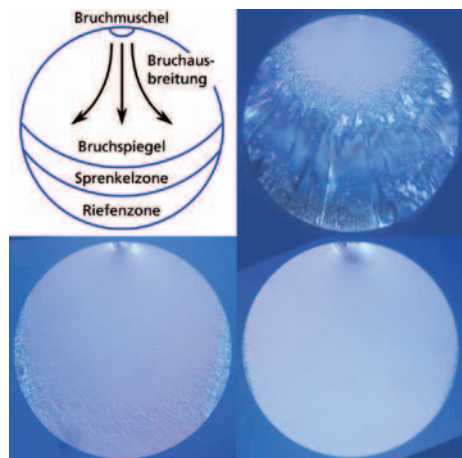


Oben: Laboraufbau mit Vorverstärker (hinten links), Hauptverstärker (vorne) und Endstufe (hinten rechts).
Unten: Pulsenergie des polarisierten Strahls.

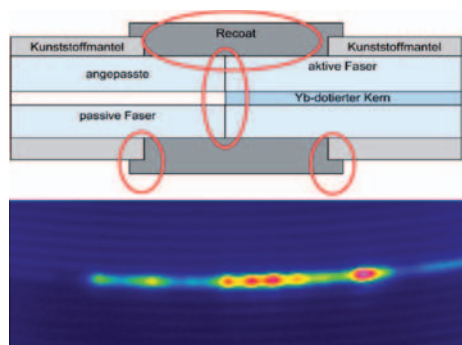


Aufgabenstellung

Für den Aufbau von Faserlasern mit hoher mittlerer Ausgangsleistung ist die richtige Präparation der Fasern ein entscheidender Faktor, um einen langzeitstabilen Betrieb sicherzustellen. Das Verspleißen als Verbindungstechnik ist dabei einer der schwierigsten Verfahrensschritte und die thermische Belastung, resultierend aus suboptimalen Spleißverbindungen, häufig der limitierende Faktor für eine Leistungsskalierung.



Oben: Bruchspiegel einer Large-Mode-Area-Faser bei verschiedenen Bruchspannungen.
Unten: Schematische Darstellung der neuralgischen Punkte und Thermographiemessung im Laserbetrieb.



Vorgehensweise

Faserspleiße können eine Qualität erreichen, die der eines gezogenen Faserstücks sehr nahe kommt. Dazu müssen jedoch alle vier Präparationsschritte optimal durchgeführt werden: das Strippen, Brechen, Spleißen und Recoaten.

Im ersten Schritt wird im Bereich des Faserendes das Coating entfernt. Besonders bei mantelgepumpten Fasern, wie sie für Faserlaser verwendet werden, kann eine ungeeignete Stripptechnik zu großen thermischen Problemen führen. Die Präparation der Faserfacette geschieht durch Brechen. Hierbei hängt unter anderem die Qualität des Bruchspiegels entscheidend von der gewählten Bruchspannung ab, wie auf den nebenstehenden Bildern zu erkennen ist. Beim eigentlichen Spleißvorgang werden die Quarzkern der beiden Faserenden aufgeschmolzen, um sie miteinander zu verbinden. Führt die Faser nur eine Mode, so müssen die Kerne mit sub-Mikrometer Genauigkeit zu einander zentriert werden. Zuletzt wird die gespleißte Stelle mit einem neuen Coating umgeben. Bei

Doppelmantelfasern (DC - double cladding) führt bereits eine minimale Absorption des Pumplichts wegen der kleinen räumlichen Ausdehnung zu einer thermischen Zerstörung. Weisen die verwendeten Fasern unterschiedliche Kernradien auf, muss zusätzlich eine Modenfeldanpassung stattfinden. Zu diesem Zweck kann der Kerndurchmesser durch Diffusion oder Tapern verändert werden. Der Modenfeldradius wird dadurch vergrößert bzw. verkleinert, die Verluste werden minimiert.

Ergebnisse und Anwendungen

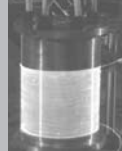
Die Dämpfung des im Kern geführten Lichts konnte von 0,4 dB auf weniger als 0,03 dB reduziert werden. Die hervorragenden Ergebnisse im Teststand konnten auch praktisch an einem Faserlaser-Aufbau verifiziert werden. Hier wurden die Spleißstellen mit 750 W Pumplicht und 1,1 kW Signallicht dauerhaft betrieben. Die Messergebnisse bestätigen Signalverluste im Bereich unter einem Prozent und eine geringe Wärmelast. Dadurch konnte der Aufwand für eine ausreichende Kühlung deutlich reduziert werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Oliver Fitzau
Telefon 0241 8906-442
oliver.fitzau@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Jens Geiger
Telefon 0241 8906-123
jens.geiger@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Durch die in letzter Zeit erreichte Steigerung der Ausgangsleistung von Einzelemittern in den Bereich zwischen etwa 7 und 12 W wird deren Einsatz in fasergekoppelten Diodenmodulen für das Pumpen von Hochleistungslasern interessant. Bei einer optimalen Pumpwellenlänge von 976 nm sollen 50 W in eine 100 μm Faser eingekoppelt werden. Das Konzept soll eine spätere Skalierung der Leistung auf 100 W zulassen. Hierzu ist eine optimierte Strahlformung erforderlich, um eine möglichst hohe Leistungsdichte und Koppel-effizienz zu erreichen.

Vorgehensweise

Um der Aufgabenstellung gerecht zu werden, wird ein Modul bestehend aus zwei Wärmesenken mit jeweils 5 aufgelöteten Einzelemittern entwickelt, aufgebaut und experimentell untersucht. Die Strahlen der Einzelemitter werden in einem Modulgehäuse mittels Polarisationskopplung überlagert und in eine 100 μm Faser gekoppelt. Für eine mantelmodenfreie Fasereinkopplung wird ein speziell hierfür entwickelter Faserstecker verwendet. Zuvor wird die hierzu nötige Strahlformung simuliert und optimiert. Zur exakten Positionierung der optischen Komponenten beim Aufbau des Moduls wird ein teilautomatisierter Justageplatz konzipiert und aufgebaut.

Ergebnisse und Anwendungen

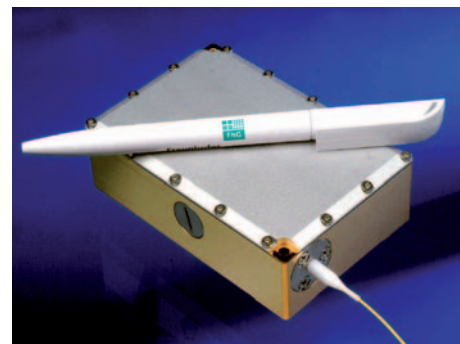
Das Modul zeichnet sich durch eine hohe Gesamteffizienz (wall plug efficiency) größer als 40 Prozent aus. Es wird eine optische Ausgangsleistung von mehr als 60 W erreicht. Mit fortschreitender Entwicklung der Emitter ist bei gleichem optischen Design eine Ausgangsleistung von 100 W möglich. Die teilautomatisierte Justage erlaubt eine exakte und zeiteffiziente Positionierung der optischen Komponenten.

Ansprechpartner

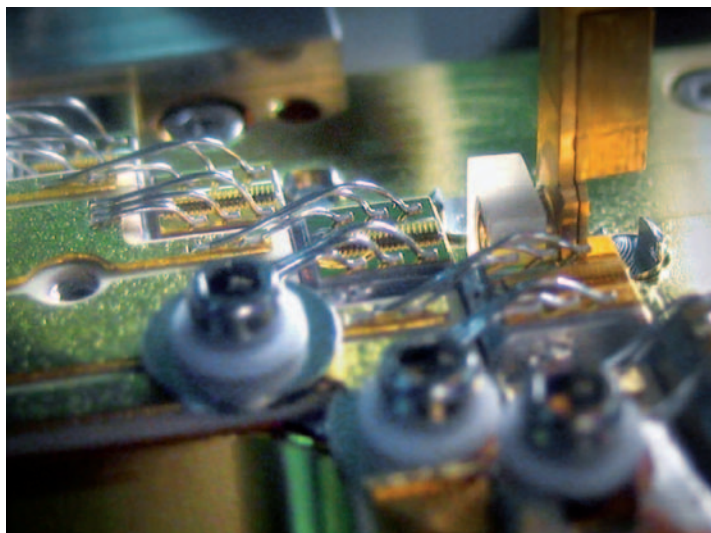
Dipl.-Phys. Marcel Werner
Telefon 0241 8906-423
marcel.werner@ilt.fraunhofer.de

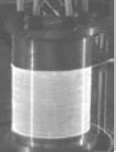
Dipl.-Ing. Martin Traub
Telefon 0241 8906-342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffman
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Pumpmodul für Faserlaser mit Faserstecker.
Unten: Vakuumgreifer mit Mikrolinse vor einem Einzelemitter bei der teilautomatisierten Linsenjustage.





Aufgabenstellung

Als Laserstrahlquelle zum Markieren, Abtragen und Bohren in der Mikro-materialbearbeitung und anderen Anwendungen, die eine hohe Puls-spitzenleistung aber einen geringen Wärmeeintrag erfordern, bieten sich supergepulste Diodenlaser aufgrund ihrer kompakten Bauform und einfachen Handhabbarkeit an, sofern die erforderlichen Leistungsdichten erreicht werden. Zur weiteren Steigerung der Leistungsdichte soll ein supergepulster Diodenlaser, der auch für die Direktanwendung geeignet ist, als Pumpquelle eines gewinngeschalteten Faserlasers entwickelt werden.

Vorgehensweise

Das realisierte Labormuster basiert auf vier Kurzbarren mit einer Apertur von $800\text{ }\mu\text{m} \times 1\text{ }\mu\text{m}$. Jeweils zwei Barren werden geometrisch überlagert und beide Strahlwege anschließend polarisationsgekoppelt. Die Symmetrisierung des Strahls geschieht mittels Treppenspiegeln. Durch eine anamorphotische

Abbildungsoptik wird der Treppenspiegel auf die Eintrittsfläche einer Transportfaser mit Durchmesser $105\text{ }\mu\text{m}$ und numerischer Apertur 0,2 verkleinert abgebildet. Zur zeitlichen Modulation wird ein Pulstreiber der Firma PicoLas verwendet. Um möglichst hohe Intensitäten zu erreichen, ist dabei der Pumpstrom der vier Laserbarren um den Faktor 10 gegenüber dem Nennbetrieb überhöht. Dies wird durch die äußerst kurzen Strompulse mit Pulsdauer von maximal 300 ns ermöglicht.

Ergebnisse und Anwendungen

Aufgrund der großen Stromüberhöhung bei variablen Pulsdauern von ca. 50 bis 300 ns liegt die in die Faser eingekoppelte Pulsspitzenleistung im Bereich von über 500 W. Dies entspricht einer Leistungsdichte von ca. 6 MW/cm^2 bei einer Pulsenergie von $150\text{ }\mu\text{J}$. Mit dem aufgebauten supergepulsten Diodenlasermodule konnte erfolgreich ein gewinngeschalteter Faserlaser gepumpt werden.

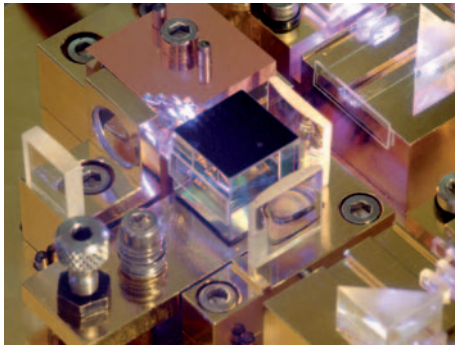
Diese Arbeiten wurden durch das BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N9671 gefördert.

Ansprechpartner

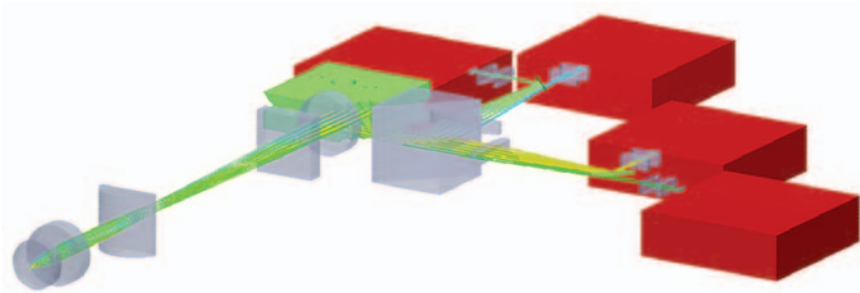
Dipl.-Phys. Jens Geiger
Telefon 0241 8906-123
jens.geiger@ilt.fraunhofer.de

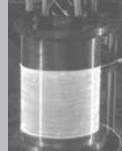
Dipl.-Ing. Martin Traub
Telefon 0241 8906-342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Strahlformungsoptik des Demonstrators.
Unten: Raytracing-Modell des supergepulsten Diodenlasers.





Aufgabenstellung

Bei der Behandlung von tieferliegenden Tumoren stellt die interstitielle PhotoDynamische Therapie (iPDT) eine aussichtsreiche Methode zur Heilung dar. Dafür werden Systeme mit mehreren fasergekoppelten, individuell steuerbaren, roten Strahlquellen im Wellenlängenbereich von 635 nm bis 652 nm und einer optischen Ausgangsleistung von 2 W bis 16 W benötigt. Derzeit sind entsprechende kostengünstige Systeme mit den genannten Leistungsdaten weltweit nicht verfügbar. Ziel ist es, ein Demonstratormodul mit einzeln adressierbaren Emittlern herzustellen, die zu 8 einzelnen Ports mit je 2 W Ausgangsleistung zusammengefasst werden können und zur Anwendung in der iPDT geeignet sind.

Vorgehensweise

Ein Laserbarren wird p-side down auf eine mit Leiterbahnen strukturierte, hoch wärmeleitende Keramik-Platine aufgelötet. Die Keramik wird auf ihrer Unterseite mittels einer aktiven Mikrokanalwärmesenke gekühlt. Ein speziell entwickeltes Netzteil steuert die 20 einzelnen Emitter anodenseitig an und verbindet sie über eine gemeinsame Kathode. Diese Anordnung gewährleistet, dass beliebige Emitter einem Port zugeordnet und eventuell auftretende Effekte durch thermische Übersprechen zwischen den Emittlern gemindert oder zumindest gleichmäßig verteilt werden können. Die Parametrierung erfolgt über ein Terminalprogramm von einem PC aus.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit dem beschriebenen Demonstratormodul lassen sich grundsätzlich Diodenlaserbarren mit unterschiedlichen Emissionsmustern beschalten. Die Stromquelle liefert Ströme bis 2 A pro Emitter, bei Pulslängen von 20 μ s bis cw und einem Puls-Pause-Verhältnis von 10:1 bis 1:10. Die montierten Barren weisen typischerweise einen Smile von ca. 3 μ m über ihre Gesamtbreite auf, so dass eine Einkopplung in eine 200 μ m Faserzeile problemlos möglich ist. Das zur Verfügung stehende Halbleitermaterial (652 nm) erreicht bei einzeln geschalteten Emittlern eine maximale Leistung von 1400 mW bei 1,8 A. Bei gleichzeitiger Aktivierung von mehreren benachbarten Emittlern sinkt die mittlere Leistung pro Emitter ab, da Barrenmaterial im roten Spektralbereich eine deutlich höhere Empfindlichkeit bei thermischer Belastung aufweist als Material im NIR-Bereich.

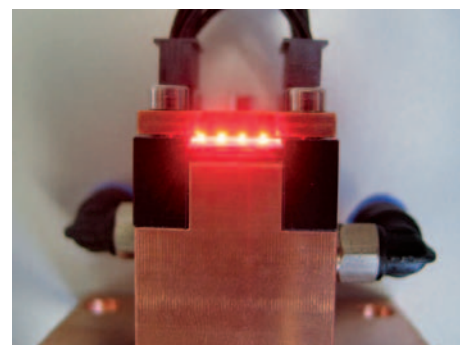
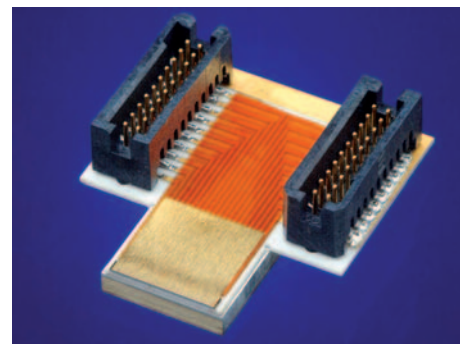
Das hier beschriebene Teilvorhaben wurde vom BMBF unter FKN 13N8961 gefördert und ist Bestandteil des Gesamtverbunds ROLAS.

Ansprechpartner

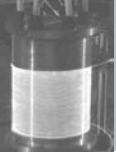
Dipl.-Ing. Wolfgang Brandenburg
Telefon 0241 8906-192
wolfgang.brandenburg@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Michael Leers
Telefon 0241 8906-343
michael.leers@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

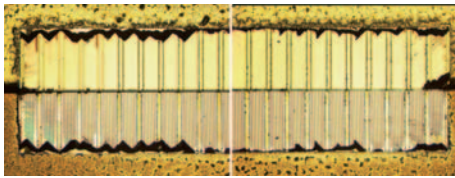
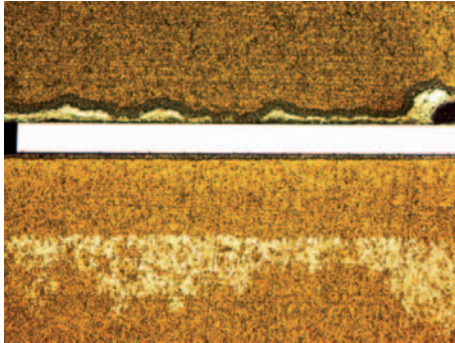


Oben: Vollständig aufgebauter einzeladressierbarer Laserbarren.
Unten: Demonstration der Einzeladressierung: Beispiel eines Emissionsmusters.



Aufgabenstellung

Hochleistungsdiodenlaser weisen eine hohe spezifische Leistungsdichte von mehr als 500 W auf. Um die daraus resultierende hohe Verlustwärme abführen zu können, ist eine effektive Kühlung des Laserbarrens unabdingbar. Üblicherweise erfolgt die Montage des Laserbarrens p-seitig mittels eines geeigneten Lötprozesses auf die Wärmesenke. In Verbindung mit kriechfestem, temperaturstabilem AuSn-Lot müssen wärmeausdehnungsangepasste Wärmesenken verwendet werden. Durch eine zweite, zusätzliche Wärmesenke auf der n-Seite des Laserbarrens kann dessen Kühlung deutlich verbessert werden. Ähnliche Packages werden bislang mit zweistufigen Lötprozessen aufgebaut, in denen zwei Lote mit deutlich unterschiedlichen Schmelzpunkten zum Einsatz kommen.



Oben: Blick von vorne auf den beidseitig mit AuSn verlöteten Laserbarren, p-Seite unten, n-Seite oben.

Unten: Probe nach Schertest, unten p-Seite, oben n-Seite, ganzflächige Verbindung hoher Festigkeit.

Vorgehensweise

Um eine effektive Kühlung zu erreichen, wird der Laserbarren sowohl p-seitig als auch n-seitig mit AuSn-Lot auf eine ausdehnungsangepasste vergoldete CuW-Wärmesenke gelötet. Zuerst erfolgt die Montage des Laserbarrens auf die p-Wärmesenke. Nach dem Aufschmelzen des Lotes entsteht eine eutektische AuSn-Legierung, deren Schmelzpunkt bei ca. 280 °C liegt. Das Lot reichert sich während des weiteren Prozesses mit Gold an, das aus der galvanischen Beschichtung der Wärmesenke in die Lotschicht diffundiert. Dadurch steigt der Schmelzpunkt des Lotes. Im zweiten Schritt wird eine Wärmesenke mit der gleichen AuSn-Legierung n-seitig auf den Laserbarren gelötet. Die zuerst gelötete Verbindung auf der p-Seite darf dabei nicht wieder schmelzen.

Ergebnisse und Anwendungen

Durch geeignete Prozessführung wird eine gezielte Diffusion von Gold aus der Beschichtung der Wärmesenke in die erste Lötverbindung auf der p-Seite des Laserbarrens erreicht. Dort entsteht eine höher schmelzende AuSn-Legierung, die im zweiten Lötprozess nicht wieder schmilzt. Die kritische Positionierung der Laserbarrenfacette relativ zur Wärmesenkenvorderkante, die im ersten Lötprozess vorgenommen wird, bleibt somit vom zweiten Lötprozess unbeeinflusst. Erzielt werden gleichmäßige, spannungsarme Verbindungen hoher Festigkeit. Die Realisierung von neuartigen, beidseitig gekühlten Package-Konzepten höherer Leistung ist auf diese Weise ebenso möglich wie das simultane Verlöten von mehreren Laserbarren und Submounts zu einem Diodenlaser-Stack.

Ansprechpartner

Dr. Norbert Boenig
Telefon 0241 8906-173
norbert.boenig@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Michael Leers
Telefon 0241 8906-343
michael.leers@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Die Montage von Diodenlasermodulen stellt aufgrund der hohen Zahl von Freiheitsgraden vieler optischer Komponenten eine komplexe Aufgabe dar. Bei der industriellen Fertigung wird die Justage kompletter Module ganz oder teilweise in Handarbeit durchgeführt. Um die Fertigung höherer Stückzahlen bei gleichbleibender Qualität zu ermöglichen, wächst der Bedarf nach einer automatisierten Fertigung.

Im Rahmen des BMBF-Projekts PrOpSys soll durch Koordination der Lissotschenko Mikrooptik GmbH eine Pilotanlage zur automatisierten Fertigung eines kompletten Diodenlasermoduls aufgebaut werden. Die Aufgabe des Fraunhofer ILT besteht in der Entwicklung und Erprobung eines Algorithmus, der die automatisierte Justage der kritischen optischen Elemente ermöglicht.

Vorgehensweise

Im Vordergrund steht die automatisierte Justage einer Strahltransformations-Mikrooptik. Diese Optik wird unter Berücksichtigung von fünf Freiheitsgraden vor einem Hochleistungs-Diodenlaserbarren montiert.

Für die Vorjustage wird das Nahfeld hinter der Optik auf eine Kamera abgebildet und mit einem Bildverarbeitungssystem analysiert. Verschiedene Freiheitsgrade werden systematisch durchgeföhren, wobei die jeweilige Position der Optik mit Hilfe verschiedener Kamerasignale bewertet wird. Die Position ist optimal, wenn sich eine scharfe Nahfeldabbildung eingestellt hat.

Die anschließende Feinjustage erfolgt mittels Fernfeldabbildung. Ähnlich der Nahfeldjustage werden verschiedene Freiheitsgrade systematisch nachjustiert, bis die Fernfelddivergenz minimal ist.

Ergebnisse und Anwendungen

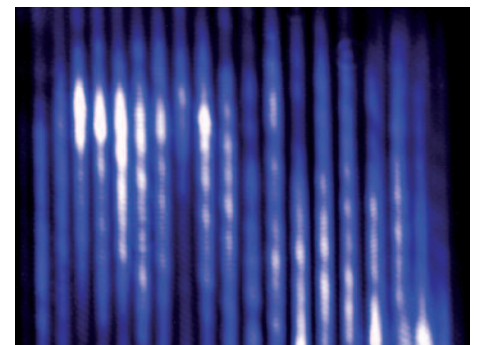
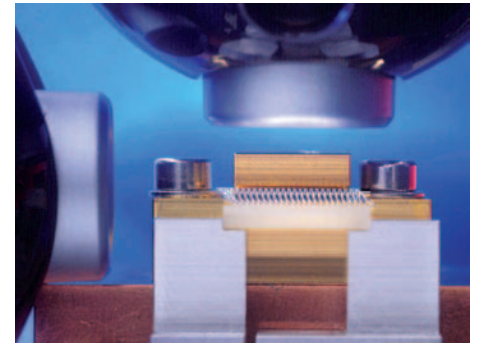
Der entwickelte Justagealgorithmus ist in die Softwareumgebung einer Mikromontageanlage im Fraunhofer ILT eingebunden und erfolgreich getestet worden. Bei dem Test zeigte sich eine hohe Zuverlässigkeit, die unabhängig von den Startbedingungen und Komponententoleranzen ist.

Diese Arbeiten wurden durch das BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N9360 gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Thomas Westphalen
Telefon 0241 8906-374
thomas.westphalen@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Justierte Strahltransformations-Mikrooptik.
Unten: Kamerasignal einer scharf eingestellten Nahfeldabbildung.

Aufgabenstellung

Hochleistungsdiodelaser werden in den nächsten Jahren voraussichtlich in sehr großen Stückzahlen (> 1 Mio pro Jahr) in den verschiedensten Anwendungsfeldern, z. B. für Konsumermärkte, benötigt. Aufgrund dieser Perspektive entwickelt das Fraunhofer ILT Systeme, die die damit verbundenen neuen Anforderungen erfüllen sollen. Insbesondere die zeitintensiven Langzeittests in Burn-in Systemen werden den neuen Anforderungen angepasst. Dabei ist ein hoher Durchsatz an Diodenlasern bei konstanten und reproduzierbaren Randbedingungen notwendig. Um den Anforderungen gerecht zu werden, darf der Wechsel eines Packages nur wenig Zeit in Anspruch nehmen und die erfassten Messergebnisse müssen direkte Auskünfte über die Qualität geben.

Vorgehensweise

Die Vielzahl an möglichen Arten eines Diodenlaser Packages werden im Burn-in durch wenige Adapter kompensiert. Die optischen Messköpfe und die gekühlte Grundplatte sind die Basis einer jeden Ebene im System. Alle Testplätze einer Ebene haben eine einheitliche Kühltemperatur. Diese kann von Ebene zu Ebene unterschiedlich sein. Dabei erfolgt die Kühlung und Temperaturregelung über Peltier Elemente. Durch deren Einsatz wird kein DI-Wasser zur Kühlung der Packages mehr benötigt. Der gesamte Burn-in wird somit durch konventionelles Brauchwasser gekühlt. Für einen Einsatz bei sehr hohen Strömen (> 150 A) können die Packages optional auch mit DI-Wasser gekühlt werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Das aufgebaute System entspricht einer Ebene mit 10 Testplätzen. Innerhalb eines 19" Schrankes sind bis zu 80 Testplätze möglich. Die Bedienung erfolgt über einen Touchscreen Monitor. Hier sind neben der Überprüfung der aktuellen Testplätze auch die vordefinierten Testparameter aktivierbar, diese werden über einen PC eingegeben. Pro Testplatz stehen bis zu 120 A/2,5 V für die Stromversorgung zur Verfügung. Der Betrieb ist sowohl cw als auch im »hard pulse« Modus (0,1 bis 10 Hz) möglich. Das System ist für Kühlwassertemperaturen von bis zu 70 °C ausgelegt. Jeder Messplatz wird über einen Thermofühler einzeln überwacht und beim Überschreiten einer vordefinierten Maximaltemperatur abgeschaltet. Über einen Messkopf wird die relative optische Leistung ermittelt und gespeichert. Alle Daten werden in frei definierbaren Zeitintervallen gespeichert und können im Anschluss ausgewertet werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Wolfgang Brandenburg
Telefon 0241 8906-192
wolfgang.brandenburg@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Michael Leers
Telefon 0241 8906-343
michael.leers@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Unten: Burn-in Ebene.



Aufgabenstellung

Das Laserstrahl-Löten hat sich aufgrund seiner verfahrensspezifischen Vorteile als Fügeverfahren in der Automobil- und Elektronikindustrie etabliert. Bisher werden dazu in der industriellen Praxis ausschließlich Bearbeitungsköpfe eingesetzt, bei denen der Draht lateral, in der Regel im Vorlauf des Laserstrahls, zugeführt wird. Dabei muss die Bearbeitungsoptik bei jeder Richtungsänderung so umorientiert werden, dass Draht und Laserstrahl in Vorschubrichtung (Nahtverlauf) ausgerichtet sind. Die sich daraus ergebenden Probleme bei der lateralen Drahtzufuhr sind: Schwer oder überhaupt nicht realisierbare Radien $< 10\text{ mm}$, aufwändige Programmierung der Robotersteuerung, Produktivitätseinbußen sowie Schwankungen in der Nahtbreite und Bindefehler durch eine nicht konstante Bearbeitungsgeschwindigkeit. Aus den genannten Gründen ist eine Bearbeitungsoptik von großem Vorteil, bei der der Draht coaxial zum Laserstrahl in die Fügezone transportiert wird. Dadurch kann der Lötprozess richtungsunabhängig durchgeführt werden.

Vorgehensweise

Es wird ein optisches System entwickelt, das einen ringförmigen Laserstrahl erzeugt, der eine abschattungsfreie, coaxiale Drahtzufuhr ermöglicht (Bild unten). Die Optik transformiert den kollimierten Strahl in einen ringförmigen Strahl. Der ringförmige Laserstrahl wird in zwei Teilstrahlen aufgespalten, so dass der Lötendraht abschattungsfrei, coaxial zum Laserstrahl in die Fügezone transportiert werden kann. Anschließend werden die beiden Teilstrahlen wieder zusammengeführt und bilden einen Ring, der abschließend in die Bearbeitungszone fokussiert wird.

Ergebnisse und Anwendungen

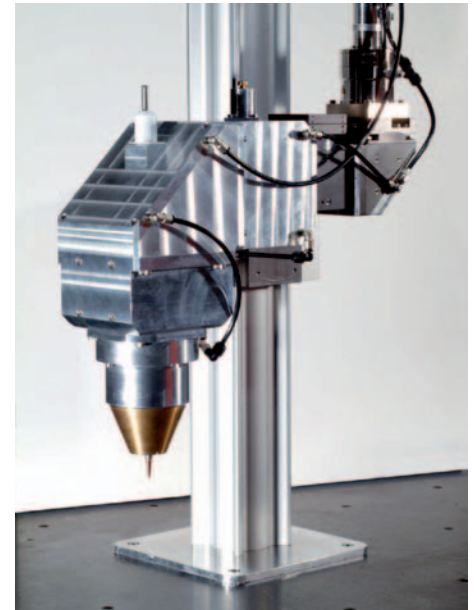
Basierend auf dem innovativen Optik-konzept wurde ein Bearbeitungskopf (Bild oben) für das Laserstrahl-Löten entwickelt und erfolgreich erprobt. Die Bearbeitungsoptik verfügt über eine abschattungsfreie coaxiale Drahtzufuhr. In Verbindung mit einer ringförmigen Laserstrahlintensitätsverteilung, die den Draht umschließt, kann der Lötprozess richtungsunabhängig durchgeführt werden, ohne den Bearbeitungskopf bei jeder Richtungsänderung umorientieren zu müssen. Zusammen mit der ebenfalls coaxial zum Laserstrahl in den Bearbeitungskopf integrierten Prozessüberwachung ist der Lötkopf richtungsunabhängig einsetzbar.

Das Vorhaben wurde von der Stiftung Industrieforschung gefördert.

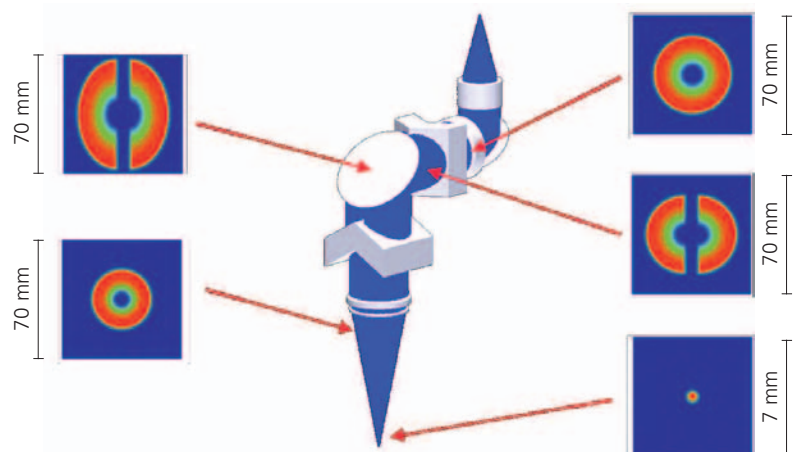
Ansprechpartner

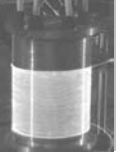
Dipl.-Phys. Joerg Diettrich
Telefon 0241 8906-359
joerg.diettrich@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Bearbeitungskopf für das Laserstrahl-Löten mit ringförmigem Laserstrahl und coaxialer, abschattungsfreier Drahtzufuhr.
Unten: Optisches System (Konzept).





Aufgabenstellung

Anti-Personen-Minen stellen in vielen Teilen der Welt eine erhebliche Bedrohung für die Zivilbevölkerung dar. Da diese Minen in einigen Gebieten massenhaft ausgebracht wurden, ist eine zuverlässige Räumung mit konventionellen Mitteln schwer zu realisieren. Hierbei werden die Minen manuell oder mit speziellen Minenräumfahrzeugen unschädlich gemacht, wobei die Räumleistung limitiert ist und aufgrund der Nähe zu den Minen ein großes Risiko für das Personal besteht. Aus diesen Gründen wird vom LBBZ ein Lasersystem entwickelt, das das Entschärfen der Minen aus sicherer Entfernung bei hoher Räumleistung ermöglicht. Hierfür soll eine geeignete Laseroptik entwickelt werden.

Vorgehensweise

Für das mobile Minenräumsystem, das auf ein Fahrzeug montiert werden soll, findet ein beugungsbegrenzter Multi-kW-Faserlaser Anwendung. Mit Hilfe der entwickelten Optik soll der Ausgangsstrahl des Lasers Minen bis zu einer Entfernung von 200 m unschädlich machen. Die Optik ist beugungsbegrenzt, um eine ausreichende Leistungsdichte auch bei maximaler Entfernung der Mine zu gewährleisten. Bei der Auslegung sind die thermischen Effekte, die durch die Absorption der Laserstrahlung in den optischen Komponenten auftreten und zu Aberrationen und einer Verschiebung der Fokusslage führen, zu berücksichtigen. Ferner müssen atmosphärische Einflüsse bei der Auslegung beachtet werden, die sowohl Aberrationen als auch eine ungewollte Bewegung des Laserstrahls hervorrufen.

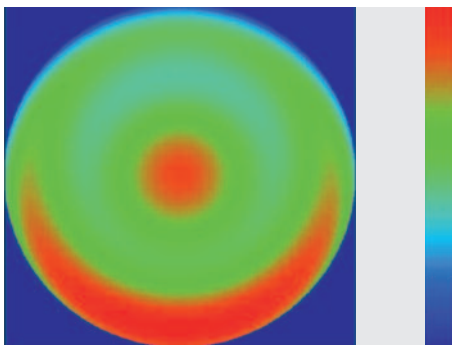
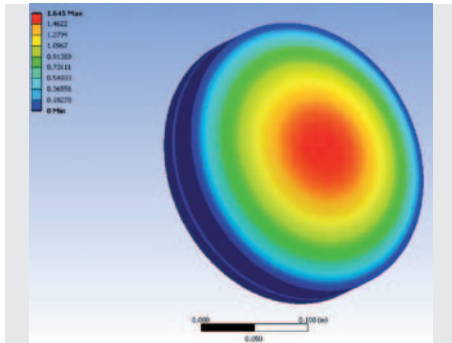
Ergebnisse und Anwendungen

Zum Räumen von Minen wurde eine Laseroptik entwickelt, die einen variablen Bearbeitungsabstand zwischen 50 m und 200 m ermöglicht. Die erzielbare Spotgröße beträgt bei der Verwendung mit einem beugungsbegrenzten Faserlaser 3 mm. Mit Hilfe einer FEM-Thermalanalyse konnten der transiente Temperaturverlauf der optischen Komponenten sowie die stationäre Temperaturverteilung berechnet werden, woraus die thermische Linse des Gesamtsystems bestimmt wurde. Im nächsten Schritt wird die entwickelte Optik vom LBBZ realisiert und die Eignung für den geplanten Einsatzbereich getestet.

Ansprechpartner

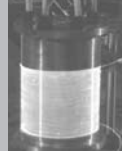
Dipl.-Ing. Martin Traub
Telefon 0241 8906-342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon 0241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Stationäre Temperaturverteilung der Optik ($\Delta T_{\max} = 1,7 \text{ K}$).

Unten: Wellenfrontaberration der Optik für den Rand des Feldes unter Berücksichtigung der thermischen Linse (maximale Abweichung $0,11 \lambda$).



Aufgabenstellung

Zur Auslegung optischer Systeme werden Konzepte auf der Basis nicht-bildgebender Optiken angewandt. Das Vorgehen zielt auf die Abbildung einer Leuchtdichte-Verteilung einer beliebigen Quelle auf die gewünschte räumliche Verteilung der Intensität auf einer Targetfläche. Gesucht ist diejenige reflektierende optische Fläche, mit der bei vorgegebener Verteilung der einfallenden Strahlung die gewünschte Abbildung erreicht wird.

Die mathematische Aufgabenstellung besteht darin, ein partielles Differentialgleichungssystem von elliptischem Typ zu lösen. Die gestellte Aufgabe ist nicht eindeutig lösbar. Um eine eindeutige Lösung auszuwählen, wird eine weitere Bedingung für die geometrische Form des Randes der Freiformfläche vorgegeben.

Vorgehensweise

Verschiedene Methoden zur Berechnung optischer Freiformflächen wurden untersucht: Direkte Lösung der elliptischen Differentialgleichung auf dem Gitter durch Multigrid-Verfahren, Least-Square-Verfahren als auch die Transformation auf gewöhnliche Differentialgleichungen.

Ergebnisse und Anwendungen

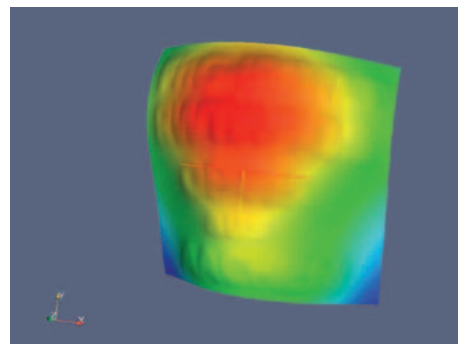
Zur Kontrolle des Fehlers der implementierten Berechnungsmethode werden verschiedene Intensitätsverteilungen betrachtet, auf die von einer radialen Leuchtdichteverteilung aus abgebildet wird (Bild oben). Mit welcher Qualität die berechnete Oberfläche tatsächlich die vorgegebene Intensitätsverteilung reproduziert, wird mit dem kommerziellen Raytracing-Programm ZEMAX geprüft.

Optische Freiformflächen können als Ersatz für Masken-Verfahren z. B. bei der Lithographie eingesetzt werden. Ihr Vorteil gegenüber maskenbasierten Verfahren liegt in der effizienteren Ausnutzung der zur Belichtung bereitzustellenden Strahlung.

Ansprechpartner

Dr. Rolf Wester
Telefon 0241 8906-401
rolf.wester@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon 0241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Berechnete Freiformfläche.
Unten: Aus der Freiformfläche Bild oben resultierende Intensitätsverteilung.



Aufgabenstellung

Die Mikroskopie mit weicher Röntgenstrahlung im Spektralbereich des Wasserfensters ist ein hochauflösendes Verfahren zur Untersuchung dicker wässriger biologischer Proben. Tomographische Bildgebung ermöglicht, das Potential der Röntgenmikroskopie voll auszuschöpfen. Die Erzeugung des hierzu erforderlichen Photonenflusses auf der Probe ist gegenwärtig nur an Synchrotronstrahlquellen möglich. Die Entwicklung leistungsfähiger kompakter Strahlquellen ermöglicht den Bau von Röntgenmikroskopen im Labormaßstab.

Vorgehensweise

Gepulste Hochstrom-Gasentladungsquellen wurden als Lichtquelle für die Lithographie mit extrem ultravioletter Strahlung untersucht. Das in diesem Zusammenhang entwickelte Konzept des hohlkathodengezündeten Pinchplasmas wurde zur effizienten Emission von Linienstrahlung bei 2,88 nm skaliert und so eine leistungsstarke Quelle für die Mikroskopie mit weicher Röntgenstrahlung geschaffen. Zur Lichterzeugung wird das Arbeitsgas von einem Strompuls wiederholt ionisiert und kurzzeitig auf Temperaturen von mehreren hunderttausend Grad Celsius aufgeheizt. Ein Teil der so eingekoppelten Energie wird in Form charakteristischer Röntgenstrahlung emittiert.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Quelle erreicht eine Strahlstärke von $4 \cdot 10^{13}$ Photonen/(sr·Puls) für den $1s^2$ - $1s2p$ Übergang von heliumähnlichem Stickstoff. Bei einer Repetitionsrate von 1000 Hz kann unter Verwendung einer angepassten Kollektroptik ein Photonenfluss von $1 \cdot 10^7$ Photonen/($\mu\text{m}^2 \cdot \text{s}$) auf der Probe erzielt werden. Dieser Fluss ermöglicht mikroskopische Aufnahmen dicker wässriger Proben mit einer Belichtungszeit von etwa zehn Sekunden.

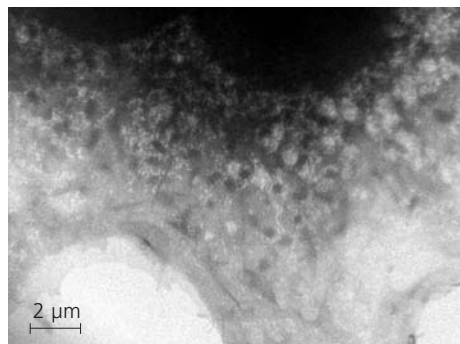
In Zusammenarbeit mit dem Institut für Röntgenoptik der Fachhochschule Koblenz wurde ein Mikroskop-Demonstrator aufgebaut. Es wurde eine Auflösung von unter 40 nm bei Belichtungszeiten im Bereich einiger Sekunden erzielt. Durch die Integration einer angepassten Kollektroptik und durch weitere Steigerung der Brillanz soll eine Lichtquelle für ein kommerzielles tomographiefähiges Röntgenmikroskop erstellt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Markus Benk
Telefon 0241 8906-137
markus.benk@ilt.fraunhofer.de

Dr. Klaus Bergmann
Telefon 0241 8906-302
klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Willi Neff
Telefon 0241 8906-142
willi.neff@ilt.fraunhofer.de



Fibroblast eines Rattenembryos (Röntgenmikroskopische Aufnahme).



Aufgabenstellung

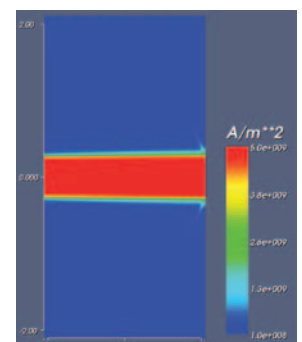
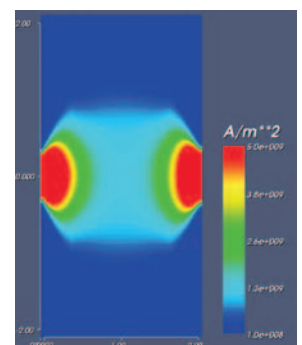
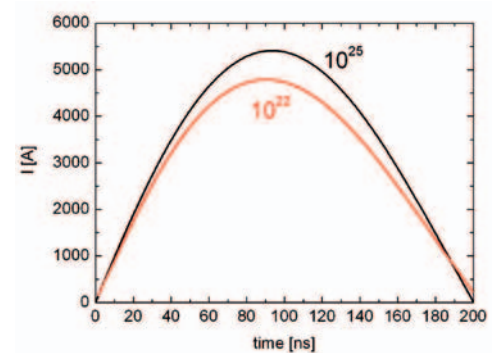
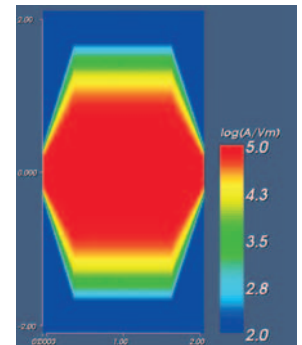
Wird extrem-ultraviolette (EUV-) Strahlung mit einer elektrischen Entladung (Vakuumbogen) erzeugt, so fließt ein Strom von mehreren k-Ampere im Plasma. Die dabei auftretenden elektromagnetischen Felder und das Plasma des Vakuumbogens beeinflussen sich gegenseitig. Bei hinreichend großem Magnetfeld wird die Stromverteilung im Plasma durch den Hall-Effekt bestimmt. Im Folgenden wird anhand eines Modellplasmas der Einfluss der Elektronendichte auf den Hall-Effekt und damit auf die Stromverteilung dargestellt.

Vorgehensweise

Eine Ladegerät mit einer Kapazität ($C = 200 \text{ nF}$), einer Induktivität ($L = 20 \text{ nH}$) und einer Ladespannung ($U = 2 \text{ kV}$) wird über ein Plasma entladen. Das Plasma ist durch eine räumlich variierende Leitfähigkeit (Bild oben) und eine konstante Elektronendichte gegeben. Zum Zeitpunkt $t = 0$ beginnt die Entladung und der Strom fließt durch das Plasma (Bild Mitte). Die zeitliche Entwicklung der Stromstärke wird über die Kreisgleichung berechnet. Die räumliche Verteilung des Stroms wird über das Magnetfeld bestimmt. Das Magnetfeld ergibt sich mit der Lösung der magnetischen Diffusionsgleichung, welche aufgrund des Hall-Effektes nicht-linear ist. Kreisgleichung und Diffusionsgleichung werden numerisch gelöst.

Ergebnisse und Anwendungen

Der zeitliche Verlauf der Stromstärke ist für die Elektronendichten von 10^{22} und $10^{25} \text{ [1/m}^3\text{]}$ berechnet worden (Bild Mitte). Im Fall der kleineren Dichte wird der Stromfluss aufgrund des Hall-Effektes behindert. Die Stromdichte ist zum Zeitpunkt 40 ns dargestellt. Bei der höheren Dichte folgt der Stromverlauf der Leitfähigkeitsverteilung (Bild unten). Der Hall-Effekt spielt hier keine Rolle. Bei der geringeren Dichte wird der Stromverlauf zur Symmetrieachse geschoben und der Strom wird durch einen geringeren Querschnitt getrieben (Bild ganz unten).



Ansprechpartner

Dr. Mirko Aden
Telefon 0241 8906-469
mirko.aden@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon 0241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

Oben: Verteilung der Leitfähigkeit des Modellplasmas zwischen den Elektroden (Positionen 0 und 2).
Mitte: Zeitlicher Verlauf der Stromstärke.
Unten: Stromdichte nach 40 ns, Elektronendichte $10^{25} \text{ [1/m}^3\text{]}$.
Ganz unten: Stromdichte nach 40 ns, Elektronendichte $10^{22} \text{ [1/m}^3\text{]}$.



Aufgabenstellung

Die Mach-Zehnder Interferometrie ermöglicht eine hochgenaue Messung des Phasenunterschieds zwischen Lichtwellen. Bei Verwendung einer Weißlichtquelle wird neben einer großen Phasenauflösung auch eine große Ortsauflösung erzielt. Auf diesem Weg können Präzisionsmessungen des Brechungsindex und der Dicke transparenter Materialien vorgenommen werden. Darüber hinaus ist die Weißlichtinterferenz auch eine starke Kontrastform für die Mikroskopie. Diese Messmöglichkeiten werden in automatisierter Form für eine Vielzahl von Anwendungen im Bereich Zellbiologie, Medizin und Materialforschung bereitgestellt.

Vorgehensweise

Die besonderen Merkmale der Mach-Zehnder Interferenzmikroskopie werden durch die Auswahl wellenoptisch identischer Linsen und eine Justagegenauigkeit von Bruchteilen einer Wellenlänge erreicht. Mit dem Ziel die Anwenderfreundlichkeit der Technik zu vergrößern und einen effizienten Einsatz bei großer Probenanzahl zu ermöglichen, wurden die Justage und Messung mit dem Interferometer automatisiert. Damit kann eine große Vielfalt von Anforderungen bezüglich der Probenabmessungen und Messgenauigkeit bedient werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Es wurden umfangreiche Messungen an einer breiten Auswahl von Objekten aus den Bereichen Life Science und Materialforschung durchgeführt. Im Bereich Ökologie wurden an einer Auswahl verschiedener Blaualgenspezies Messungen der Zelltrockenmasse und des Kohlenstoffinhalts einzelner Zellen unter variablen Wachstumsbedingungen durchgeführt, mit dem Ziel neue Standardwerte für ökologische Modellrechnungen abzuleiten. Für pharmakologische Tests konnte mittels der Interferenzmikroskopie gezeigt werden, dass sich Reaktionen der Zellmembran durch Änderungen in der optischen Dichte nachweisen lassen. Im Rahmen der Qualitätsprüfung optischer Gläser konnten interferometrische durch polarisationsoptische Messungen ergänzt werden. Dies dient als Grundlage für automatisierte Prüfsysteme in der Materialforschung und -analyse.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Daniel Mahlmann
Telefon 0241 8906-172
daniel.mahlmann@ilt.fraunhofer.de

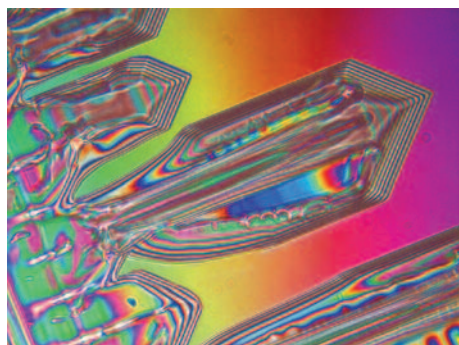
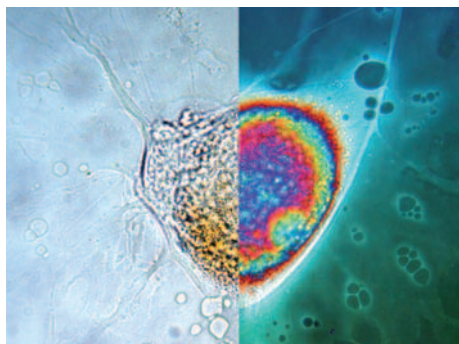
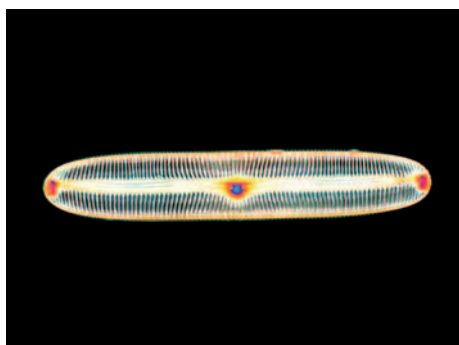
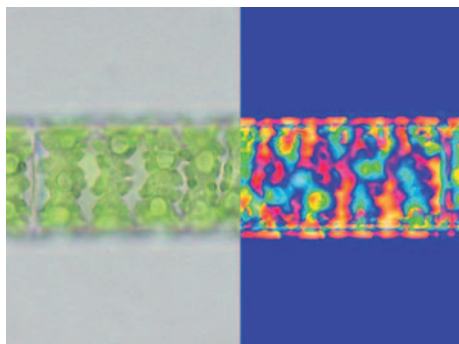
Dr. Jochen Stollenwerk
Telefon 0241 8906-411
jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de

Oben: Grünalge im Vergleich: mikroskopisches Hellfeld (links) und Phasenmessung (rechts).

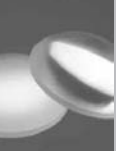
Mitte: Kieselalge im Interferenzkontrast.

Unten: Neuron im Vergleich: Hellfeld (links) und Interferenzkontrast (rechts).

Ganz unten: Kristallwachstum im Interferenzkontrast.



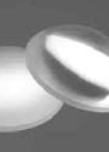




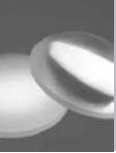
Zu den Fertigungsverfahren, mit denen sich das Geschäftsfeld befasst, zählen die Trenn- und Fügeverfahren in Mikro- und Makrotechnik sowie die Oberflächenverfahren. Die angebotenen Dienstleistungen reichen von der Verfahrensentwicklung für die Herstellung branchenspezifischer Produkte und die Integration dieser Verfahren in Produktionslinien über Simulationsdienstleistungen für Laserapplikationen bis zur Musterfertigung zur Unterstützung des Serienanlaufes. Die Stärke des Geschäftsfelds beruht auf dem umfangreichen Prozess-Know-how, das auf die Kundenanforderungen jeweils zugeschnitten wird. Neben den Prozessentwicklungen bietet das Geschäftsfeld durch Nutzung ausgewählter Technologienetzwerke komplette Systemlösungen an. Dem Kunden werden laserspezifische Problemlösungen angeboten, die Konstruktion, Werkstoff, Produktdesign, Produktionsmittel und Qualitätssicherung mit einbeziehen. Neben dem Zielmarkt Materialbearbeitung spricht das Geschäftsfeld ebenfalls Kunden aus den Bereichen Medizintechnik, Biotechnologie und Chemie an.



Polieren von Glas- und Kunststoffoptiken mit Laserstrahlung. Laserpolierte und unpolierte BK7-Linse.

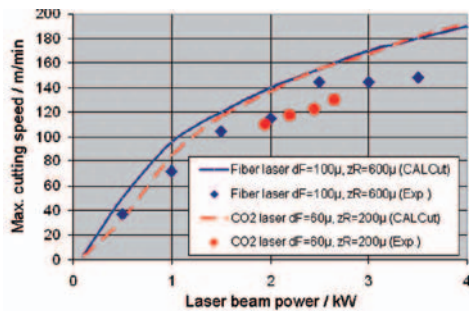


Hochgeschwindigkeitsschneiden von Elektroblech mit CO ₂ - oder Faserlaser?	66	Selective Laser Melting (SLM) und Reaktionslasersintern von Spinellkeramik	80	Laserstrahl-Glasfritbonden von Silizium und Glas	95
Hochgeschwindigkeitsschneiden von Automobilstählen mit Faserlaser	67	Generative Fertigung von bioresorbierbaren Implantaten mittels SLM	81	Bohren von keramischen Faserverbundwerkstoffen (CMC)	96
Schneiden von Aluminium mit Scheibenlaser und Kombikopf	68	Herstellen von Kontaktpunkten auf Bipolarplatten von Direkt-Methanol-Brennstoffzellen	82	Fertigung von Hochdruckdüsen für das Wasserstrahlentgraten	97
Einflüsse von Leistung, Strahlqualität und Wellenlänge auf den Laserschneidprozess	69	Laserstrahlbehandlung von Nanoschichten	83	Herstellung hochpräziser Mikrobohrungen mittels Laserstrahl-Wendelbohren	98
Simulation und Diagnose Schneiden	70	Strukturieren durch Umschmelzen	84	Bohren mit Nanosekunden-Doppelpulsen	99
Schweißen von Aluminium mit Scheibenlaser und Kombikopf	71	Herstellung von Spritzgusswerkzeugen für Lichtleitstrukturen	85	Präzisionsbohren mit Femtosekunden-Laserstrahlung	100
Simulation Rohrschweißen	72	Funktionale Oberflächen	86	Bestimmung des Temperaturfelds mittels Thermografie während des Laserstrahlbohrens	101
Simulation des Verzugs beim Schweißen: Strukturelle Stabilität von reduzierten Modellen	73	Laserpolieren von Freiformflächen	87	Simulation »Laser-Drill«	102
Simulation »LaserWeld3D«	74	Polieren von Glas- und Kunststoffoptiken mit Laserstrahlung	88	Lasergestütztes Drucken von Zellen und bioaktiven Substanzen	103
Simulation: Schweißen artungleicher Werkstoffe	75	Laserstrahl-Mikroschweißen von Solarzellen	89	Integrierte planare Wellenleiter hergestellt mittels Pulsed Laser Deposition (PLD)	104
Korrosions- und Verschleißschutz von Magnesiumlegierungen durch Laserstrahl-Auftragschweißen	76	Neue Konzepte zum Laserstrahl-Punktschweißen mit Faserlasern	90	Trennen von Saphir durch selektives laserinduziertes Ätzen	105
Herstellung von Druckgieß-Werkzeugeinsätzen aus Gradientenwerkstoffen durch Laserstrahl-Auftragschweißen	77	Pyrometergeregeltes Laserstrahlhartlöten	91	Mikrokanäle in Glas und Saphir durch selektives laserinduziertes Ätzen	106
Generative Fertigung von Aluminiumbauteilen mit minimalem Verzug	78	Laserstrahlfügen hybrider Metall-Kunststoffbauteile	92	Wellenleiter im Volumen laseraktiver Gläser durch Brechungsindexmodifikation	107
Generative Fertigung von Bauteilen aus hochfester Keramik mit Selective Laser Melting	79	TWIST® - Erweiterung der Prozessgrenzen beim Laserstrahlschweißen von Kunststoffen	93	Ultraschnelle Weißlicht-Interferenz-Mikroskopie	108
		Lasertransmissionsbonden von Silizium mit Silizium	94		



Aufgabenstellung

Beim Hochgeschwindigkeitsschneiden von Feinblech mit Festkörperlasern können bis in den Blechdickenbereich von 1 mm Schneidgeschwindigkeiten über 100 m/min erreicht werden. Brillante Festkörperlaser wie Faser- oder Scheibenlaser liefern gerade bei geringen Blechdicken einen gegenüber CO₂-Lasern verbesserten Prozesswirkungsgrad. Ein experimenteller und theoretischer Vergleich zwischen CO₂- und Festkörperlasern soll quantitative Ergebnisse liefern.



Tolerantere Prozesse durch besseren Prozesswirkungsgrad: Bei gleicher Schneidgeschwindigkeit erlaubt die Nutzung der Wellenlänge 1 µm eine dreimal größere Rayleighlänge.

Vorgehensweise

Für den experimentellen Vergleich wurden die Maximalgeschwindigkeiten, die sich mit einem CO₂-Laser erzielen lassen, verglichen mit denen eines Faserlasers mit einer Prozessfaser von 100 µm Durchmesser. Beide Strahlquellen liefern damit die gleiche Strahlqualität: etwa 3,8 mm x mrad. Für die Wahl des Prozessfaserdurchmessers von 100 µm war ferner entscheidend, dass im Gegensatz zu noch kleineren Faserdurchmessern damit als anwendungsorientierte Randbedingung der Einsatz ausreichend langer und einfach tauschbarer Prozessfasern durch Faser-Faserkopplung oder der Einsatz einer Strahlweiche möglich wird. Die Maximalgeschwindigkeiten wurden leistungsabhängig an 0,27 mm dicken Elektroblechen ermittelt. Durch Simulationsrechnungen mit dem Programm CALCut können die experimentellen Maximalgeschwindigkeiten mit den theoretischen Grenzwerten verglichen werden.

Ergebnisse und Anwendungen

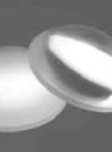
Die Fokussierung des Faserlasers wird so gewählt, dass sie im Vergleich zum CO₂-Laser eine mehr als den Faktor 3 größere Rayleighlänge z_R von 0,7 mm ergibt und damit einen deutlich robusteren, abstandstoleranteren Prozess gewährleistet. Aufgrund der höheren Absorption bei der Wellenlänge 1 µm werden mit dem Faserlaser trotz des größer gewählten Fokusdurchmessers d_F (s. Bild) sogar etwas größere Maximalgeschwindigkeiten realisiert. Die Ergebnisse stimmen in guter Näherung mit den CALCut-Simulationsrechnungen überein.

Mit der hier gezeigten Steigerung von Prozesstoleranzen ohne Reduzierung der Geschwindigkeit ergibt sich neues Optimierungspotenzial zur Auslegung robuster (toleranter) und gleichzeitig hochproduktiver (schneller) Prozesse für Anwendungsfelder mit Linearbewegung, z. B. Besäumen oder Längsteilen, in denen die großen Geschwindigkeiten vollständig umgesetzt werden können. Bei 2-D- oder 3-D-Anwendungen können entsprechend der verfügbaren Anlagendynamik die erforderlichen Laserleistungen durch den Einsatz von robusten und effizienten Prozessen reduziert werden.

Ansprechpartner

Dr. Frank Schneider
Telefon 0241 8906-426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon 0241 8906-210
dirk.petrting@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Die Lasertechnik steht im Bereich Schneiden vor neuen Herausforderungen. Eine davon ist die konsequente Umsetzung der hohen Fokussierbarkeiten von Faserlasern im Multi-Kilowattbereich in höhere Schneidgeschwindigkeiten für die Blechbearbeitung. Hierzu gilt es, die physikalischen Prozessgrenzen durch Simulationsrechnungen zu ermitteln und praktisch umzusetzen.

Vorgehensweise

Innerhalb mehrerer Machbarkeitsstudien wurden für industrielle Anwender diverse sowohl unbeschichtete als auch verzinkte und alumierte Stahlwerkstoffe unterschiedlicher Festigkeiten inklusive ultrahochfester Werkstoffe im Dickenbereich zwischen 0,7 mm und 2,5 mm bezüglich der erzielbaren Schneidgeschwindigkeiten und Schnittqualitäten untersucht. Zum Einsatz kam ein 4 kW Faserlaser YLR4000 der Firma IPG mit einem Faserdurchmesser von 50 μm . Anhand von Simulationsrechnungen mit dem Programm CALCut wurden wesentliche Parameterabhängigkeiten und die physikalischen Prozessgrenzen für die Schneidgeschwindigkeit ermittelt.

Ergebnisse und Anwendungen

Nach einer systematischen, simulationsgestützten Parameteroptimierung werden Schneidgeschwindigkeiten realisiert, die bisher undenkbar waren. Sie betragen ein Vielfaches der Werte, die bei gleicher Ausgangsleistung mit CO₂-Lasern erreicht werden. Die in den

Untersuchungen praktisch erzielten Maximalgeschwindigkeiten betragen mindestens 80 Prozent und häufig über 90 Prozent der mit CALCut berechneten physikalischen Grenzgeschwindigkeiten. Qualitätsschnitte mit Barthöhen unter 100 μm , Rauheitswerten R_z von höchstens 10 bis 20 μm und anwendungsgerechter Breite des Prozessfensters liegen typischerweise etwa 10 - 15 Prozent unterhalb der Maximalgeschwindigkeit. Zurzeit werden die prozesstechnischen Grenzen durch weitere Optimierung von Optik- und Düsenparametern erweitert.

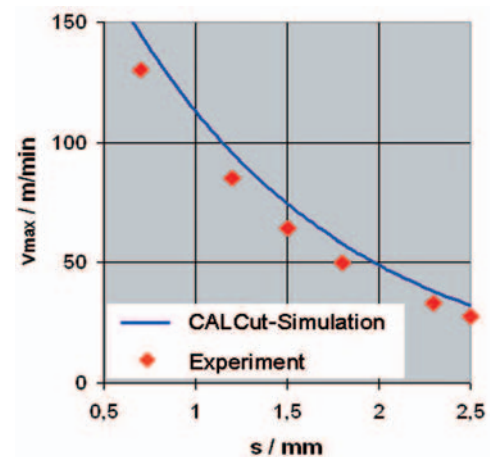
Neben Anwendungen für die Automobilfertigung können auch andere Branchen von der flexiblen und produktiven Blechbearbeitung profitieren. Bei Anwendungen, für die die hohen Schneidgeschwindigkeiten nicht erforderlich sind oder aufgrund der kinematischen Maschinengrenzen nicht umgesetzt werden können, profitiert der industrielle Nutzer von dem deutlich geringeren Laserleistungsbedarf, der flexiblen Faserkopplung und den geringeren Betriebskosten, die die neuen Entwicklungen auszeichnen.

Ansprechpartner

Dr. Frank Schneider
Telefon 0241 8906-426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de

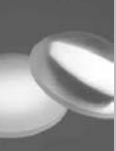
Vahid Nazery Goneghany
Telefon 0241 8906-448
vahid.nazery@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon 0241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



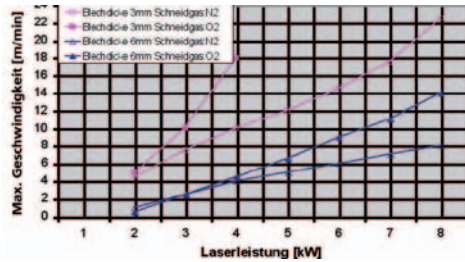
Oben: Prozessleuchten und Schmelzaustrieb beim Hochgeschwindigkeitsschneiden.

Unten: Theoretisch berechnete (CALCut) und praktisch erzielte maximale Schneidgeschwindigkeiten v_{max} als Funktion der Blechdicke s .



Aufgabenstellung

Die Anwendungen von Aluminium sind vielfältig und reichen vom Fahrzeugbau über die Elektrotechnik, den Behälterbau und die Lichttechnik bis hin zum Fassadenbau. In der vorliegenden Studie sollten erste Erfahrungen zum Schneiden der Aluminiumlegierung AlMg3 mit einem multi-kW Scheibenlaser und einem Kombikopf gesammelt werden.



Vorgehensweise

Ein Scheibenlaser TruDisk 8002 mit einer maximalen Ausgangsleistung von 8 kW der Firma Trumpf wurde zusammen mit einem Kombikopf F2-Y der Firma Laserfact bei einem Abbildungsverhältnis von 1:1,5 für diese Aufgaben eingesetzt. Schneiduntersuchen an Blechen der Dicke 1 mm bis 6 mm wurden mit einem konstanten Düsenabstand von 1 mm und den Schneidgasen Stickstoff und Sauerstoff durchgeführt, wobei der Schneidgasdruck in einem Bereich von 5 - 20 bar variiert wurde. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden für unterschiedliche Leistungen bis 8 kW die maximalen Trenngeschwindigkeiten ermittelt.

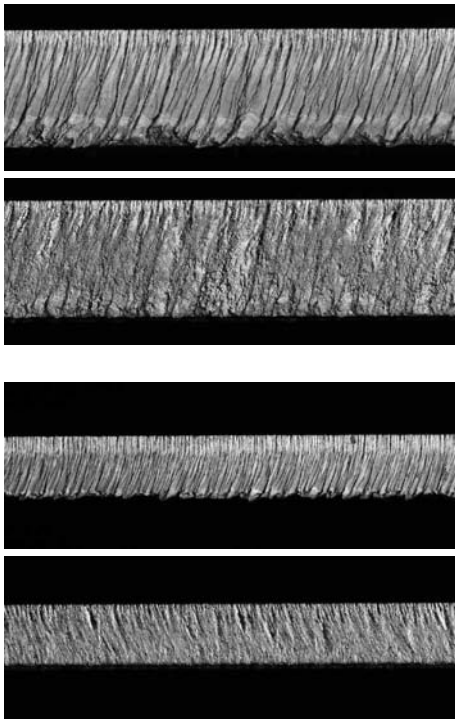
Ergebnisse und Anwendungen

Bleche der Dicke 6 mm konnten mit maximalen Trenngeschwindigkeiten von 8 m/min für Stickstoff und 14 m/min für Sauerstoff geschnitten werden. Der geschwindigkeitsfördernde Einfluss des Sauerstoffs nimmt beim Aluminium mit der Laserleistung deutlich zu. Bei der Blechdicke 2 mm zeigte sich, dass beim Einsatz von Stickstoff sowohl die maximale Trenngeschwindigkeit für dieses Gas als auch eine minimale Bartenhaftung mit Schneidgasdrücken unter 10 bar erzielbar sind. Vergleichsrechnungen mit dem Simulationsprogramm CALCut geben wichtige Aufschlüsse über verschiedene Prozessregime beim Aluminiumschneiden mit Laserstrahlung der Wellenlänge 1 μm .

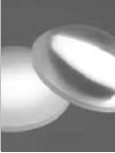
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Norbert Wolf
Telefon 0241 8906-448
norbert.wolf@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon 0241 8906 -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Oben: Maximale Trenngeschwindigkeit.
Mitte: Schnittkante AlMg3, 6 mm, $P_1 = 8 \text{ kW}$,
oben: N_2 , $v_s = 6,4 \text{ m/min}$,
unten: O_2 , $v_s = 11 \text{ m/min}$.
Unten: Schnittkante AlMg3, 3 mm, $P_1 = 4 \text{ kW}$,
oben: N_2 , $v_s = 8 \text{ m/min}$,
unten O_2 , $v_s = 16 \text{ m/min}$.



Aufgabenstellung

Die Herausforderungen und Chancen, die sich mit den neuen fasergekoppelten Strahlquellen im Multi-Kilowatt-Bereich in den letzten Jahren eröffnet haben, erfordern im Bereich des Laserschneidens eine neue Beschäftigung mit den Grundlagen des Fertigungsprozesses. Anwendungstechnische Schneiderfahrungen mit den etablierten CO₂-Lasern sind nicht ohne weiteres auf Scheiben- oder Faserlaser mit ihrer 10-fach kürzeren Wellenlänge übertragbar. Es ist inzwischen klar, dass auf der Basis rein empirischer Parametervariationen Fragen nach den tatsächlichen physikalischen Möglichkeiten und Grenzen nicht beantwortet werden können.

Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT kann auf dem Gebiet des Laserschneidens auf eine mehr als 20-jährige Erfahrung mit wissenschaftlichem und anwendungstechnischem Hintergrund zurückgreifen. Die in diversen industriellen Entwicklungsprojekten vielfach erprobte Simulationssoftware CALCut und das Know-how bezüglich der Optimierung von Laserstrahl- und Gasstrahlparametern sowie zugehöriger Systemkomponenten bilden eine solide Basis zur Analyse der Effekte, die den Laserschneidprozess beim Einsatz der neuen Strahlquellen beeinflussen.

Ergebnisse und Anwendungen

Die theoretischen und praktischen Analysen zeigen, dass einige weitläufig gemachte Aussagen bezüglich der Wechselwirkung von Laserstrahlung der Wellenlänge 1 μm und Stahlwerk-

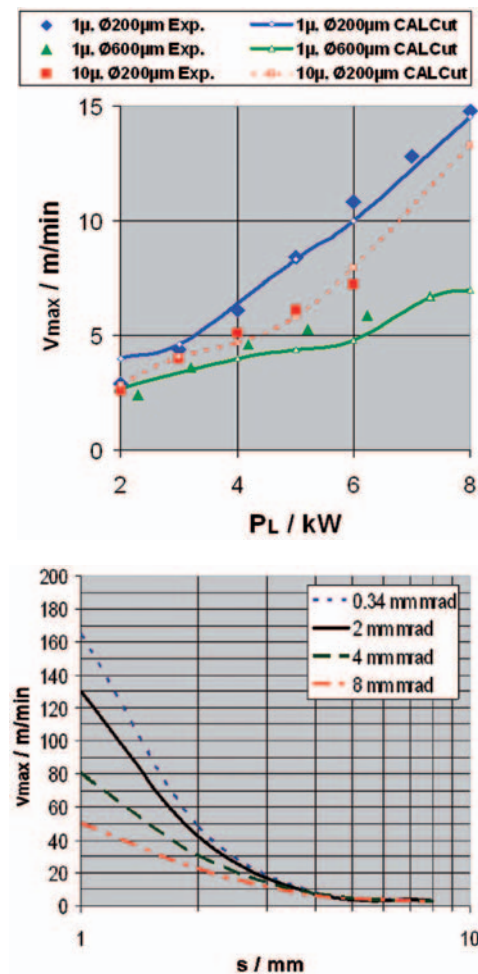
stoffen zu relativieren sind. So vernachlässigt die pauschale Aussage, dass Laserstrahlung der Wellenlänge 1 μm besser absorbiert wird, den physikalischen Mechanismus der vom Einfallswinkel abhängigen Fresnelabsorption, der insbesondere bei schmalen und tiefen Fugen und der kürzeren Wellenlänge zu kleineren Absorptionsgraden führt. Andererseits wurde die mehrfach geäußerte Spekulation widerlegt, dass eine Wellenleitung in tiefere Fugenbereiche mit der 1 μm Wellenlänge im Gegensatz zur 10 μm Wellenlänge des CO₂-Lasers nicht stattfindet und nicht nutzbar ist. Vielmehr zeigen Simulationen mit CALCut die spezielle Bedeutung der Mehrfachreflexion und damit der Wellenleitung für die 1 μm -Strahlung. Der Vergleich von theoretischen und praktischen Schneidergebnissen weist das nach. Außerdem wurde gezeigt, unter welchen Bedingungen sich Strahlqualität lohnt und in welchem Blechdickenbereich die kürzere Wellenlänge von 1 μm schon heute wirtschaftliche Vorteile bietet. Weitere Simulationsrechnungen und praktische Schneiduntersuchungen werden das Nutzungspotenzial für die neuen Strahlquellen ausdehnen aber auch zeigen, wo sie gegenüber den CO₂-Lasern ihre Grenzen haben.

Ansprechpartner

Dr. Frank Schneider
Telefon 0241 8906-426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Norbert Wolf
Telefon 0241 8906-448
norbert.wolf@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon 0241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Oben: Vergleich der mit CALCut berechneten und praktisch erzielten maximalen Schneidgeschwindigkeiten v_{max} in 4 mm Edelstahl als Funktion der Laserleistung P_L für unterschiedliche Wellenlängen und Fokus- bzw. Faserdurchmesser (Abbildungsverhältnis 1:1).

Unten: Mit CALCut berechnete maximale Schneidgeschwindigkeiten v_{max} als Funktion der Blechdicke s für unterschiedliche Strahlqualitäten (Baustahl, Laserwellenlänge 1 μm).

Aufgabenstellung

Die wissenschaftlich-technische Aufgabenstellung zum Laserstrahlschneiden von metallischen Werkstoffen besteht darin, ein »selbstoptimierendes« Einrichten der Schneidmaschine zu erreichen. Die wissenschaftliche Grundlage einer »Selbstoptimierung« ist erreicht, wenn das Verständnis über das Schneiden ausreicht, um eine Systematik zum Einrichten anzugeben. Die technischen Voraussetzungen sind eine Diagnose des aktuellen Systemzustands und ein in die Maschine implementiertes Verständnis darüber, wie die einstellbaren Schneidparameter zu optimieren sind. Um diese Aufgabenstellung genauer zu untersuchen, sind Methoden zur Diagnose und Simulation des physikalischen Prozesses, zur Überwachung des Schneidens und zur Implementierung des gewonnenen Verständnisses in die Maschine zu erarbeiten.

Vorgehensweise

Die Implementierung des gewonnenen Verständnisses in die Maschine wird durch Auffinden eines Metamodells erreicht. Das Metamodell enthält eine mathematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Schnittqualität, den Messgrößen und den eingestellten Verfahrensparametern. Bei der Erstellung eines Metamodells werden die Ergebnisse aus Simulation und Diagnose zusammengeführt. Durch Diagnose und Simulation des physikalischen Prozesses wird besseres Verständnis über die Wirkung der Verfahrensführung auf die Qualität der Schnittkante erreicht. Eine detaillierte Kenntnis der Hierarchie dominanter Parameter in Abhängigkeit der aktuell vorliegenden Prozessdomäne ist die Grundlage zum Auffinden einer geeigneten Systematik zum Einrichten der Schneidmaschine.

Ergebnisse und Anwendungen

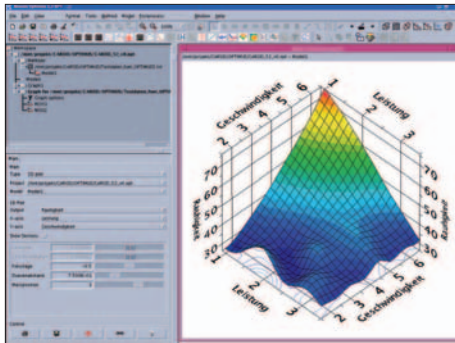
Ein Vergleich der kommerziell verfügbaren Software zur Metamodellierung zeigt, dass die Behandlung dynamischer Systeme und die Berücksichtigung von Schwankungen der Parameter und Kriterien Gegenstand der Forschung sind. Der Vergleich von Diagnose und Simulation mit dem Metamodell (Bild oben) gibt Hinweise darauf, wie die Methoden zur Diagnose und Simulation zu erweitern bzw. zu verfeinern sind. Die Simulation der kompressiblen, reibungsbehafteten Schneidgasströmung zeigt, welche Wirkungen der Verfahrensparameter bzw. deren Schwankungen in der Schlierendiagnose beobachtbar sind (Bild unten).

Die vorgestellten Arbeiten werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« gefördert.

Ansprechpartner

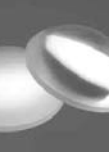
Dr. Jens Schüttler
Telefon 0241 8906-163
jens.schüttler@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon 0241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Das Metamodell erlaubt mathematische Operationen wie eine multikriterielle Optimierung der Daten zum Schneiden.

Unten: Dichtegradient der Schneidgasströmung: Diagnose und Simulation.



Aufgabenstellung

Die Anwendungen von Aluminium sind vielfältig und reichen vom Fahrzeugbau über die Elektrotechnik, den Behälterbau und die Lichttechnik bis hin zum Fassadenbau. In der vorliegenden Studie sollten erste Erfahrungen zum Schweißen der Aluminiumlegierung AlMg3 mit einem multi-kW Scheibenlaser und einem Kombikopf gesammelt werden.

Vorgehensweise

Für die Schweißuntersuchungen wurde der Scheibenlaser TruDisk 8002 der Firma Trumpf mit einer maximalen Ausgangsleistung von 8 kW zusammen mit einem Kombikopf F2-Y der Firma Laserfact bei einem Abbildungsverhältnis von 1:1,5 verwendet. Schweißungen wurden als Einschweißungen und Stumpfstoßschweißungen (Kanten mit dem Kombikopf lasergeschnitten) bei einem Düsenabstand von 6 mm ausgeführt, wobei unterschiedliche Laserleistungen, Schweißgeschwindigkeiten, Fokusslagen und der Einfluss der Schutzgase Argon und Helium bei unterschiedlichen Durchflüssen untersucht wurden.

Ergebnisse und Anwendungen

Insbesondere die Fokusslage hat signifikanten Einfluss auf die Einschweißtiefe und die Qualität der Nahtoberraupe. Eine Defokussierung reduziert zwar die Einschweißtiefe, führt aber zu einer deutlich regelmäßigeren Oberraupe. Gasart und Durchflussmenge üben demgegenüber einen deutlich geringeren Einfluss auf Einschweißtiefe und Nahtoberraupe aus. Eine weitere Qualitätsverbesserung konnte bei den Stumpfstoßverbindungen durch einen Wurzelschutz und den Einsatz einer Doppelfokussoptik erzielt werden. Zukünftige Entwicklungsarbeiten sollen auf diese Ergebnisse aufbauen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Norbert Wolf
Telefon 0241 8906-448
norbert.wolf@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon 0241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Oben: Oberraupe und Wurzel, Stumpfstoß AlMg3, 3 mm, $P_1 = 4 \text{ kW}$, $v_s = 3 \text{ m/min}$, Doppelfokus mit Wurzelschutz Ar.
Unten: Querschliff.

Aufgabenstellung

Die Anwenderfragestellung zum Feinschweißen von rohrförmigen Bauteilen mit mehreren Schichten aus metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen besteht darin, ein Prozessfenster zum gasdichten Schweißen aufzufinden. Die Wirkung von Toleranzen für die Bauteil- und Verfahrensparameter auf die Temperatur ist anzugeben. Die Wirkungen der Parameter auf die Dichtheit, die Porenbildung und die Spaltüberbrückung sind genauer zu untersuchen und im Hinblick auf eine geeignete Verfahrensführung zu analysieren.

Vorgehensweise

Die Untersuchungen zur Simulation zielen auf ein besseres Verständnis der Wirkung von Bauteil- und Verfahrensparametern auf die zeitlich und räumlich variierende Temperatur, die Porenbildung sowie Dichtheit und den Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen.

Die Simulation wird durch Untersuchungen zur off-line Diagnose geleitet. Durch Diagnose der Nahtform, der Porenbildung und der Rissbildung werden diejenigen Parameter angegeben, mit denen das Erreichen der Grenzen des sicheren Prozessfensters sicher vermieden werden kann.

Ergebnisse und Anwendungen

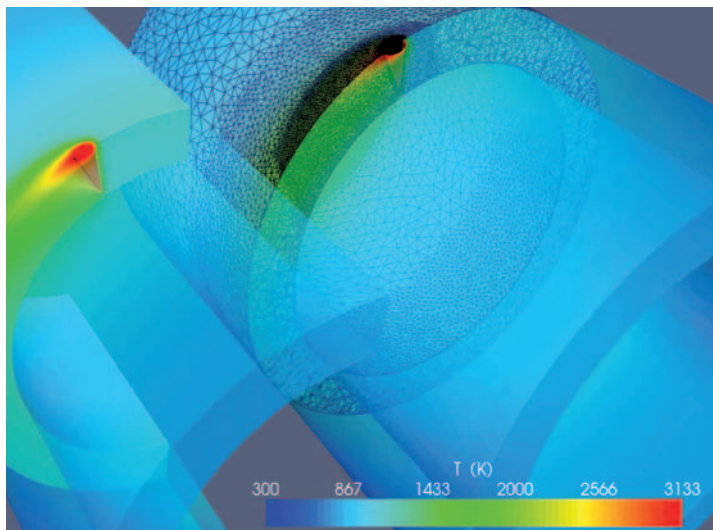
Im Ergebnis werden das gesuchte Prozessfenster und zulässige Toleranzen der Parameter angegeben, mit denen die Kriterien einer minimalen Temperaturbelastung des Bauteils und eine sichere Einschweißung erreichbar sind. Das Zusammenwirken von räumlicher Verteilung, Ausbreitung und Absorption der Laserstrahlung, der Ausbildung einer Schweißkapillare und der Temperatur im geschichteten Bauteil sind wesentliche Phänomene, die von der Simulation erfasst werden. Die Simulation zeigt den Einfluss von Spalten auf die Einschweißtiefe. Mit thermomechanischen Rechnungen wird die Grenze zum Erreichen der Bruchspannung abgeschätzt. Aus der Nahtform und der Strahlausbreitung in der Schweißkapillare wird die Tendenz zur Porenbildung angegeben.

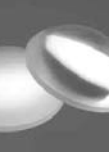
Ansprechpartner

Ulrich Jansen
Telefon 0241 8906-163
ulrich.jansen@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon 0241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

Simulation der Kapillarform, der transienten Temperatur beim Rohrschweißen.





Aufgabenstellung

Die Schweißverzugssimulation ist industriell nicht eingeführt, da die Qualität der Ergebnisse nicht ausreicht. Um etwa eine kleinere Berechnungszeit zu erreichen, werden Vereinfachungen der Modelle angegeben, deren Eigenschaften nicht ausreichend untersucht sind. Eine systematische Untersuchung der strukturellen Stabilität soll die sensitive Abhängigkeit der numerischen Lösung von einer schrittweise reduzierten Modellstruktur aufzeigen.

Vorgehensweise

Die Untersuchung erfolgt mit Fokussierung auf drei industrierelevante Bauteile (Getriebezahnrad, Mikrobauerteil, Karosseriebauteil) und drei Stahlwerkstoffe. Die numerischen und analytischen Lösungen für Verzug und Eigenspannungen werden zunächst an Bauteilen mit reduzierter geometrischer Kompliziertheit verglichen (Bild oben). Die Sensitivität der Simulationsergebnisse von den Parametern und der Struktur des Modells wird untersucht. Um eine Wärmequelle für die FEM-Simulationen des Verzugs beim Schweißen zu gewinnen, wird eine effiziente hybride Simulation der Schweißkapillare und der Temperatur im Bauteil entwickelt.

Ergebnisse und Anwendungen

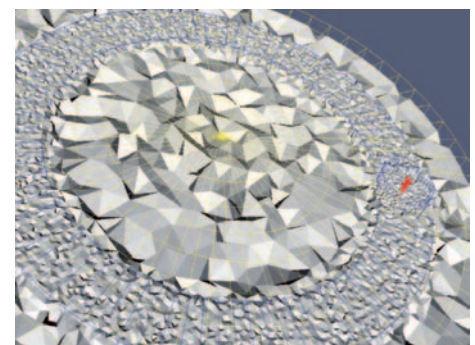
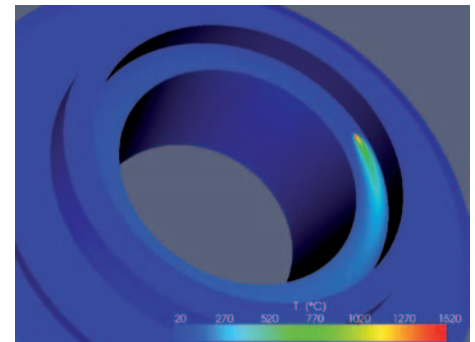
Die bestehende Simulation des Prozessmodells zum Schweißen wird erweitert, um die Eigenschaften der Wärmequelle in Abhängigkeit der geometrischen Form des Bauteils und der Nahtform zu erfassen. Die Annäherung des Schmelzbades an die Bauteilgrenzen wird durch eine Rückwirkung der Temperatur im Bauteil auf die Form der Schweißkapillare beschrieben. Im Ergebnis wird die Lösung eines hybriden Modells berechnet. Das hybride Modell besteht aus einem reduzierten Modell zur Berechnung der Schweißkapillare und einer FEM-Berechnung der Temperatur. Die Oberfläche der Schweißkapillare wird in ein Volumennetz zur Berechnung der Temperatur eingebettet (Bild unten).

Die vorgestellten Arbeiten werden von der Forschungsvereinigung Stahlanwendung FOSTA gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Stefan Pfeiffer
Telefon 0241 8906-153
stefan.pfeiffer@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon 0241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Hybride Simulation des Schweißens eines Zahnrads.
Unten: Vernetzung des Bauteils, der Nahtform und der Schweißkapillare.

Aufgabenstellung

Die Eigenschaften des Produkts nach dem Schweißen enthalten neben der Vorgeschichte des Werkstoffs auch die Umwandlungen während der Fertigung. Die Aufgabenstellung besteht darin, die Veränderung des Werkstoffs aus einem Modell zur Gefügebildung in der Prozesssimulation des Schweißens zu berücksichtigen. Die zusätzlichen Eigenschaften des größeren Modells aufgrund der Kopplung werden genauer untersucht. Die mehrskalige thermophysikalische Modellierung erlaubt die Berücksichtigung relevanter werkstoffkundlicher Phänomene zu jedem Zeitpunkt einer Prozesskette.

Vorgehensweise

Um eine neue Qualität der Simulation des Schweißens zu erreichen, werden die Modelle zur Berechnung der Schweißkapillare, der Temperatur und Spannung beim Erstarren und bei der Gefügebildung gekoppelt. Die Wechselwirkung erfolgt auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen, die von der Gefügebildung auf der Skala einer Keimbildung und von Modellen des Schweißens auf der Skala der thermischen Eindringtiefe bestimmt sind. Das dynamische Modell des Schweißens und das thermomechanische Modell der Spannungen werden zunächst auf die sensitive Abhängigkeit der Ergebnisgrößen von räumlich variierenden Materialeigenschaften untersucht. Die Bereiche qualitativ unterschiedlicher Lösungseigenschaften (Prozessdomänen) der Teilmodelle werden im Hinblick auf deren Kopplung genauer untersucht.

Ergebnisse und Anwendungen

Das bestehende hybride Modell »Laser Weld3D« beschreibt die Form der Schweißkapillare und die Temperatur im umgebenden Material in Abhängigkeit der Verfahrensparameter. Die Kapillare ist als freie Oberfläche bzw. Absorptions- und Reflexionsfront für die Laserstrahlung ein Teil der Lösung und wird nicht vorgegeben.

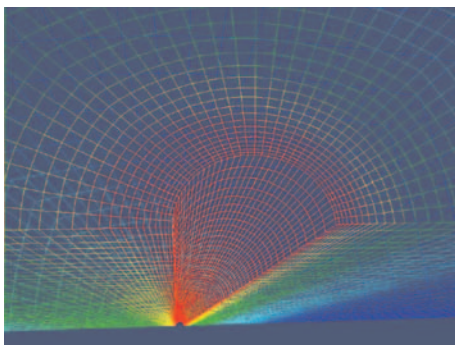
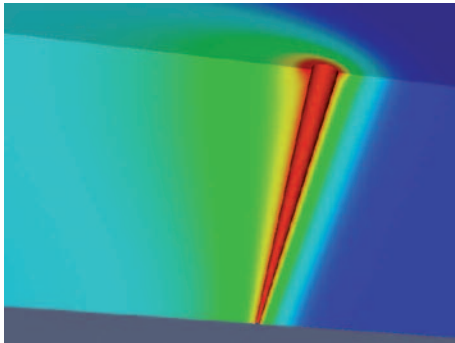
»LaserWeld3D« erlaubt die parametrisierte, algorithmische Erzeugung eines Berechnungsgitters verschiedener Klassen rotations-symmetrischer Werkstücke. Die Maße dieser geometrischen Formen werden in einem Input-File vorgegeben. »LaserWeld3D« berechnet die dreidimensionale Form der Schweißkapillare. Das von den Oberflächen des Bauteils und der Schweißkapillare umschlossene Volumen wird durch einen automatischen Tetraeder-Vernetzer im Volumen mit lokal spezifizierbarer Feinheit vernetzt. Anschließend wird dieses automatisch erzeugte Netz an einen FE-Solver übergeben, der die Wärmeleitungsgleichung im Volumen des Werkstücks löst.

Die vorgestellten Arbeiten werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« gefördert.

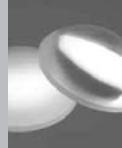
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Stefan Pfeiffer
Telefon 0241 8906-153
stefan.pfeiffer@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon 0241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Hybride Simulation des Schweißens eines Zahnrads.
Unten: Vernetzung des Bauteils, der Nahtform und der Schweißkapillare.



Aufgabenstellung

Die Anwenderfragestellung zum Laserstrahlschweißen von ebenen Bauteilen mit zwei artungleichen Werkstoffen - Aluminium (99.5) und Edelstahl (1.4301) - besteht darin, ein Prozessfenster zum Schweißen mit großer Festigkeit aufzufinden. Die Spezifikationen der Schweißverbindung sind mit den Ergebnissen beim konventionellen Widerstandsschweißen zu vergleichen. Durch Diagnose und Simulation des Verfahrens ist eine bessere Einschätzung der Machbarkeit des Schweißens mit Laserstrahlung zu gewinnen. Moderne Konzepte des Laserstrahl-Mikroschweißens sind anzuwenden und zu verfeinern.

Vorgehensweise

Die Untersuchungen zur Simulation zielen auf ein besseres Verständnis der Wirkung von den Verfahrensparametern auf die zeitlich und räumlich variierende Temperatur, die mit Grundmode Faserlasern erreicht werden, und den Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen.

Die Simulation wird durch Untersuchungen zur off-line Diagnose geleitet. Durch Diagnose der Nahtform, der Aufmischung und der Härte in der Fügezone werden diejenigen Parameter aufgesucht, die zu einer rissfreien Schweißung mit kleiner Ausdehnung des Phasensaums intermetallischer Phasen führen.

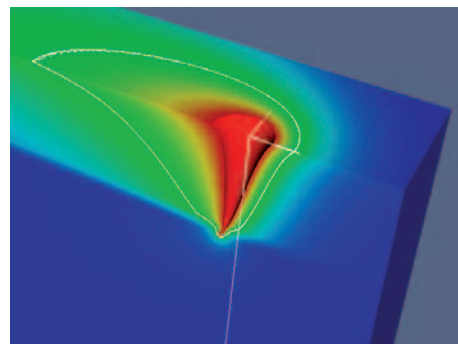
Ergebnisse und Anwendungen

Im Vergleich zum Stand der Technik für das Fügen von Aluminium und Stahl ist die Anwendung von Konzepten des Laserstrahlmikroschweißens mit Grundmode Faserlasern und scannden Optiken besonders geeignet, da eine präzise Einstellung der Einschweißtiefe und der Wärmeeinbringung erreicht wird. Mit der Simulation wird die Wirkung der Verfahrensparameter und die zulässige Abweichung von den Nominalwerten angegeben (Bild oben). Im Ergebnis wird der Zusammenhang zwischen Laserleistung und Geschwindigkeit der Laserstrahlachse relativ zum Werkstück mit der Einschweißtiefe und den Anteilen der artungleichen Werkstoffe in der Schmelzzone angegeben (Bild unten). Durch Abnahme der Wärmeeinbringung wird die Zeitdauer zur Ausbildung intermetallischer Phasen während der Abkühlphase verkleinert. Die Vorschubgeschwindigkeit beeinflusst die Aufmischung des Stahls und dessen Verteilung in der Fügezone.

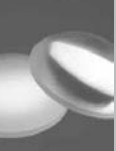
Ansprechpartner

Ulrich Jansen
Telefon 0241 8906-163
ulrich.jansen@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon 0241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Simulation der Kapillarform, des Schmelzbades und der transienten Temperatur.
Unten: Schweißen von Aluminium und Stahl mit dem Faserlaser.



Aufgabenstellung

Bauteile aus Magnesiumlegierungen zeichnen sich durch ihre kleine Dichte, gute Bearbeitbarkeit durch spanende Fertigungsverfahren sowie gute Dämpfungseigenschaften aus und werden für Leichtbaukonzepte in der Luftfahrt (z. B. Gehäusebauteile siehe Bild oben) oder in der Automobiltechnik (z. B. Getriebegehäuse, Motorblock) eingesetzt. Zum Korrosionsschutz werden diese Bauteile mit einer Schutzschicht versehen. Dies erfolgt durch Lackieren, Anodisieren oder thermisches Spritzen. Oftmals bieten diese Schichten aber nicht die erforderliche Festigkeit, Härte und Haftfestigkeit, um auch einen ausreichenden Verschleißschutz zu gewährleisten. Eine mögliche Lösung stellt das Beschichten mittels Laserstrahl-Auftragschweißen dar. Die Herausforderung liegt dabei darin, hochschmelzende Werkstoffe auf ein Substrat mit niedriger Schmelz- und Verdampfungstemperatur aufzubringen. Hierbei muss die Aufmischungszone zwischen beiden Werkstoffen klein sein, da durch die Bildung spröder intermetallischer Phasen eine Schwächung des Verbundes droht.

Vorgehensweise

Zur Herstellung der Verschleiß- und Korrosionsschutzschichten werden im Rahmen von Grundlagenuntersuchungen mittels pulverbasiertem Laserstrahl-Auftragschweißen verschiedene Zusatzwerkstoffe auf Substrate aus verschiedenen Magnesiumlegierungen (AZ31B, AZ91D, AE42, ZE41) aufgebracht. Diese Beschichtungen werden einlagig oder mehrlagig als Verbundschichten hergestellt und anschließend hinsichtlich Gefügeausbildung sowie der Korrosions- und Verschleißigenschaften untersucht.

Ergebnisse und Anwendungen

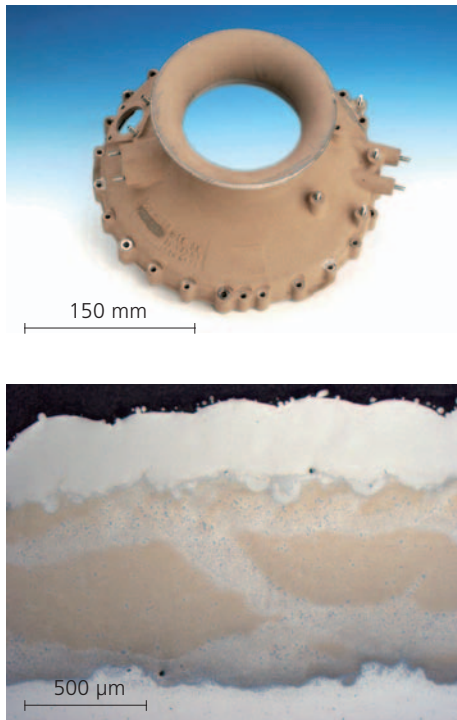
Durch die Wahl geeigneter Verfahrensparameter werden erfolgreich defektfreie Schichten aus AlSi-Legierungen auftraggeschweißt. Diese Schichten bieten einen guten Korrosionsschutz und einen ausreichenden Verschleißschutz bei mäßiger Beanspruchung. Für höhere Ansprüche an die Verschleißbeständigkeit wird die AlSi-Schicht als Pufferzone genutzt, auf die harte Ni- oder Fe-Basislegierungen aufgetragen werden (Bild unten). Die Pufferzone verhindert die Kontaktkorrosion zwischen dem Magnesiumsubstrat und den Ni- bzw. Fe-basierten Schichten. Eine besondere Herausforderung ist die Reduktion der Aufmischungszone zwischen den Systemen Mg-Al und Al-Fe(Ni). In diesen Zonen bilden sich Bereiche spröder intermetallischer Phasen, in denen Mikrorisse auftreten, die im späteren Betrieb zum frühzeitigen Versagen der Schicht führen können. Durch geeignete Verfahrensparameter ist es gelungen, die Ausdehnung der Aufmischungszone soweit zu reduzieren (ca. 20 µm), dass keine Risse mehr auftreten. Derzeit befinden sich erste Proben in Korrosions- und Verschleißtests.

Die vorgestellten Arbeiten werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG gefördert.

Ansprechpartner

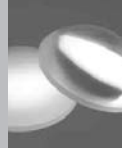
Dipl.-Ing. Tim Biermann
Telefon 0241 8906-365
tim.biermann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Bauteil aus Magnesiumlegierung (Tornado SPS / APU T312 Luftsammlergehäuse, mit freundlicher Genehmigung von Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG).

Unten: Querschliff: a) Magnesiumsubstrat AZ31B, b) Al-Basis Zwischenschicht, c) Fe-Basis Deckschicht.



Aufgabenstellung

Zu den häufigsten Versagensursachen von Druckgießformen zählen Brandrisse, Spannungsrisse und Erosion, die durch die zyklische thermomechanische Belastung der Form während des Gießprozesses entstehen. Diese Schäden führen letztlich zum Ausfall der Formen. Werkzeugwechsel und Neufertigung der Werkzeuge verursachen erhebliche Kosten, die bei einer Verlängerung der Standzeit reduziert werden könnten. Werkstoffmodifikationen der bekannten Warmarbeitsstähle stoßen hier an ihre Grenzen, da sich eine hohe Warmfestigkeit zur Vermeidung von Erosion und eine hohe Zähigkeit zur Minimierung von Brand- und Spannungsrissen nur bedingt in einem homogenen Werkstoff vereinen lassen. Durch den Einsatz von Gradientenwerkstoffen ergeben sich durch die Kombination verschiedener Werkstoffe neuartige Eigenschaftsprofile, die gezielt auf die jeweilig vorliegende Verschleißbeanspruchung angepasst werden können.

Vorgehensweise

Gradientenwerkstoffe werden durch schichtweises Laserstrahl-Auftragschweißen hergestellt, wobei die Pulverzusammensetzung in jeder Schicht verändert wird. Um mehrdimensionale Gradienten aufzubauen, wie sie für Werkzeugeinsätze mit komplexer Geometrie notwendig sind, werden die Pulvermassenströme auch innerhalb einer Schicht variiert (Bild oben). Die Auswahl der Werkstoffkombinationen erfolgt in Kooperation mit dem Institut für Füge- und Schweißtechnik der TU Braunschweig. Zur Bestimmung der Gefüge und der mechanischen Eigenschaften werden zunächst einfache Volumenkörper aufgebaut.

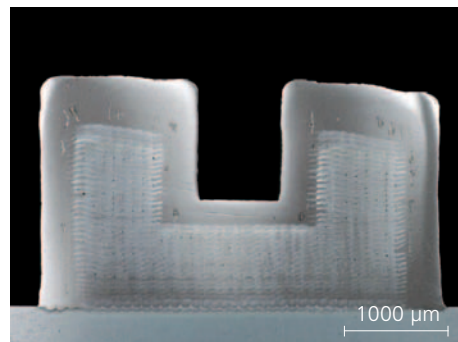
Ergebnisse und Anwendungen

Zur Reduzierung von Brand- und Spannungsrissen kommen im Randbereich des Gradienten zähe, thermowechselbeständige Werkstoffe wie Marlok 1650C zum Einsatz. Hochharte, korrosionsbeständige Werkstoffe wie CPM 420 V mit Härten über 60 HRC dienen zur Verringerung der Erosion (Bild unten). Neben Gradienten auf Eisenbasis werden Kombinationen aus Fe- und Ni-Basis- oder Co-Basislegierungen durch Anpassung der Verfahrensparameter erfolgreich gradiert aufgebaut. Gefügeanalyse und Bestimmung mechanischer Kennwerte sind Gegenstand laufender Untersuchungen. Mit ausgewählten Gradientenwerkstoffen soll dann ein Mock-Up Werkzeug hergestellt und in einer Druckgießmaschine getestet werden, um die Qualität des Gradienten unter Betriebsbedingungen zu bewerten.

Ansprechpartner

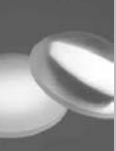
Dipl.-Ing. Sörn Ocylok
Telefon 0241 8906-567
soern.ocylok@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Komplexe gradiert aufgebaute Geometrie mit Kernbereich aus zähem 1.2709, mehreren Übergangsschichten und korrosionsbeständiger Randbereich aus Metco 42 C (Sulzer Metco).

Unten: Querschnitt eines eindimensionalen Gradienten aus Metco 42 C (Sulzer Metco) und hochhartem CPM 420 V im Randbereich. Linearer Anstieg der Härte von 550 HV bis über 800 HV im Randbereich.



Aufgabenstellung

Das generative Fertigungsverfahren Selective Laser Melting (SLM) wird zunehmend zur direkten Herstellung von metallischen Funktionsbauteilen industriell eingesetzt. Im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts »AluGenerativ« wird am Fraunhofer ILT derzeit das SLM für die Aluminiumdruckgusslegierungen AlSi10Mg und AlSi9Cu3 qualifiziert mit dem Ziel, Funktionsprototypen und Serienbauteile generativ zu fertigen. Ein wesentliches Qualitätskriterium für diesen Anwendungsbereich ist die Maß- und Formgenauigkeit.

Vorgehensweise

Durch den schichtweisen Aufbau werden, aufgrund der thermischen Schrumpfung jeder Schicht, Eigenspannungen ins Bauteil induziert. Diese Eigenspannungen verursachen Verzüge am Bauteil, wodurch die Maß- und Formgenauigkeit beeinträchtigt wird. Zur Reduzierung der Eigenspannungen wird die SLM-Prozessführung mit Vorwärmung für den Werkstoff AlSi10Mg eingesetzt und untersucht, in wie weit sich dadurch der Verzug reduzieren lässt. Als Demonstrator wird ein dünnwandiges Bauteil (Bild oben) mit und ohne Vorwärmung aufgebaut. In Kooperation mit der BMW Group Versuchsfahrzeugbau werden die Bauteile mit einem optischen System vermessen. Die Ist-Geometrie wird mit der CAD-Sollgeometrie verglichen.

Ergebnisse und Anwendungen

Die 3-D-Vermessungen zeigen, dass der ohne Vorwärmung aufgebaute Demonstrator Verzüge in einem Bereich von - 0,5 bis + 0,7 mm aufweist (Bild Mitte). Des Weiteren entstehen kleine Risse an kritischen Stellen des Bauteils. Hingegen zeigt das Bauteil, das mit einer Vorwärmtemperatur von 300 °C hergestellt wird, eine wesentlich größere Maßgenauigkeit (Bild unten). Der Verzug liegt in einem Bereich von $\pm 0,1$ mm. Die Risse können durch die Eigenspannungsreduzierung vollständig vermieden werden. Somit konnte gezeigt werden, dass eine Vorwärmung bei der Herstellung von Bauteilen aus AlSi10Mg mittels SLM die Maß- und Formgenauigkeit signifikant erhöht.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Damien Buchbinder
Telefon 0241 8906-488
damien.buchbinder@ilt.fraunhofer.de

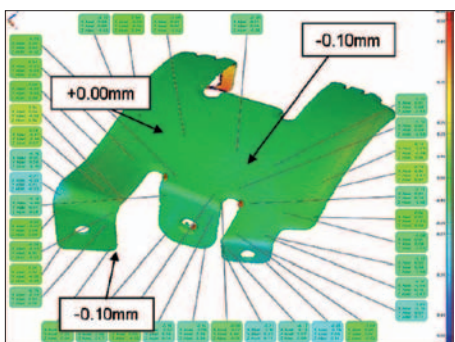
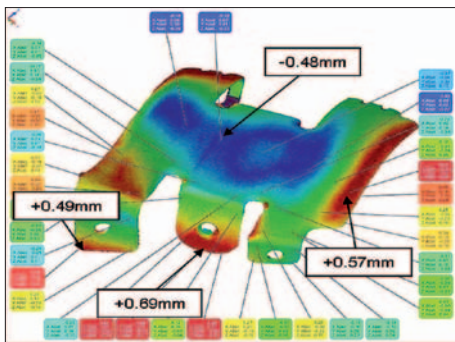
Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de

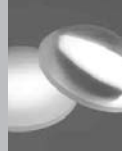


Oben: Mit SLM gefertigter Demonstrator zur Bestimmung der Maß- und Formgenauigkeit.

Mitte: Ergebnis der optischen 3-D-Vermessung eines ohne Vorwärmung aufgebauten SLM Bauteils.

Unten: Ergebnisse der optischen 3-D-Vermessung eines mit Vorwärmung aufgebauten SLM Bauteils.





Aufgabenstellung

Das Selective Laser Melting (SLM) ist ein generatives Fertigungsverfahren, mit dem komplexe dreidimensionale Bauteile schichtweise aus einem pulverförmigen Ausgangswerkstoff durch Schmelzen mit Laserstrahlung hergestellt werden können. Für metallische Werkstoffe ist das SLM bereits im industriellen Einsatz. Für keramische Werkstoffe existierte bisher noch kein vergleichbares Verfahren. Im Rahmen des von der EU geförderten Projekts »Custom-IMD« wird das Ziel verfolgt, hochfeste Bauteile aus Zirkonoxid (ZrO_2) mit SLM herzustellen.

Vorgehensweise

Als Verfahrensansatz wird das direkte und vollständige Schmelzen eines rein keramischen Pulvers verfolgt. Eine besondere Herausforderung ist die Vermeidung von Rissbildung bei der Verarbeitung der Keramik. Hierzu wird eine spezielle Hochtemperatur-Vorwärmung eingesetzt, mit der die Keramik vor und während der Bearbeitung auf eine Temperatur von über 1100 °C aufgeheizt wird.

Ergebnisse und Anwendungen

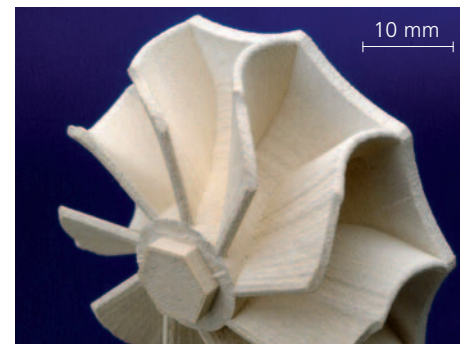
Komplex geformte Demonstrationsbauteile konnten hergestellt werden, die eine hohe Dichte (> 98 Prozent) aufweisen. Die im Bild oben und Bild Mitte gezeigten Bauteile sind ohne eine Vorwärmung aufgebaut worden und weisen deshalb noch feine Mikrorisse auf. Mit der Hochtemperatur-Vorwärmung in Verbindung mit einer speziell entwickelten ZrO_2 -basierten Keramik kann die Rissbildung vermieden werden. Hergestellte Proben (Bild unten) haben eine Biegefestigkeit von mehr als 500 MPa.

Die wichtigste Anwendung dieser Verfahrensentwicklung ist die Herstellung von individuellem vollkeramischen Zahnersatz. Hierbei lässt sich die Eigenschaft des Verfahrens, ohne geometriespezifische Formen oder Werkzeuge auszukommen, wirtschaftlich vorteilhaft ausnutzen. Eine weitere Anwendung ist die Fertigung von Funktionsprototypen sowie allgemein die Fertigung von Einzelstücken oder geringen Stückzahlen einer Bauteilgeometrie.

Ansprechpartner

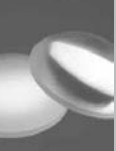
Dipl.-Ing. Jan Wilkes
Telefon 0241 8906-361
jan.wilkes@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



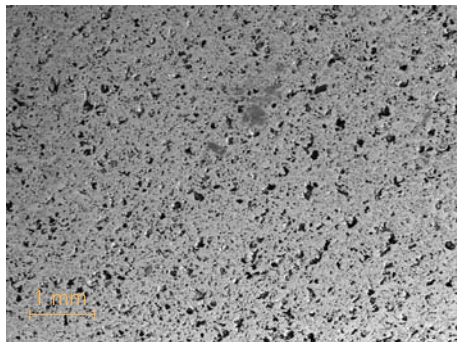
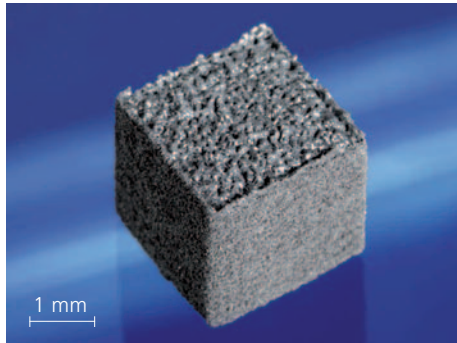
Oben und Mitte: Mit SLM hergestellte Demonstrationsbauteile aus ZrO_2 -basierter Keramik (Turbine eines Turboladers sowie Gerüst für eine Dentalrestauration).

Unten: Mit SLM unter Hochtemperatur-Vorwärmung hergestellte Rundprobe für Biegeversuche (auf rechteckiger Substratplatte).



Aufgabenstellung

Im Rahmen des DFG-Projekts »Reaktionslasersintern von Spinellkeramik« wird die generative Fertigung von Bauteilen aus dem keramischen Werkstoff Spinell (MgAl_2O_4) untersucht. Ziel ist die Herstellung von Bauteilen, deren mechanische Kennwerte denen konventionell gefertigter Bauteile aus Spinell entsprechen. Dazu soll SLM als formgebendes Verfahren für die generative Fertigung von Bauteilen aus Spinell qualifiziert werden.



Oben: Probekörper aus AlMg_3 und MgO , mit SLM aufgebaut.
Unten: REM-Aufnahme eines Querschliffs des im Ofen zu Spinell reagierten SLM-Probekörpers.

Vorgehensweise

In vorangegangenen Untersuchungen zeigte sich, dass bei der Verarbeitung von reinem MgAl_2O_4 mittels SLM Mikrorisse im gesamten Gefüge der umgeschmolzenen Keramik auftreten.

Deshalb wird ein neuer Verfahrensansatz verfolgt, mit dem die Rissbildung verhindert werden kann. Dieser Ansatz basiert auf einer zweistufigen Vorgehensweise. Zunächst wird ein Pulvergemisch aus AlMg_3 und MgO unter Ausschluss von Sauerstoff mittels SLM zu einem porösen Bauteil verbunden. Anschließend reagiert das Bauteil im Sinterofen an Luftatmosphäre bei Temperaturen über 1300°C mit dem vorhandenen Sauerstoff zu 100 Prozent Spinellkeramik. Vorteil dieses Vorgehens ist die Vermeidung der spannungsinduzierten Mikrorisse im Bauteil.

Ergebnisse und Anwendungen

Für die Verarbeitung des Reaktionsgemischs unter Schutzgasatmosphäre steht ein großer Bereich für die Verfahrensparameter zur Verfügung, in dem das Pulver zu Bauteilen ohne Risse verarbeitet werden kann (Bild oben). Die auf diese Weise hergestellten Bauteile weisen eine große Porosität auf, die eine Sauerstoffdurchdringung beim Reaktionssintern im gesamten Bauteil gewährleistet. Die Dichte beträgt nach diesem ersten Prozessschritt ca. 75 Prozent.

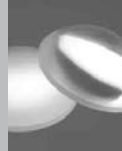
EDX Analysen zeigen, dass die Bauteile nach dem Reaktionssinterprozess im Ofen zu 100 Prozent aus Spinell bestehen (Bild unten). Durch die Volumenzunahme bei der Reaktion mit dem Sauerstoff steigt die Dichte. Die bei diesem Vorgehen erreichbare Dichte liegt derzeit bei über 98 Prozent.

Mit der nahezu uneingeschränkten Geometriefreiheit des SLM-Verfahrens können komplexe Bauteile aus Spinellkeramik ohne Formen und Werkzeuge, zum Beispiel für die Dentaltechnik, realisiert werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. David Becker
Telefon 0241 8906-568
david.becker@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Am Fraunhofer ILT wurde das Selective Laser Melting (SLM) zur Herstellung von Titan-Individualimplantaten qualifiziert. Mit der medizinischen Umsetzung im Falle eines Hüftpfannenimplantates konnte gezeigt werden, dass der Einsatz des SLM Verfahrens zur Herstellung von Knochenersatzimplantaten geeignet ist. In der Chirurgie findet derzeit ein Wandel von klassischen Materialien (Titanlegierungen, Kobalt-Chrom, Implantatstahl) für die Implantatherstellung hin zur Verwendung neuer innovativer Materialien statt. Dabei werden vermehrt bioresorbierbare Werkstoffe eingesetzt. Dies sind Werkstoffe, die vom Körper sukzessive entsprechend der körpereigenen Knochenneubildung aufgenommen und abgebaut werden. Dieser Trend wird ebenfalls bei der generativen Implantatfertigung berücksichtigt.

Vorgehensweise

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Vorhabens »Resobone« wird das Selective Laser Melting für die Verarbeitung von verschiedenen bioresorbierbaren Materialien qualifiziert. Für die Anwendung als Knochenersatzmaterial wird ein Kompositwerkstoff aus einer Kalziumphosphatkeramik (TCP) und dem bioresorbierbaren Polymer Polylactid (PLA) verwendet. TCP ist der chemischen Struktur von Knochen am nächsten, jedoch nicht direkt mit SLM verarbeitbar. PLA hinterlässt bei der Degradation eine unerwünschte acide Umgebung, ist aber mit SLM verarbeitbar. Aus diesem Grund wird ein Granulat aus dem Komposit TCP und PLA hergestellt, um die Vorteile beider Materialien zu kombinieren. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt dabei auf der Erzeugung von vollständig

dichten Bauteilen (Dichte > 98 Prozent) und der Realisierung von Hohl- und Gitterstrukturen. Um die vollständige Resorption eines Implantates zu gewährleisten, muss das Implantat ein interkonnektives Porensystem aufweisen, damit eine durchgängige Versorgung durch Zellgewebe erreicht wird. Dazu wird das CAD-Modell des Implantates mit einer geeigneten Porenstruktur versehen, die durch den generativen Aufbau im Implantat abgebildet wird.

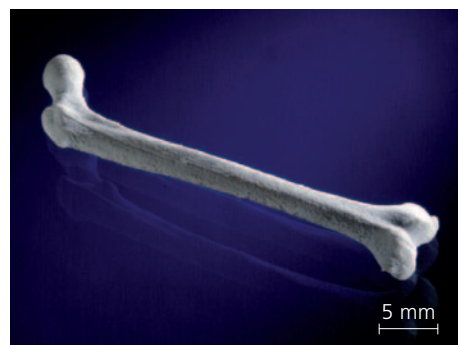
Ergebnisse und Anwendungen

Ausgangsmaterial für die Verarbeitung mit SLM ist ein Kompositwerkstoff mit verschiedenen Anteilen PLA und TCP. Bei der Verarbeitung wird das Polymer vollständig aufgeschmolzen, das TCP wird homogen in der Polymermatrix eingebettet. Mit Verwendung von geeigneten Verfahrensparametern können mittels SLM Demonstratoren mit einer Dichte von ca. 100 Prozent hergestellt werden. Mögliche Anwendungen sind individuell angepasste Implantate mit interkonnektivem Porensystem z. B. für die Gesichts- und Kieferchirurgie zur Abdeckung von Defekten. Bei der Verwendung von reinem PLA ist eine Anwendung zur Herstellung von bioresorbierbaren Stents angedacht.

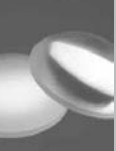
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Simon Hoeges
Telefon 0241 8906-360
simon.hoeges@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Mit SLM hergestellte Gitterstruktur aus Polylactid.
Unten: Oberschenkelknochen (skaliert) aus TCP-Polylactid Kompositwerkstoff hergestellt mit SLM.



Aufgabenstellung

Die abgegebene Leistung von Direkt-Methanol-Brennstoffzellen (DMFCs) wird unter anderem von den in einem Zellstapel (Stack) auftretenden Widerständen beeinflusst. Zur Reduzierung des Kontaktwiderstands zwischen den Bipolarplatten und den Membran-Elektroden-Einheiten (MEAs) werden die Bipolarplatten mit einer leitfähigen Goldschicht überzogen. Galvanisch hergestellte Schichten neigen jedoch unter Betriebsbedingungen zum Ablösen vom Substrat und es besteht die Möglichkeit, dass Nickel (eingesetzt als Haftvermittler) ausgewaschen wird und die Elektroden beschädigt. Eine Alternative stellt das Besputtern der Bipolarplatten dar, bei dem allerdings die gesamte Zellfläche beschichtet wird, obwohl die MEA bedingt durch die Kanalstruktur nur selektiv im Stegbereich mit dieser in Kontakt tritt. Zur Reduzierung des eingesetzten Edelmetallbedarfs und zur Verbesserung der metallurgischen Anbindung an das Substrat sollen selektiv Kontaktpunkte durch Mikro-Laserstrahl Auftragschweißen (Mikro-LA) hergestellt werden (Bild oben).

Vorgehensweise

Die Menge des eingesetzten Zusatzwerkstoffs wird von der Anzahl der Kontaktpunkte pro Zellfläche und von dem Kontaktpunktvolumen bestimmt. Ziel bei der Verfahrensentwicklung des Mikro-LA ist daher die Minimierung der Kontaktpunktgeometrie durch Verwendung von brillanten Laserstrahlquellen, die Anpassung der Anlagentechnik für die Förderung und Fokussierung von feinen Pulverkornfraktionen (Bild Mitte) sowie die Entwicklung von geeigneten Prozessfenstern. Die

Kontaktpunkte werden auf geprägten Metallfolien mit Dicken von 100 μm hergestellt. Die elektrischen Eigenschaften des pulverförmigen Goldes sollen nach dem Erstarren weitestgehend erhalten bleiben. Die Untersuchung des Kontaktwiderstands erfolgt an Testplatten und kompletten Brennstoffzellenstacks durch das Forschungszentrum Jülich.

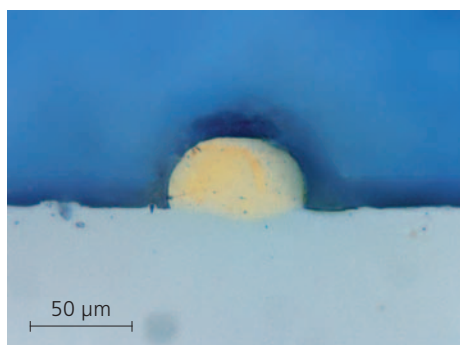
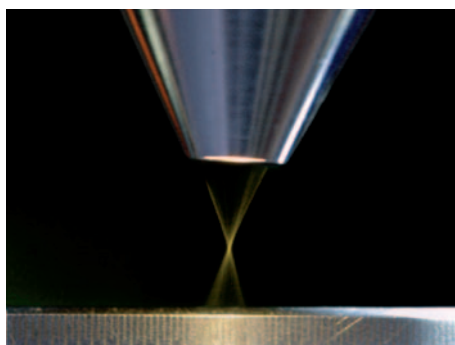
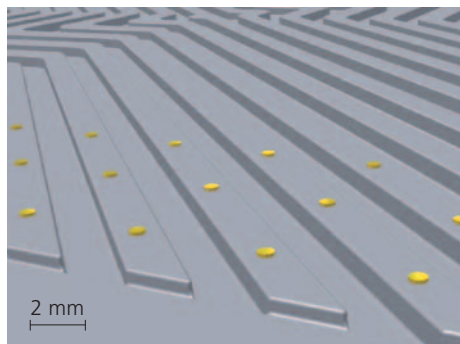
Ergebnisse und Anwendungen

Durch Anpassung der Anlagentechnik können zurzeit Kontaktpunkte aus Gold mit Durchmessern von etwa 70 μm und Höhen von etwa 30 μm hergestellt werden (Bild unten). Die Kontaktpunkte weisen eine gute Anbindung an das Substrat auf. Messungen des Kontaktpunktwidestands zeigen eine signifikante Reduzierung der ohmschen Verluste an aufgebauten Brennstoffzellen. Durch die selektive Herstellung der Kontaktpunkte kann der Edelmetalleinsatz für die gewählten Kontaktpunktdurchmesser um mehr als den Faktor 100 gegenüber der galvanischen Beschichtung reduziert werden. Ziel weiterführender Untersuchungen ist die Reduzierung des Kontaktpunktdurchmessers auf 20 - 50 μm sowie die Qualifizierung weiterer für die Elektroindustrie relevanter Werkstoffkombinationen.

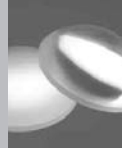
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Torsten Jambor
Telefon 0241 8906-193
torsten.jambor@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Bipolarplatte mit Kanalstruktur und selektiv hergestellten Kontaktpunkten aus Gold.
Mitte: Koaxiale Pulverdüse mit angeleuchtetem Pulverfokus.
Unten: Querschliff eines Kontaktpunktes.



Aufgabenstellung

Indium-Zinn-Oxid (ITO) wird beispielsweise zur Herstellung der transparenten Anode einer OLED (organic light emitting diode) genutzt, da es den besten Kompromiss aus hoher Leitfähigkeit und hoher Transparenz bereitstellt. Doch der Preis des seltenen Metalls Indium steigt stetig. Daher ist es wichtig, den Verlust des Materials im Beschichtungsprozess zu minimieren. Um strukturierte Anoden zu realisieren, werden bisher klassische Sputtertechniken in Verbindung mit Lithographie oder Maskierung eingesetzt, bei denen ein großer Anteil an ITO nicht zurückgewonnen werden kann (Bild Mitte). Es wird daher ein additives Verfahren angestrebt, mit dem die benötigte Struktur ohne Materialverluste aufgetragen wird. Die Aufbringung von strukturierten, nanopartikulären ITO-Beschichtungen auf Glas- oder PET-Substraten z. B. durch Tintenstrahl-druckverfahren ist dahingehend herausfordernd, dass die notwendige thermische Nachbehandlung zur Senkung des Flächenwiderstands der getrockneten Schichten eine Temperatur erfordert, die die Temperaturstabilität des Substrates überschreitet. Der Laserstrahl überwindet diesen Nachteil durch die großen Heiz- und Kühlraten, wodurch in der Schicht die geforderten Temperaturen erreicht werden, der Substratwerkstoff jedoch unbeeinflusst bleibt.

Daher ist die Laserstrahlnachbehandlung von nanopartikulärem ITO ein Schlüsselprozess, um strukturierte Schichten mit geeigneter Funktionalität wie kleinem Flächenwiderstand und großer Transparenz materialeffizient herzustellen.

Vorgehensweise

Im ersten Verfahrensschritt werden ITO-Nanopartikel dispergiert (Bild unten). Die Dispersion wird über Additive dahingehend eingestellt, dass sie im zweiten Schritt mittels Tintenstrahl-druckverfahren fehlerfrei und in der gewünschten Struktur auf das Substrat aufgebracht werden kann. Im letzten Schritt wird die Schicht mittels Laserstrahlung thermisch nachbehandelt. Dabei wird der geforderte Flächenwiderstand durch eine Kombination aus thermischer Kompression und Sintervorgang erzielt.

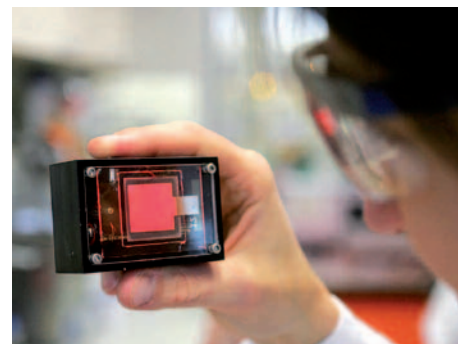
Ergebnisse und Anwendungen

Auf Glas wird der Flächenwiderstand durch die thermische Laserstrahlnachbehandlung von mehreren $M\Omega/sq$ auf weniger als $150 \Omega/sq$ reduziert. Die Flächenrate beträgt hierbei $14 \text{ cm}^2/s$. Die Schichttransparenz bleibt zu mehr als 98 % (bei 550 nm) erhalten. Mit diesen Schichten lassen sich Elektrolumineszenzlampen für Beleuchtungszwecke (Bild oben) oder Displays mit niedrigem Informationsgehalt wie Preisschilder etc. realisieren.

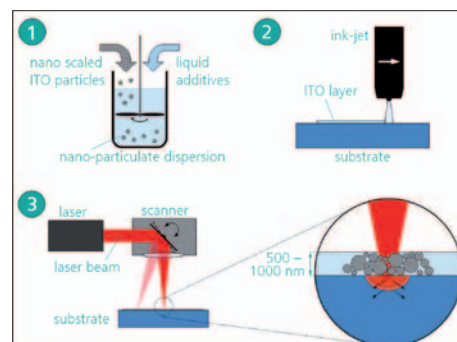
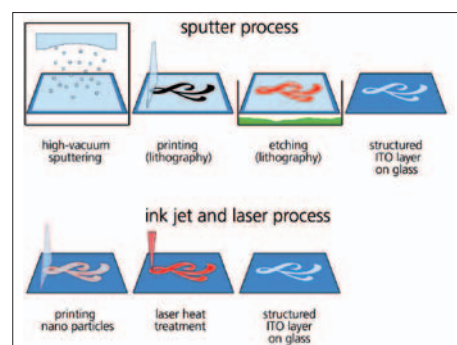
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Christian Vedder
Telefon 0241 8906-378
christian.vedder@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Demonstrator einer Elektrolumineszenzlampe.
Mitte: Vergleich eines klassischen Sputterprozesses mit dem Tintenstrahl-druck- und Laserprozess.
Unten: Verfahrensprinzip.



Aufgabenstellung

Ein verbreitetes Fertigungsverfahren zum Strukturieren, beispielsweise von Werkzeugen, ist u. a. photochemisches Ätzen. Dieser Prozess ist jedoch zeit- und kostenintensiv, der zudem große Mengen umweltgefährdender Säuren benötigt. Das Abtragen mit Laserstrahlung ist ein weiteres etabliertes Verfahren zur Strukturierung metallischer Oberflächen. Defizite des Verfahrens liegen jedoch häufig in den geringen Flächenraten (ca. 3 mm²/min für 150 µm hohe Strukturen) und dem oft hohen Nachbehandlungsbedarf. Um diese Nachteile zu vermeiden, wird ein neuartiges Verfahren zum Strukturieren metallischer Oberflächen durch Umschmelzen einer dünnen (~100 µm) Randschicht mit kontinuierlicher Laserstrahlung entwickelt.

Vorgehensweise

Die Strukturierung erfolgt mittels Laserstrahlung, wobei kein Material abgetragen, sondern im schmelzflüssigen Zustand durch eine Modulation des Schmelzbadvolumens umverteilt wird. Zur gezielten Beeinflussung des Schmelzbadvolumens und somit zur Erzeugung von Oberflächenstrukturen wird die Laserleistung periodisch moduliert. Hierzu wird die Laserleistung um die mittlere Laserleistung P_M mit der Leistungsamplitude P_A über die Wellenlänge λ moduliert, während der Fokus der Laserstrahlung mit dem Durchmesser d_L und der Geschwindigkeit v_s unidirektional über die metallische Oberfläche bewegt wird (Bild oben). Unter systematischer Variation wurde der Einfluss der Verfahrensparameter anhand von Einzelspuren auf Symmetrie und Strukturabmessungen der erzeugten Oberflächentopographien untersucht. Um auch Flächen

bearbeiten zu können, wurde der Spurbabstand dy zwischen einzelnen überlappenden Bearbeitungsspuren entsprechend klein gewählt (Bild oben). Die Struktur erstarrt dabei (geglättet/ poliert) aus der Schmelze und bedarf keiner weiteren Nachbehandlung.

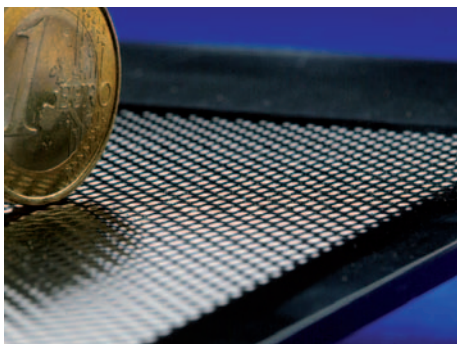
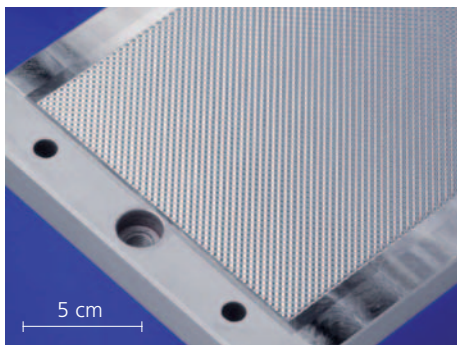
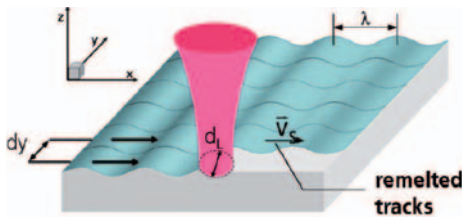
Ergebnisse und Anwendungen

Bei einer Flächenrate von ca. 50 mm²/min werden Profilhöhen im Bereich von 150 µm standardmäßig und reproduzierbar hergestellt. Die Standardabweichung von dieser Profilhöhe ist dabei kleiner als 4 Prozent. Bei signifikant kleinerer Flächenrate mit ca. 1 mm²/min werden Strukturhöhen größer als zwei Millimeter erreicht, wobei der Steigungswinkel der Strukturen näherungsweise 90° beträgt. Die bisher größte zusammenhängende Fläche wurde auf einem Werkzeugeinsatz aus dem Werkstoff 1.2343 realisiert. Die strukturierte Fläche beträgt 120 x 150 mm² (Bild Mitte) bei einer Strukturhöhe von 150 µm und einer Wellenlänge von 3 mm. Die Bearbeitungszeit für diese Fläche beträgt sechs Stunden, was einer Flächenrate von 50 mm²/min entspricht. Die erzeugten Strukturen können anschließend detailgenau auf Kunststoffteile abgeformt werden (Bild unten).

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. André Temmler
Telefon 0241 8906-299
andre.temmler@ilt.fraunhofer.de

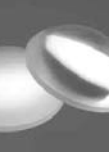
Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Schematische Darstellung von Verfahrensprinzip und Verfahrensparametern des Strahlungsprozesses.

Mitte: Werkzeugeinsatz aus 1.2343 mit großflächig strukturierter Oberfläche.

Unten: Vom strukturierten Werkzeugeinsatz abgeformte Designfläche aus Polycarbonat.



Aufgabenstellung

Leistungsstarke LEDs bilden zunehmend die Basis für kostengünstige Display-Hinterleuchtungen und Flächen-Lichtelemente. Dabei werden vermehrt Einzel-LEDs anstatt Zeilen-LEDs eingesetzt, die jedoch zur homogenen Lichtverteilung entsprechende Lichtleitstrukturen benötigen. Für eine gleichmäßige Ausleuchtung der häufig runden oder rechteckigen Displayfläche muss das transparente Kunststoff-Lichtelement im Volumen oder auf der Oberfläche mit geeigneten Auskoppelstrukturen versehen werden, um abhängig von der Position der LED im Display eine gleichmäßige Auskoppelung zu gewährleisten. Zur kostengünstigen Produktion derartiger Lichtleitelemente werden die transparenten Kunststoffkomponenten im Spritzgussverfahren hergestellt, wobei die Spritzguss-Werkzeuge mit mikroskopisch kleinen Strukturen versehen werden müssen.

Vorgehensweise

Für die Herstellung der notwendigen Auskoppelstrukturen in Form von Halbkugeln mit einem Durchmesser von 100 µm und einer Tiefe von 25 µm wurden Spritzguss-Werkzeugeinsätze mit bis zu 100.000 Einzelstrukturen verwendet. Die Strukturierung erfolgte mittels Ultrakurzpuls-Laserabtrag mit anschließendem Laserpolieren, um eine hohe optische Oberflächengüte zu erzeugen. Durch den präzisen Abtrag mit ultrakurzen Laserpulsen können die Mikrolinsen mit einer Formgenauigkeit von 100 nm eingebracht werden. Die zuvor durch Simulation ermittelte Verteilung der Lichtleitstrukturen kann über den kostengünstigen Mikrospritzguss repliziert werden.

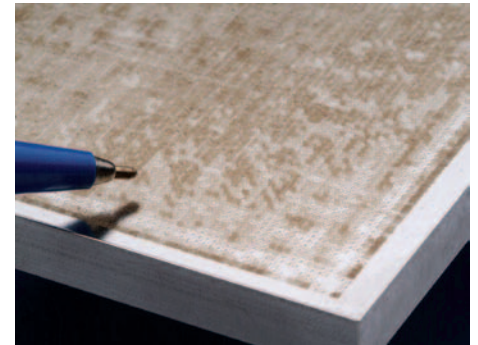
Ergebnisse und Anwendungen

Durch eine Aufteilung der Lichtauskoppel-Strukturen in eine begrenzte Anzahl von Kacheln, die jeweils Halbkugeln in unterschiedlicher Zahl und Verteilung beinhalten, konnten der nötige Daten- und Rechenaufwand reduziert werden. Pro Sekunde konnten im Mittel zwei Halbkugeln abgetragen werden. Die mit den Werkzeugen hergestellten Lichtleitelemente aus dem Automobilbereich sind bereits im Serieneinsatz.

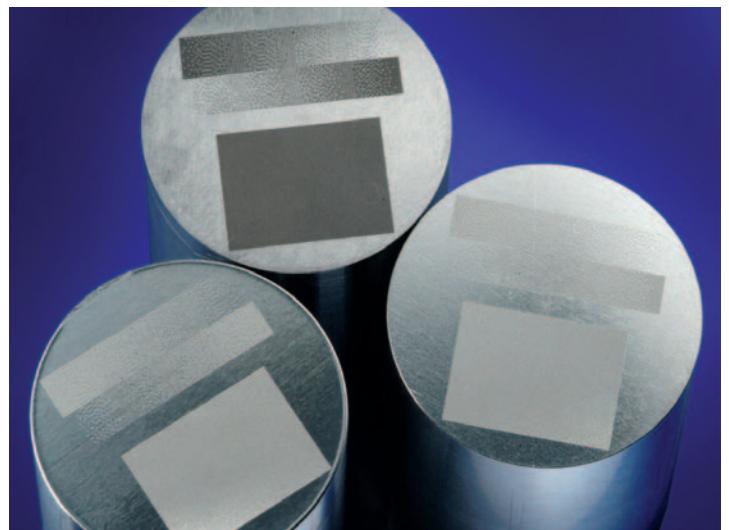
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Andreas Dohrn
Telefon 0241 8906-220
andreas.dohrn@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 08906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Stahlwerkzeug für eine 7-Zoll Display-Hinterleuchtung mit mehr als 500.000 Strukturen.
Unten: Nahaufnahme einer Werkzeugfläche mit verschiedenen Strukturendichten.



Aufgabenstellung

Produkte mit funktionalen Oberflächen auf der Basis von Mikro- oder Nanostrukturen besitzen ein großes wirtschaftliches Potenzial, z. B. durch neue Funktionalität in Strömungsverhalten, Tribologie, Haptik und Optik. Unterschiedliche Verfahren wie Lithographie, Mikrofräsen und Laserabtrag stehen für die Erzeugung dieser Oberflächen zur Verfügung, sind aber durch die hohen Investitionskosten nur eingeschränkt nutzbar.

Um dieses Problem zu umgehen, wird eine neue Prozesskette entwickelt, die eine präzise Mikro- und Nanostrukturierung mittels Laserabtrag mit den replizierenden Verfahren zur Massenproduktion verbindet. Dadurch werden die funktionalen mikro- und nanostrukturierten 3-D-Oberflächen direkt und schnell im gleichen Urformprozess zusammen mit dem Makrobauteil hergestellt

Vorgehensweise

Im Rahmen des Exzellenzclusters der RWTH Aachen »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« wird eine massentaugliche Prozesskette mit folgenden Einzelschritten entwickelt:

- Herstellung eines mikro- bzw. nanostrukturierten Werkzeugs mit verschleißfester, antiadhäsiver Beschichtung;
- Abformung des Werkzeugs mittels eines laserunterstützten Spritzguss- oder Extrusionsprozesses bzw. im Feinguss.

Der Hauptaugenmerk der Laserstrukturierung liegt in der Entwicklung eines Verfahrens zur nahtlosen großflächigen Erzeugung von Mikro- und Nanostrukturen auf 3-D-Werkzeugoberflächen sowie der Strukturierung von verschleißfesten, antiadhäsiven Hartstoffschichten.

Ergebnisse und Anwendungen

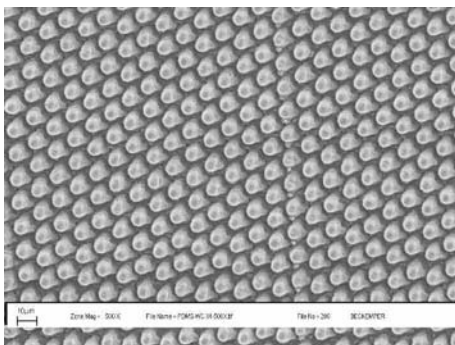
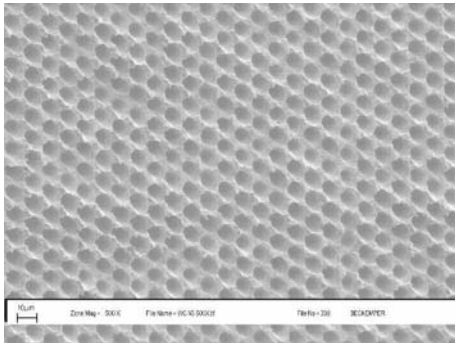
Für den nachfolgenden Replikationsprozess wurden in Werkzeugstahl und Hartmetall funktionale Strukturen als Negativ mit Abmessungen im Mikrometerbereich erzeugt. Die anschließende Abformung in Kunststoff führte zu superhydrophoben Oberflächenfunktionalitäten.

In Kooperation mit dem Institut für Kunststoffverarbeitung IKV konnten durch die Verwendung einer unterstützenden Laserheizung während des Abformprozesses Strukturen kleiner 1 μm erreicht werden sowie eine Abformung von Mikrostrukturen kleiner 100 μm mit einem Aspektverhältnis von größer 1:1.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Claudia Hartmann
Telefon 0241 8906-207
claudia.hartmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Mikrostrukturiertes Werkzeug mit Näpfchenstruktur.
Mitte: Abformung des Werkzeugs in PDMS. Die Abformung erhält eine Säulenstruktur.
Unten: Kontaktwinkelmessung der PDMS-Abformung mit Säulenstruktur.

Aufgabenstellung

Zur Generierung einer funktionsgerechten Oberflächentopographie von Produkten oder Bauteilen mit Freiformflächen werden diese in der industriellen Praxis überwiegend manuell poliert. Die Qualität der manuellen Politur ist vom Geschick des Polierers abhängig und mit einer kleinen Flächenrate verbunden, so dass ein steigender Bedarf nach einem automatisierbaren Polierverfahren für Freiformflächen besteht. Das Laserpolierverfahren ist ein umschmelzendes Fertigungsverfahren, bei dem die Rauheit infolge der Grenzflächenspannung in der schmelzflüssigen Phase reduziert wird. Dazu wird der Fokus der Laserstrahlung entlang konturangepasster Bearbeitungsbahnen mäanderförmig über die zu polierenden Oberflächen bewegt. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass das Laserpolieren grundsätzlich für die Bearbeitung von Freiformflächen geeignet ist. Um das Verfahren für industrielle Anwendungen nutzbar zu machen, ist eine durchgehende Prozess- bzw. Datenkette für das Laserpolieren von Freiformflächen zu entwickeln.

Vorgehensweise

Ausgangspunkt der Datenkette ist ein 3-D-CAD-Modell des zu polierenden Bauteils. Auf Basis dieses Modells werden in einem ersten Prozessschritt die Bahndaten mittels eines herkömmlichen Computer Aided Manufacturing Programms zum CNC- Fräsen berechnet. Die geometrischen Informationen dieser Fräsbahnen werden in Form von x, y, z-Koordinaten an eine am Fraunhofer ILT entwickelte Postprozessor-Software übergeben (Bild oben). Die Verfahrensparameter beim Laserpolieren von Freiformflächen sind in Abhängig-

keit des Anwendungsfalls, d. h. des Werkstoffs, der Ausgangsrauheit und der Zielrauheit zu wählen. Zur Auswahl eines für den jeweiligen Anwendungsfall geeigneten Verfahrensparametersatzes ist in der Postprozessor-Software eine Technologiedatenbank enthalten. Nach Vorgabe des zu verwendenden Verfahrensparametersatzes und der zu verwendenden Laserpolieranlage durch den Benutzer werden die geometrieabhängigen Verfahrensparameter durch die Software berechnet. Im letzten Prozessschritt werden die berechneten Informationen in einem maschinenabhängigen NC-Code an die 3-D-Laserpolieranlage übergeben und die Oberfläche bearbeitet.

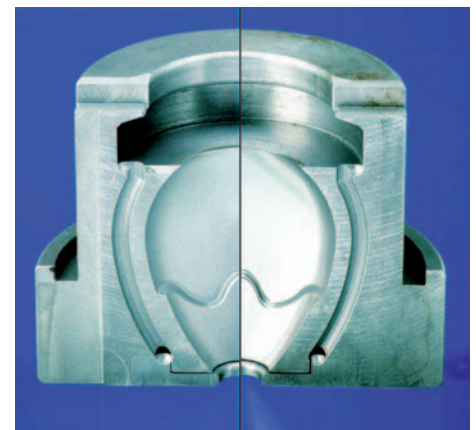
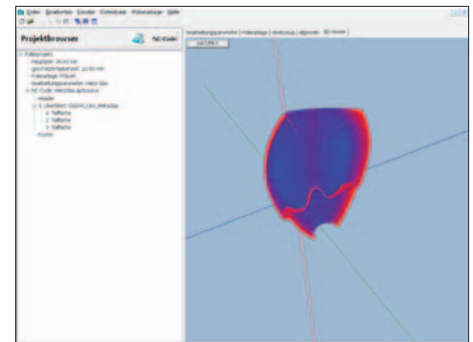
Ergebnisse und Anwendungen

Mit der Entwicklung der Postprozessor-Software wird die Daten- bzw. Prozesskette für das Laserpolieren von Freiformflächen geschlossen. Das untere Bild stellt eine mit der entwickelten Prozesskette bearbeitete Formhälfte im Ausgangszustand (Bild unten, links) sowie im bearbeiteten Zustand (Bild unten, rechts) dar. Die Formhälfte aus GGG40 hat im Ausgangszustand eine Rauheit von $R_a = 1,7 \mu\text{m}$. Die an Flachproben erreichte Zielrauheit von $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ wurde erfolgreich auf die Freiformfläche übertragen. Die Flächenrate für diesen Anwendungsfall beträgt ca. $1 \text{ cm}^2/\text{min}$.

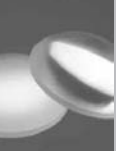
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Roman Ostholt
Telefon 0241 8906-213
roman.ostholt@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Postprozessor-Software zum Laserpolieren.
Unten: Formhälfte mit Freiformfläche:
links: Ausgangszustand,
rechts: laserpoliert.



Aufgabenstellung

Die Anforderungen an Abbildungsqualität und Präzision von Linsen und optischen Systemen für Volummärkte, wie z. B. Brillengläser, und für spezielle Anwendungen, z. B. die UV-Mikrolithographie, nehmen kontinuierlich zu. Durch die Verwendung von Linsen mit asphärischen Oberflächen können Abbildungsfehler vermieden werden. Asphären oder Freiformflächen bieten in optischen Systemen durch eine Reduzierung der Anzahl der benötigten Linsen weiterhin die großen Vorteile der Gewichtseinsparung und Miniaturisierung. Die Fertigung, insbesondere die Politur derartiger Optiken ist wegen der Abweichung von der sphärischen Form äußerst schwierig und kostenaufwändig.

Ziel ist die Entwicklung und Qualifizierung eines laserbasierten Poliervorgangs für optische Präzisionsoberflächen aus Quarzglas und Polymeren. Hierbei führt die lokale Erwärmung einer dünnen Randschicht bis knapp unterhalb der Verdampfungstemperatur zum »Ausfließen« vorhandener Rauheiten infolge der Oberflächenspannung.

Vorgehensweise

Im Rahmen der Verfahrensentwicklung werden die optimalen Verfahrensparameter wie z. B. Laserleistung, Vorschubgeschwindigkeit und Scange-
schwindigkeit ermittelt. An einer Laboranlage werden geeignete Verfahrensstrategien und Vorheiztechniken sowie Strahlformungsoptiken erprobt. Das Verfahren wird für verschiedene Gläser und Kunststoffe entwickelt, indem die Verfahrensparameter an den Werkstoff angepasst werden.

Ergebnisse und Anwendungen

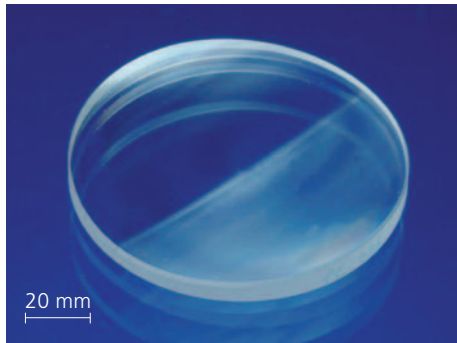
Es konnten bereits verfahrenstechnische Grundlagen zum Polieren von Quarzglas und Polycarbonat mit Laserstrahlung erarbeitet werden. Ausgehend von geschliffenen Quarzglasoberflächen mit $R_a = 150 \text{ nm}$ und gedrehten Polycarbonatoberflächen mit $R_a = 100 \text{ nm}$ können Rauheiten von $R_a < 10 \text{ nm}$ erreicht werden (siehe Bilder). Sowohl ebene, sphärische als auch asphärische Optiken können poliert werden.

Potenzielle Anwendungen sind Brillengläser, asphärische Linsen für Volummärkte bis hin zu Laseroptiken, z. B. mit erhöhten Zerstörschwellen.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Annika Richmann
Telefon 0241 8906-282
annika.richmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Zur Hälfte laserpoliertes Brillenglas aus Polycarbonat.
Unten: Laserpolierte und unpolierte BK7 Linse.





Aufgabenstellung

In der Photovoltaik-Modulherstellung werden die einzelnen Solarzellen mit einem verzinnnten Kupferbändchen elektrisch kontaktiert und in Reihe zu einem String verbunden. Die elektrische Kontaktierung erfolgt in der Regel durch Lötverfahren. Die Forderung nach ständig steigender Produktivität und Effizienz verlangt neue Fügeprozesse, die schnell, effizient und berührungslos sind. Der berührungslose Fügeprozess lässt sich mit lasergestützten Fügeverfahren realisieren. Dazu gehört sowohl das Laserstrahllöten als auch das Laserstrahlschweißen. Beide dieser Fügeverfahren ermöglichen einen effizienten und lokal begrenzten Energieeintrag, so dass die thermische Belastung des Siliziums klein gehalten werden kann. Das Laserstrahl-Mikroschweißen hat gegenüber dem Laserstrahllöten den Vorteil, dass die Prozesszeiten beim Laserstrahlschweißen um das Zehnfache kleiner sind und auf die Verwendung von Flussmitteln sowie bleihaltigen Loten verzichtet werden kann.

Vorgehensweise

Zum Nachweis der generellen Machbarkeit dieser Aufgabe werden verschiedene Strahlquellen miteinander verglichen, ein fasergeführter Nd:YAG-Laser mit einem Fokusbereich von 180 µm, ein freistrahlgeführter Nd:YAG-Laser mit einem Fokusbereich von 70 µm und ein Faserlaser mit einem Fokusbereich von 30 µm.

Ergebnisse und Anwendungen

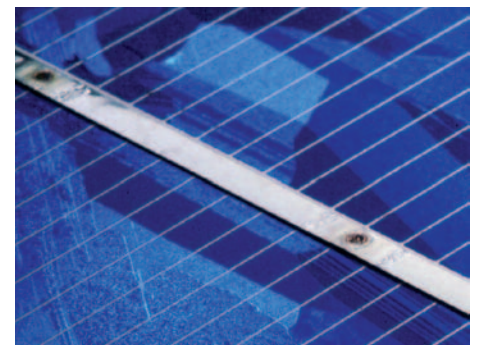
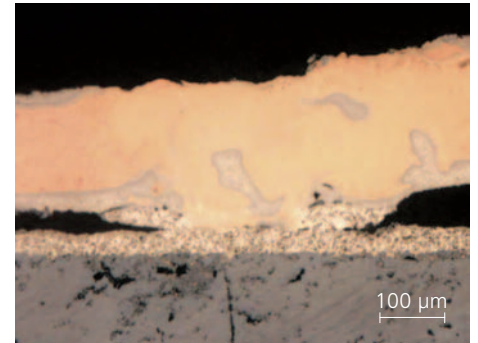
Mit einem Faserlaser lässt sich die grundsätzliche Schweißbarkeit der Kontaktierung von Solarzellen bestätigen. Die gute Strahlqualität und die kleinen Fokusgeometrien des Faserlasers ermöglichen es, ohne mechanischen Andruck den Zellverbinder auf die Siebdruckpaste der Solarzelle zu schweißen. Die Fügeverbindungen weisen eine geringe Schädigung des Siliziums auf und halten Zugkräfte von bis zu 5 N aus. Ohne Andruckkraft gelingt eine Fügeverbindung nur dann, wenn der Abstand zwischen Zellverbinder und Siebdruckpaste minimal ist.

Mit dem Laserstrahl-Mikroschweißen ergeben sich für die Photovoltaik-Modulherstellung neue Fügeansätze, welche im Vergleich zum Laserstrahllöten die thermische Energieeinbringung weiter reduzieren und damit einem materialgeschuldeten thermischen Management weiter gerecht werden. In weiteren Untersuchungen müssen geschweißte Module hinsichtlich ihrer Eigenschaften charakterisiert werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Felix Schmitt
Telefon 0241 8906-322
felix.schmitt@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Querschliff einer Schweißverbindung von Zellverbinder und Solarzelle.
Unten: Punktuell verschweißter Zellverbinder.

Aufgabenstellung

Kontaktierungen an elektronischen Bauteilen und mikromechanischen Verbindungen werden häufig durch Laserstrahl-Punktschweißungen realisiert. Qualitätsanforderungen mit Ausschussraten im Bereich von 2 ppm bedingen Verfahrenstechniken, die auch bei schwankenden Eingangsbedingungen reproduzierbare Ergebnisse liefern. Zum Laserstrahl-Punktschweißen mit unbewegtem Strahl werden in der Regel gepulste Nd:YAG-Laser mit Fokussdurchmessern im Bereich zwischen 100 und 500 µm eingesetzt. Der Durchmesser der Punktschweißung ist durch den Fokussdurchmesser festgelegt. Die Schmelzzone läuft zur Nahtwurzel hin kegelförmig zu.

Das typische, konische Profil der Punktschweißungen wirkt sich insbesondere für Überlapp-Schweißverbindungen nachteilig aus, da der erreichte Anbindungsquerschnitt stark von der Einschweißtiefe abhängt. Um eine sichere Anbindung zu erreichen, muss die Einschweißtiefe weit über die Lage der Trennebene hinausgehen. Dabei bereiten vor allem schwankende Einkoppelbedingungen, z. B. aufgrund verschiedener Oberflächenzustände, und das im Verhältnis zum erzeugten Schmelzvolumen große Keyhole Probleme. Unkontrollierbare Schwankungen der Einschweißtiefe sowie durch Schmelzbadüberhitzung bedingte Unregelmäßigkeiten in der Schmelzzone sind häufige Konsequenzen.

Vorgehensweise

Faserlaser mit Fokussdurchmessern $< 30 \mu\text{m}$ eröffnen in Kombination mit schnellen Strahlscannern die Möglichkeit, Punktschweißungen in den beschriebenen Dimensionen durch Ringschweißungen zu ersetzen. Dazu wird der Strahl auf einer Kreisbahn bewegt. Im Laufe mehrerer Überfahrten des Kreises entsteht durch einen kontrollierten Wärmestau in der Kreismitte eine zylinderförmige Schmelzzone.

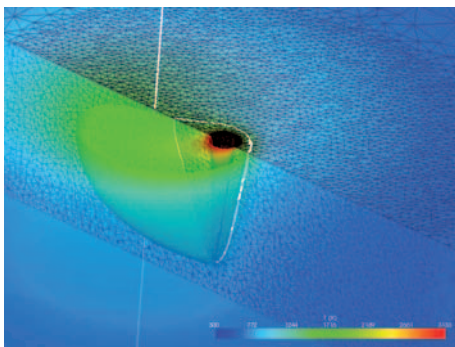
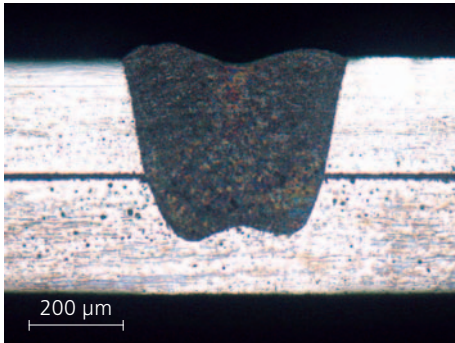
Ergebnisse und Anwendungen

Durch die Ringschweißtechnik stehen mit der Vorschubgeschwindigkeit, dem Kreisdurchmesser und der Anzahl der Überfahrten drei zusätzliche Parameter zur Verfügung, um die Geometrie der Schmelzzone zu beeinflussen. Bei richtiger Einstellung der Prozessparameter kann eine komplett zylindrische Aufschmelzung erreicht werden, deren Durchmesser entlang des gesamten Profils nahezu konstant ist. Damit kann der Anbindungsquerschnitt unabhängig von der Einschweißtiefe eingestellt werden. Durch das günstigere Verhältnis von Keyhole- zu Schmelzbaddurchmesser auf der einen und die Strahlbewegung auf der anderen Seite werden Schmelzbadüberhitzungen und daraus resultierende Fehler wie Poren- und Spritzerbildung vermieden.

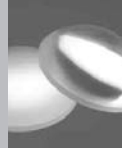
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jens Gedicke
Telefon 0241 8906-145
jens.gedicke@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Profil einer Ringschweißung in Edelstahl.
Unten: Simulation des Ringschweißprozesses.



Aufgabenstellung

Das Laserstrahlhartlöten ist heute bereits ein industriell etabliertes Verfahren zur Herstellung von Hochleistungs-Werkzeugen, bei denen aktive Hartmetall-Schneidwerkzeuge mit Stahl-Trägerwerkstoffen verbunden sind. Die Fügeverbindungen weisen zwar die hierfür erforderlichen Festigkeiten auf, sind jedoch aufgrund der nicht immer gleichmäßigen Hartlotmenge und variierender thermischer Bedingungen nicht immer ausreichend reproduzierbar. Gewünscht ist deshalb eine selbstregelnde Verbindungstechnologie für ein Bronze-Sintersegment mit einem Stahlbauteil. Mit der Realisierung einer Prozesskontrolle und Prozessregelung auf Basis pyrometrischer Sensoren soll das Prozessfenster bestimmt werden, innerhalb dessen der Fügeprozess reproduzierbar abläuft.

Vorgehensweise

Als Lasereinheit wird ein Diodenlaser LDL40-300 der Firma Laserline genutzt. Die gesamte Lasereinheit besteht aus vier einzelnen Lasern, welche die Leistung kontinuierlich emittieren und eine maximale Laserleistung von 300 W aufweisen. Um die Belastung der Sinterbronze durch hohe Fügetemperaturen zu vermeiden, wird ein niedrigschmelzendes Hartlot verwendet. Dieses Hartlot ist zum Löten von Hartmetallen und schwer benetzbaren Stoffen geeignet. Desweiteren wird ein zum Löten von Hartmetallen und CrNi-Stählen geeignetes Flussmittel verwendet. Zur Durchführung der Untersuchungen wird ein Pyrometer der Serie SE 200 der Firma Amtron ausgewählt und in die Anlage integriert. Der Pyrometer-sensor detektiert die Bearbeitungstemperatur und ermöglicht so die material- und geschwindigkeitsabhängige Regelung der Laserleistung. Das Pyrometer

ist coaxial zum Strahlengang des Bearbeitungslasers in den optischen Aufbau integriert. Über einen dichroitischen Spiegel wird der Bearbeitungslaser von der Bearbeitungsoptik auf das Werkstück fokussiert. Durch den dichroitischen Spiegel und die Bearbeitungsoptik hindurch beobachtet das Pyrometer die Prozesszone. Die koaxiale Anordnung des Pyrometers stellt sicher, dass während der Bearbeitung die Prozesszone immer auf den Sensor abgebildet wird.

Ergebnisse und Anwendungen

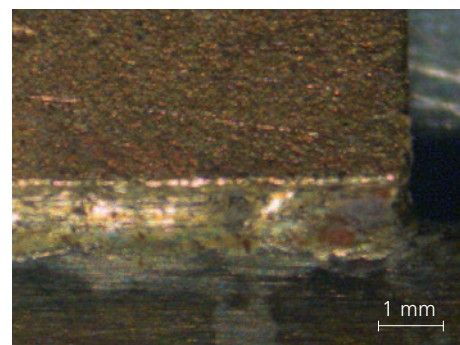
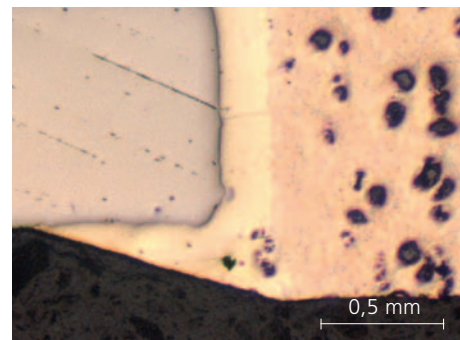
Im Rahmen der Untersuchungen wurden die für den Prozess signifikanten Parameter wie Laserleistung, Bearbeitungsgeschwindigkeit und Flussmittel ermittelt. Es zeigte sich die Notwendigkeit einer Prozessregelung, um einerseits Überhitzungen und Porenbildung zu vermeiden. Andererseits muss auch eine minimale Temperatur erreicht werden, um das Lot vollständig aufzuschmelzen und eine Benetzung der beiden Fügepartner über die gesamte Breite zu erzielen. Durch die Anpassung des Laserfokus und des damit verbundenen Wechselwirkungsbereichs konnte mithilfe geeigneter Regelparameter eine Stabilisierung der Fügeergebnisse durch Einsatz der pyrometrisch basierten Prozessregelung erreicht werden.

Ansprechpartner

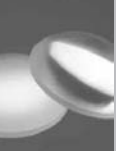
Dipl.-Ing. Stefan Mann
Telefon 0241 8906-321
stefan.mann@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Felix Schmitt
Telefon 0241 8906-322
felix.schmitt@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Querschliff einer hartgelöteten Fügeverbindung.
Unten: Bronze-Stahl-Verbindung mit Silberhartlot.



Aufgabenstellung

Der Zwang zur Energie- und Ressourcenschonung forciert den Trend, Bauteile aus einer Vielzahl beanspruchungsgerecht funktionaler Werkstoffe zu gestalten. Im Leichtbau bedeutet dies vermehrt, dass Metall- mit Kunststoffkomponenten kombiniert werden müssen. Mit dieser Hybrid-Technologie können die Vorteile beider Materialien zusammengefasst werden. Bei gleichzeitig geringerem Gewicht kann eine höhere Funktionalität erzielt werden. Um die speziellen Vorteile der beiden verschiedenartigen Werkstoffe optimal kombinieren zu können, müssen die Kunststoff-Metall-Bauteile langfristig stabil miteinander verbunden werden.

Vorgehensweise

Im Rahmen des Exzellenzclusters der RWTH Aachen »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« werden für diese Aufgabe unterschiedliche Ansätze zur Verbindung von Metall und Kunststoff verfolgt. Bei einem neuartigen Verfahren wird mit einer Kombination aus adhäsiver Verbindung und einem Formschluss der Kunststoffkomponente im Metallbauteil eine hochfeste Verbindung erzielt. Dazu wird auf dem Metallbauteil eine Oberflächenstrukturierung mit Punkt-, Linien- und Kreuzmuster mittels Nd:YAG-Laserstrahlung eingebracht. Anschließend werden die strukturierten Edelstahlproben mit den transparenten Kunststoffproben im Kontur- oder Quasi-Simultanfügeprozess durch Diodenlaserstrahlung verbunden.

Ergebnisse und Anwendungen

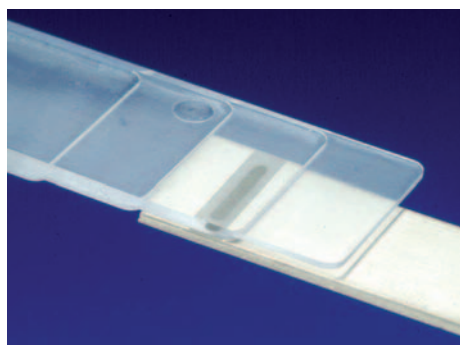
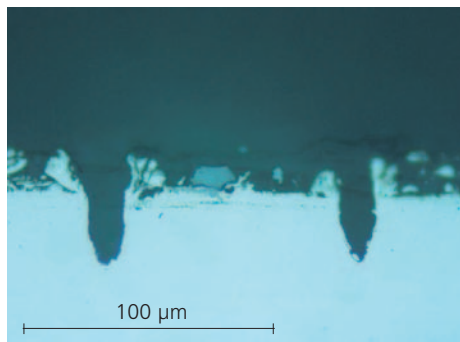
Für die Verbindung Kunststoff-Metall wurden verschiedene Werkstoffpaarungen sowie Bestrahlungsarten untersucht. Durchgeführte Zugversuche zeigen bei allen verwendeten Kunststoffen vielversprechende Resultate mit guten Festigkeitswerten.

Durch die Mikrostrukturierung der Metalloberfläche und die dadurch realisierten Hinterschnitte können Kunststoffe mit Metall dauerhaft verbunden werden. Da teilweise mehr als 50 Prozent der Materialfestigkeit erreicht werden, ist die mechanische Verkrallung für industrielle Anwendungen im Bereich der hybriden Bauteile realisierbar. Mit einem neuen Ansatz für eine spezielle Strukturierungsgeometrie soll die Festigkeit weiter gesteigert und darüber hinaus auch eine Mediendichtheit erzielt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Andreas Roesner
Telefon 0241 8906-158
andreas.roesner@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Querschliff einer lasergeschweißten Verbindung.
Unten: Hybrid-Probe (Stahl-Polycarbonat).

Aufgabenstellung

Prozesssicherheit und -robustheit sind wesentliche Randbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz von Laserverfahren in der Industrie. Dies gilt auch für das Laserstrahlschweißen von Kunststoffen, bei dem die Bearbeitungsqualität stark von Werkstoff und Geometrie abhängt. In der realen Produktionsumgebung sind häufig Variationen der Bauteileigenschaften, z. B. Änderung der Absorberkonzentration oder Gestaltungsabweichungen, zu verzeichnen, die einen entscheidenden Einfluss auf die Schweißqualität haben. Um hier eine gleichbleibende Bearbeitungsqualität gewährleisten zu können, müssen Verfahren bereitgestellt werden, die selbständig auf Prozessvariationen reagieren können.

Durch das am Fraunhofer ILT entwickelte TWIST® Verfahren für das Laserstrahlschweißen von Kunststoffen, bei dem eine optimierte und kontrollierbare Energieeinbringung möglich ist, können die Robustheit des Schweißprozesses und gleichzeitig die Geschwindigkeit erhöht werden.

Vorgehensweise

Bei dem TWIST® Verfahren ist der Vorschubbewegung eine hochdynamische Bewegung überlagert. In einer Variante des Verfahrens kann der Laserstrahl während der Vorschubbewegung entlang der Schweißkontur auf einer Kreisbahn bewegt werden. Auf diese Weise werden ein homogenerer Wärmeeintrag ins Material und eine reduzierte Wärmeeinflusszone erzeugt.

Für die Schweißversuche wird ein Faserlaser der Firma IPG mit einer maximalen Leistung von 20 W eingesetzt. Der Vorschub und die überlagerte hochdynamische kreisförmige Bewegung werden mit einem Galvanometerscanner ScanCube 7 der Firma Scanlab realisiert.

Ergebnisse und Anwendungen

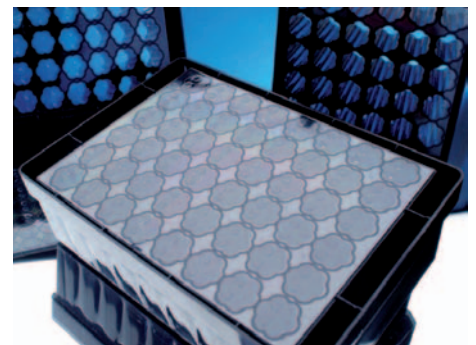
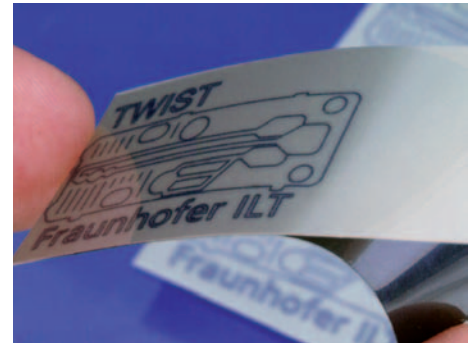
Das TWIST® Verfahren stellt durch die überlagerte Bewegung zusätzliche Parameter zur Verfügung (z. B. Frequenz oder Amplitude), um den Wärmeeintrag in der Wechselwirkungszone zu beeinflussen. Bei richtiger Auswahl der Prozessparameter kann eine bessere Spaltüberbrückbarkeit im Vergleich zum normalen Konturverfahren erreicht werden. Des Weiteren führt die hohe Bahngeschwindigkeit innerhalb der Konturinkremente zu einem homogenen Energieeintrag ins Material und zu einer deutlich reduzierten Tiefe der Wärmeeinflusszone mit einer sehr flachen Ausprägung im Gegensatz zum konventionellen Schweißen mittels Diodenlasern.

Der Einsatz einer fein fokussierten Faserlaserstrahlung erlaubt eine schnelle Erwärmung des Materials und dadurch eine hohe Prozessgeschwindigkeit.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Andrei Boglea
Telefon 0241 8906-217
andrei.boglea@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: TWIST® Schweißen von Hochleistungspolymeren (PEEK) im Sekundentakt.

Unten: Verbesserte Spaltüberbrückbarkeit für die Verschweißung von Mikrotiterplatten.

Aufgabenstellung

Durch die fortlaufende Miniaturisierung in der Halbleiterindustrie und in Mikrosystemen gewinnt die Temperaturbelastung von empfindlichen, multifunktionalen Chips beim Packaging mehr und mehr an Bedeutung. Bei Silizium-basierten Mikrosystemen und dem hierbei eingesetzten konventionellen flächigen Bonden können die funktionalen Bereiche der Chips durch die Temperaturbelastung beschädigt werden. Das Lasertransmissionsbonden (LTB) mit selektiver Wärmeeinbringung ermöglicht demgegenüber eine kleine Wärmeeinflusszone entlang der Packaging-Frames. Die Chips können somit ohne bzw. mit nur sehr geringer Temperaturbelastung in den funktionalen Bereichen auf Wafer-Level oder Chip-Ebene gebondet werden.

Vorgehensweise

Das Prinzip des Lasertransmissionsbondens beruht auf dem Transmissionsfügen, wobei die Laserstrahlung den oberen Fügepartner durchdringt und an der Grenzfläche die zum Bonden nötige Temperatur erzeugt werden muss. Beim Bonden von Silizium mit Silizium werden hierzu an der Grenzfläche absorbierende metallische Zwischenschichten eingesetzt, die auf dem Chip ebenso als funktionale Leiterschichten dienen können. Für die Materialpaarung Silizium-Silizium wird ein Faserlaser mit einer Wellenlänge über $1,5\ \mu\text{m}$ eingesetzt. Die Energie des Laserstrahls wird in der Grenzfläche in Wärme umgesetzt und eine Fügeverbindung wird nach Ablauf von thermo-chemischen Reaktionen erzielt.

Ergebnisse und Anwendungen

Für Laserleistungen zwischen 20 - 30 W und Verfahrensgeschwindigkeiten von $v = 100\ \text{mm/min}$ können schmelzfreie, selektive Bondkonturen sowie flächige Bondungen erzielt werden.

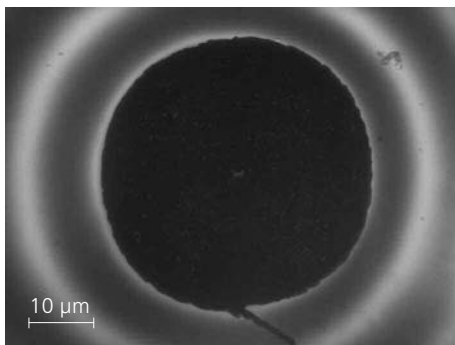
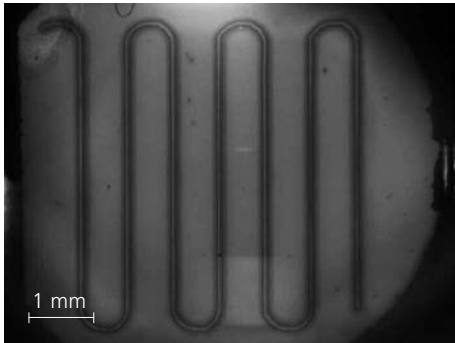
Die Arbeiten zur Realisierung von flächendeckenden Bondungen zeigen, dass bei Energieeinbringung mit einfachem Konturscannen wegen der zu hohen Energieeinbringung thermische Spannungen und somit Risse entstehen können. Über die Energiedeposition durch Mehrfachscannen mit geringer Laserleistung können beispielsweise flächige Bondungen ohne Risse erzielt werden. Dabei werden Laserleistungen von 12 - 16 W zweifach mit einer Verfahrensgeschwindigkeit von bis zu $v = 200\ \text{mm/min}$ eingesetzt.

Schwerpunkt zukünftiger Arbeiten wird bei der mikrostrukturellen Charakterisierung der erzielten Ergebnisse liegen. Die Qualifizierung der mechanischen Festigkeit und die Übertragung der Ergebnisse auf Wafer-Level-Bonden sind geplante Arbeiten.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Fahri Sari
Telefon 0241 8906-358
fahri.sari@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Selektive, schmelzfreie Bondung.

Unten: Flächige Bondung.

Aufgabenstellung

In der Mikrosystemtechnik und Sensorik müssen funktionale Bauelemente, wie z. B. mikromechanische Bewegungssensoren, dauerhaft vor Umgebungseinflüssen geschützt werden. Dabei werden hohe Anforderungen an die mechanische und thermische Stabilität der Fügeverbindung gestellt. Das Glasfritbenden hat sich hier gegenüber anderen Verfahren industriell etabliert. Mit dem Einsatz temperatur-empfindlicher funktionaler Schichten und Einzelkomponenten in diesen Bauteilen kann das bei hohen Temperaturen arbeitende offenbasierte Glasfritbenden jedoch nicht mehr verwendet werden.

Vorgehensweise

Das Laserstrahl-Glasfritbenden stellt eine Möglichkeit dar, Glas-Silizium-Bauteile mit niedriger Temperaturbelastung für die Komponenten bei räumlich begrenzter Fügezone zu verbinden. Die lokale Energieeinbringung mit selektiver Laserbestrahlung durch einen der Fügepartner hindurch bewirkt eine zeitlich und geometrisch begrenzte Aufheizung und in der Folge ein Fließen und Benetzen des Glaslotes. Dabei kann ein Abdampfen von Glaslotbestandteilen vermieden werden.

Eine wesentliche Voraussetzung für einen erfolgreichen Lötprozess ist eine ausreichende Strahlungsabsorption im verwendeten Glaslot. Die Strahlungsenergie wird in Wärmeenergie umgesetzt und bewirkt ein Schmelzen des Glaslotes. Der Kontakt von Lot und Fügepartner, der durch einen geringen Druck gewährleistet wird, führt zur Benetzung des lotfreien Fügeteils. Auf diese Weise wird das Siliziumteil mit dem mit Lot vorverglasten Deckglas verbunden.

Ergebnisse und Anwendungen

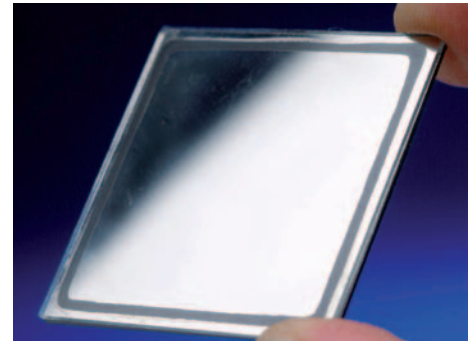
Die Aufheizung des Glaslotes erfolgt quasisimultan durch mehrfaches Ab-scannen der Fügekontur mit hohen Scangeschwindigkeiten des Laserstrahls ($> 800 \text{ mm/s}$). In der Fügezone wird so eine gleichmäßige Erwärmung, Aufschmelzung und Verbindungsbildung des Glaslotes erreicht, was wiederum zu einem gleichmäßigen »Einsinken« des zweiten Fügepartners führt. Der »Fügeweg« kann bei einer Lothöhe von $75 \mu\text{m}$ bis zu $50 \mu\text{m}$ betragen. Das simultane Erwärmen und Einsinken der gesamten Kontur minimiert die Entstehung von thermischen Spannungen. Die so hergestellten Lotnähte zeichnen sich durch ihre Formschlüssigkeit ebenso wie durch eine blasen- und rissfreie Verbindungsbildung aus.

Zu den möglichen Anwendungen dieser Verbindungstechnik zählen beispielsweise die Kapselung und Herstellung von Mikrosensoren und Mikroaktuatoren.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Heidrun Kind
Telefon 0241 8906-490
heidrun.kind@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Mittels Glaslot verlötete Silizium/Glas Probe.

Aufgabenstellung

Um den thermodynamischen Wirkungsgrad von stationären und instationären Gasturbinen zu vergrößern, werden neue Materialien auf ihre Einsetzbarkeit im Hochtemperaturbereich untersucht. Ceramic Matrix Composites (CMC) sind eine Werkstoffgruppe, die aufgrund ihrer mechanischen, thermischen und chemischen Eigenschaften für einen Einsatz in Gasturbinen in Betracht gezogen werden. CMCs zeichnen sich durch große Bruchdehnungen gegenüber nicht faserverstärkten Keramiken aus und erreichen Werte, die mit Grauguss vergleichbar sind. Entscheidend für die Werkstoffeigenschaften der CMCs ist, dass sich die keramischen Fasern innerhalb der ebenfalls keramischen Matrix bewegen können, um so bei Verformungen Energie abzubauen und eine Lastübertragung von Matrix zu Faser so weit einzuschränken, dass Rissausbreitung reduziert wird.

CMCs können mechanisch nur schwer bearbeitet werden. Derzeit werden vor allem Werkzeuge mit Diamantbeschichtung verwendet. Ziel der Untersuchungen ist, das Laserstrahlbohren als Fertigungsverfahren für CMCs einzusetzen (z. B. für Kühlluftbohrungen), ohne dabei die Matrixstruktur des Materials zu zerstören.

Vorgehensweise

Zwei CMC-Materialien, C/SiC (Bild oben) und SiC/SiC werden durch mehrere Bohrreihen mit Nd:YAG-Laserstrahlung auf ihre Bearbeitbarkeit überprüft. Die variierten Verfahrensparameter sind Pulsenergie, Pulszahl und Fokusslage. Die erzielten Bohrungen werden anhand von Längsschliffen ausgewertet. Insbesondere werden die Fasern auf Schäden wie Aufquellen und Abbrand untersucht.

Ergebnisse und Anwendungen

Das C/SiC weist nach dem Bohren durch die Laserstrahlung klar begrenzte Bohrungswände auf, die Faserenden sind unbeschädigt (Bild Mitte). An der Bohrungswand bilden sich teilweise dünne Recast-Schichten mit Dicken zwischen ca. 3 - 20 µm. Beim SiC/SiC werden zuerst die Fasern von der Laserstrahlung abgetragen, da diese aufgrund von Verunreinigungen (wie z. B. Sauerstoff und Titan) eine kleinere Zersetzungstemperatur aufweisen als die Matrix (Bild unten).

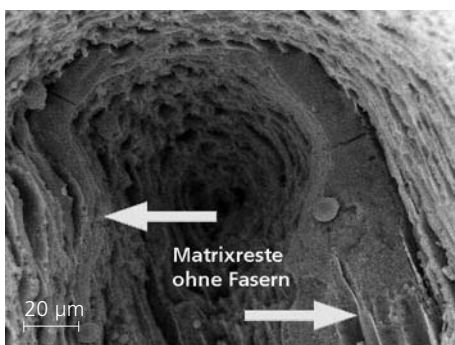
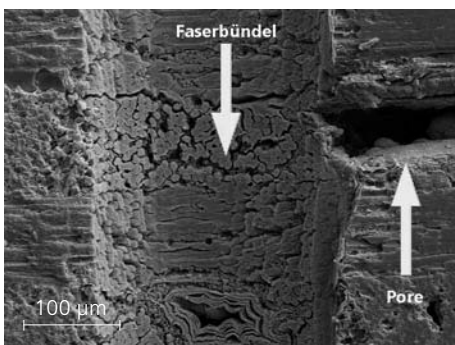
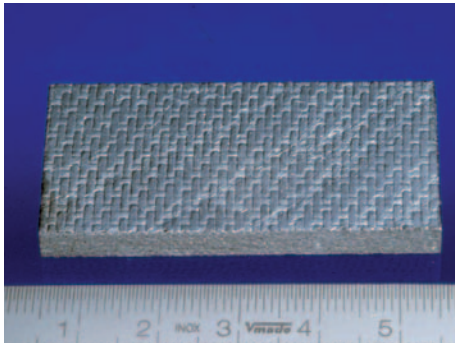
Die beiden untersuchten keramischen Faserverbundwerkstoffe können mit Nd:YAG-Laserstrahlung gebohrt werden. Ein unkontrollierter Abbrand oder ein Aufquellen der Faserenden wird nicht beobachtet. Trotz der Faserstruktur sind die Bohrungswände klar definiert mit Recast-Schichten < 20 µm. Die Bohrungstiefe lässt sich mittels Pulszahl und Pulsenergie einstellen. Das Bohren mit Laserstrahlung bietet daher eine Alternative zu mechanischen Bearbeitungsverfahren mit diamantbeschichteten Werkzeugen.

Ansprechpartner

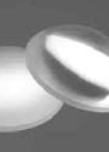
Dipl.-Ing. Kurt Walther
Telefon 0241 8906-409
kurt.walther@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Mihael Brajdic
Telefon 0241 8906-205
mihael.brajdic@ilt.fraunhofer.de

Dr. Ingomar Kelbassa
Telefon 0241 8906-356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Oben: Unbehandelte C/Si-Probe.
Mitte: Längsschliff einer mit 10 Pulsen bei 3,5 J/Puls gebohrten C/SiC-Probe. Auf der Bohrungswand sind unbeschädigte Faserenden erkennbar.
Unten: Aufsicht einer Einzelpulsbohrung in SiC/SiC mit Matrixresten.



Aufgabenstellung

Wasserstrahlentgraten wird angewendet, um Werkstücke, bei denen alternative Verfahren wie z. B. Schleifen an technische oder wirtschaftliche Grenzen stoßen, zu entgraten. Dabei wird ein Druck von bis zu 1100 bar erzeugt, so dass der Wasserstrahl mit einer großen kinetischen Energie nicht nur Grate an den Bearbeitungskanten und schwer zugänglichen Entgratstellen in Verschneidungen und Bohrungen abträgt, sondern auch Späne und sonstige anhaftende Verunreinigungen im Werkstück entfernt. Die Werkstoffe unterliegen beim Entgraten keinerlei thermischer Beeinflussung. Um den Wasserstrahl gezielt an die Entgratstellen zu führen, werden bauteilspezifische Hochdruckdüsen benötigt. Die Hochdruckdüsen mit individuellen Geometrien werden durch Laserstrahlbohren in einem Arbeitsschritt gefertigt.

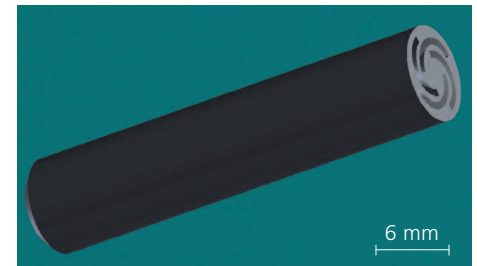
Vorgehensweise

Die Geometrie der Hochdruckdüse ist abhängig von der Form und Lage der Entgratstelle sowie des erforderlichen Strömungsquerschnitts. Teilweise sind Hochdruckdüsen mit komplexen dreidimensionalen Geometrien erforderlich. Die Hochdruckdüsen werden in einem CAD-Programm konstruiert. Durch einen Postprozessor werden die Bohrungsgeometrien in Zaun- und Netzflächen zerlegt und Werkzeugbahnen generiert. Die Werkzeugbahnen werden in einen Datensatz für die numerische Steuerung der Laserbohranlage ausgegeben. Die Hochdruckdüsen werden unter Vorgabe der Vorschubgeschwindigkeit und Verfahrensparameter (Pulsdauer, Repetitionsrate, Pulsenergie, Prozessgasart und -druck)

gefertigt. Nach dem Laserstrahlbohren werden die Hochdruckdüsen nitriert, um den abrasiven Verschleiß zu verkleinern und die Standzeit der Hochdruckdüsen zu vergrößern.

Ergebnisse und Anwendungen

Hochdruckdüsen mit verschiedenen komplexen Geometrien werden für das Wasserstrahlentgraten durch 5-Achs-Bohren (Trepanieren) gefertigt. Die Nutzung spezieller Werkzeuge wie beim funkenerosiven Bohren bzw. Senken entfällt, so dass individuelle Düsengeometrien ohne Werkzeugwechsel und -verschleiß hergestellt werden können. Die vorgegebenen Geometrien der Hochdruckdüsen werden mit einer Toleranz von $\pm 15 \mu\text{m}$ erzielt. Die Standzeit der Hochdruckdüsen ist abhängig vom Arbeitsdruck des Wasserstrahls und beträgt mehrere hundert Stunden.

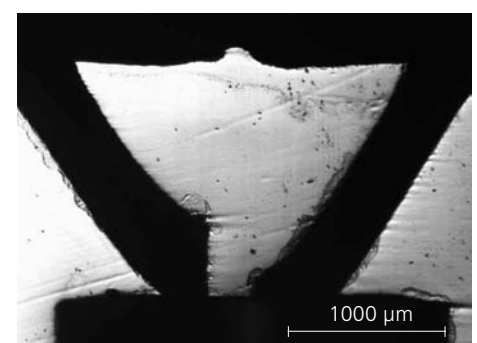


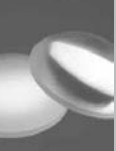
Oben: CAD-Modell einer Lanzenspitze mit Hochdruckdüse.
Mitte: Aufsicht einer Hochdruckdüse.
Unten: Längsschliff einer Hochdruckdüse.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jens Dietrich
Telefon 0241 8906-479
jens.dietrich@ilt.fraunhofer.de

Dr. Ingomar Kelbassa
Telefon 0241 8906-356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de





Aufgabenstellung

Bei der Herstellung von Mikrobohrungen mit Durchmessern kleiner $100\text{ }\mu\text{m}$ hat sich das Laserstrahlbohren bereits in vielen Anwendungsbereichen etabliert. Problematisch ist die bei Werkstoffen mit schmelzflüssiger Phase während der Bearbeitung lateral aus der Bohrung heraus fließende Schmelze, die die Güte von Bohrungswandung und Bohrungseintritt beeinflusst. Ziel vieler Verfahrensuntersuchungen des Laserstrahlbohrens ist daher die Reduzierung des Recastbereichs. Eine Möglichkeit dazu bietet das Wendelbohren, bei dem die Laserstrahlung relativ zum Werkstück in Rotation versetzt wird, was zu einer erheblichen Reduzierung des Recastbereichs führt. Wichtig für eine weitere Steigerung der Bohrqualität ist ein umfassendes Verständnis der physikalischen Vorgänge. Außerdem müssen die Parameter des Wendelbohrens ermittelt werden, die die Qualität gezielt beeinflussen.

Vorgehensweise

Für die Untersuchung des Wendelbohrprozesses werden mit verschiedenen Strahlquellen Perkussions- und Wendelbohrungen in Metalle eingebracht. Zur Anwendung kommen dabei gütegeschaltete Festkörperlaser mit einer wirksamen Pulsdauer von einigen Hundert ns bis zu wenigen ps. Die Wendelbohrungen werden mit einer am Fraunhofer ILT entwickelten Wendelbohroptik eingebracht, deren Rotationsgeschwindigkeit von Null (Perkussionsbohrung) bis 16.000 U/min variiert wird. Für die Untersuchung der Präzision werden Raster-Elektronen-Mikroskopaufnahmen (REM) des Bohrungseintritts sowie von Quer- und

Längsschliffen angefertigt. Betrachtet werden dabei auch der zeitliche Verlauf bei der Herstellung einer Wendelbohrung sowie der Einfluss von Wendeldurchmesser und Aufweitungswinkel.

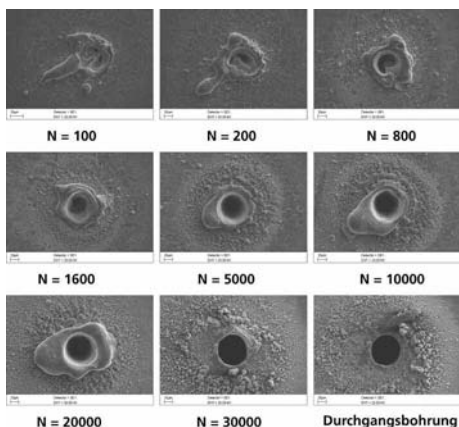
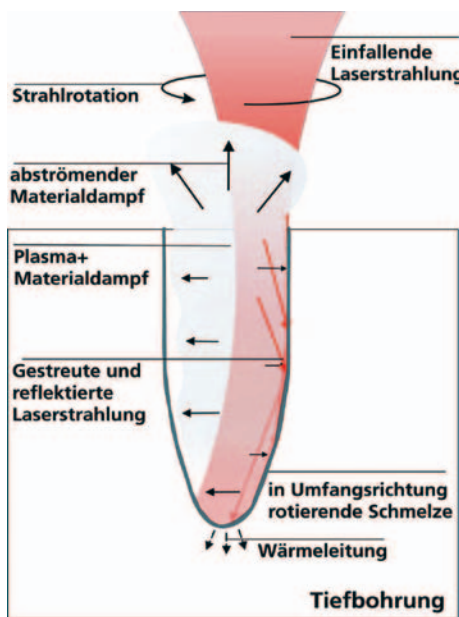
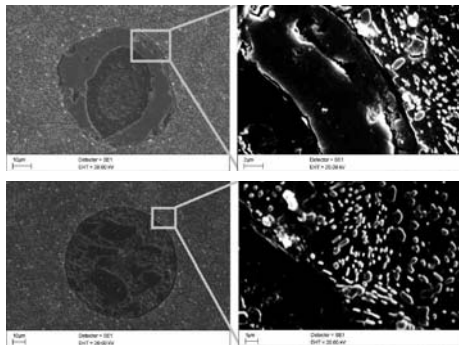
Ergebnisse und Anwendungen

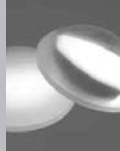
Ausgehend von den Untersuchungsergebnissen konnte ein Modell zum Wendelbohren erstellt werden, das die entstehende Schmelzebildung beschreibt und den Einfluss eines rotierenden Laserstrahls auf die Schmelzedynamik wiedergibt. Als ursächliche Komponente für die Präzisionssteigerung wird eine rotierende Schmelzbewegung entlang der Bohrungswandung identifiziert. Hierdurch legt sich die Schmelze an der gesamten Wandungsfläche gleichmäßig an und wird anschließend von der rotierenden Laserstrahlung verdampft. Dieser Prozess konnte sowohl für ps- als auch ns-Pulse beobachtet werden. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass mit Pulsdauern im Bereich mehrerer Nano-Sekunden hergestellten Bohrungen vergleichbar mit denen mit ultrakurzen Pulsen hergestellten Bohrungen sind. Aufgrund der wesentlich größeren Abtragsraten von kurz gegenüber ultrakurz gepulsten Lasern ergeben sich als Einsatzgebiete Anwendungen, bei denen neben der Präzision auch die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund steht.

Ansprechpartner

Dr. Welf Wawers
Telefon 0241 8906-311
welf.wawers@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon: 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de





Aufgabenstellung

Für die Herstellung von Bohrungen mit Laserstrahlung werden verschiedene Bohrtechniken wie z. B. Einzelpuls-, Perkussions- oder Trepanierbohren verwendet. Der Einsatz von Doppelpulsen für das Laserstrahlbohren ist bisher wenig untersucht worden. Der wesentliche Einsatzzweck ist die Vergrößerung der Abtragsrate oder der Plasmaemissivität. Dadurch wird beispielsweise eine präzisere Diagnose des Plasmas bei der Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) ermöglicht.

Vorgehensweise

In Edelstahl mit einer Materialdicke von 1 mm werden Sacklochbohrungen mit Nanosekunden-Doppelpulsen eingebracht. Die verwendete Strahlquelle besteht aus zwei Kavitäten, die unabhängig voneinander mit einer Repetitionsrate von 1 kHz angesteuert werden können. Der Pulsabstand Δt zwischen den Pulsen wird von 5 bis 800 ns, die Pulszahl von 5 bis 10.000 variiert. Die Pulsenergie beträgt 1,4 mJ für den ersten Puls und 1,8 mJ für den zweiten Puls bei einer Wellenlänge der emittierten Laserstrahlung von 1064 nm und einer Pulsdauer von jeweils 5 ns. Der Fokus der Laserstrahlung mit einem Durchmesser von 35 μm wird auf der Materialoberfläche positioniert. Nach der Anfertigung von Längsschliffen werden die Bohrungen mikrostrukturell untersucht und vermessen (Bild oben).

Ergebnisse und Anwendungen

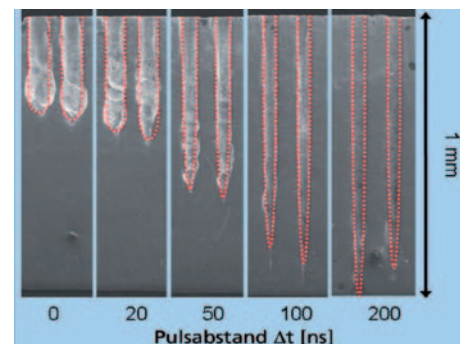
Die Bohrungstiefen hängen signifikant vom Pulsabstand Δt beim Bohren mit einer konstanten Pulszahl von 5000 Pulsen ab (Bild Mitte). Bei einem Pulsabstand von 100 - 200 ns erreicht die Bohrungstiefe ein Maximum und nimmt bei kleineren und größeren Pulsabständen Δt ab.

Die Abhängigkeit der Bohrungstiefe von der Pulszahl beim Bohren mit Einzel- und Doppelpulsen zeigt, dass die Bohrungstiefe für die ersten 20 Pulse vergleichbar ist (ca. 30 μm). Bis zu einer Pulszahl von ca. 2000 führt das Bohren mit Doppelpulsen zu einer signifikant vergrößerten Bohrtiefe (ca. 650 μm) im Vergleich zum Bohren mit Einzelpulsen (ca. 130 μm). Eine weitere Vergrößerung der Pulszahl führt zu einer verkleinerten Bohrgeschwindigkeit, resultierend in einer Bohrungstiefe von ca. 200 μm beim Bohren mit Einzelpulsen bzw. 780 μm beim Bohren mit Doppelpulsen nach 10.000 Pulsen (Bild unten).

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Mihael Brajdic
Telefon 0241 8906-205
mihael.brajdic@ilt.fraunhofer.de

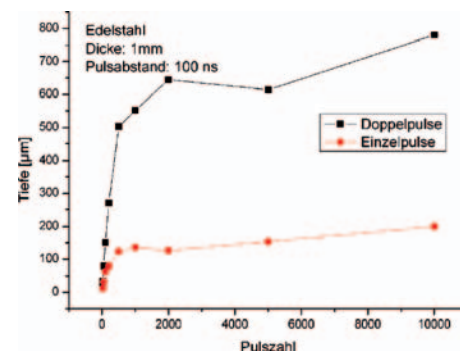
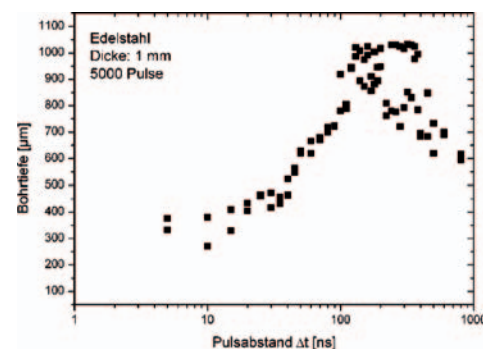
Dr. Ingomar Kelbassa
Telefon 0241 8906-143
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de

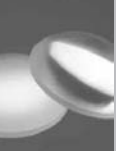


Oben: Längsschliffe der Bohrungen für unterschiedliche Pulsabstände Δt .

Mitte: Bohrungstiefe in Abhängigkeit des Pulsabstands Δt für eine Pulszahl von 5000 Pulsen beim Bohren von Edelstahl mit der Dicke 1 mm.

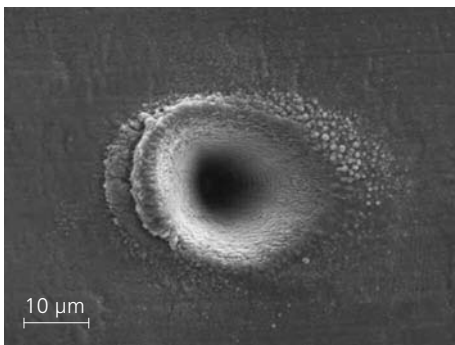
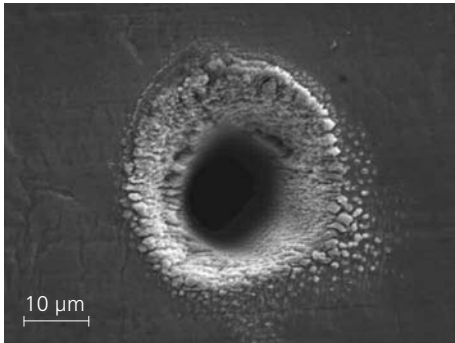
Unten: Bohrungstiefe in Abhängigkeit der Pulszahl für einen Pulsabstand Δt von 100 ns.





Aufgabenstellung

Beim Bohren mit Laserstrahlung mit Pulsdauern im Nanosekunden- bzw. Mikrosekunden-Bereich wird ein großer Teil des Materials in Form von Schmelze abgetragen. Der Einsatz von Femtosekunden-Laserstrahlung ermöglicht einen hochpräzisen Abtrag, indem der größte Teil des Materials in Form von Dampf abgetragen wird. Dies führt im Vergleich zu Laserstrahlung mit Pulsdauern im Nanosekunden- bzw. Mikrosekunden-Bereich zu einer größeren Reproduzierbarkeit und Präzision der Bohrungen bei verkleinerter Produktivität aufgrund des kleinen Abtrags pro Puls. Ziel ist die Erzeugung von möglichst kleinen Bohrungen in Metallfolien mit Foliendicken von ca. 50 μm .



Oben: REM-Aufnahme einer Aufsicht einer Bohrung in 50 μm Stahlfolie mit fs-Laserstrahlung (Repetitionsrate 100 kHz): Eintrittsdurchmesser: ca. 25 μm , Austrittsdurchmesser: ca. 10 μm .

Unten: REM-Aufnahme einer Aufsicht einer Bohrung in 50 μm Stahlfolie mit fs-Laserstrahlung (Repetitionsrate 500 kHz): Eintrittsdurchmesser: ca. 20 μm , Austrittsdurchmesser: ca. 3 μm .

Ergebnisse und Anwendungen

Die Folien mit einer Dicke von 50 μm können mit Repetitionsraten von 100-500 kHz durchbohrt werden. Die erzeugten Bohrungen werden mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) untersucht. Die erzielten Bohrungsdurchmesser hängen signifikant von der verwendeten Repetitionsrate ab. Die Bohrungen weisen eine konische Bohrungsform auf. Bei 100 kHz werden Eintrittsdurchmesser von ca. 25 - 30 μm und Austrittsdurchmesser von ca. 10 μm erzielt. Eine Vergrößerung der Repetitionsrate auf 500 kHz führt zu einer Verkleinerung der Eintrittsdurchmesser auf ca. 20 μm und der Austrittsdurchmesser auf ca. 3 μm .

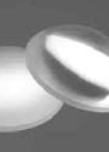
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Mihael Brajdic
Telefon 0241 8906-205
mihael.brajdic@ilt.fraunhofer.de

Dr. Ingomar Kelbassa
Telefon 0241 8906-143
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de

Vorgehensweise

In Edelstahlfolien mit einer Materialdicke von 50 μm werden Bohrungen mit Femtosekunden-Laserstrahlung eingebracht. Die verwendete Strahlquelle IMRA μJewel emittiert Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 1045 nm, Pulsdauern < 500 fs und Pulsenergien von bis zu 10 μJ . Der Fokus der Laserstrahlung mit einem Durchmesser von ca. 35 μm wird auf die Materialoberfläche positioniert. Die Repetitionsrate wird von 100 kHz bis 5 MHz variiert.



Aufgabenstellung

Verfahrensparameter wie das verwendete Prozessgas, die Repetitionsrate, die Pulsdauer und die Pulsenergie haben beim Perkussionsbohren mit Laserstrahlung einen signifikanten Einfluss auf die Bohrgeschwindigkeit sowie die erzielbare geometrische und metallurgische Qualität der Bohrungen. Während des Bohrens entstehende Verschlüsse und die daraus resultierende Verkleinerung der Produktivität sowie der Qualität werden in der Regel mittels metallographischer Untersuchungen diagnostiziert. Dazu wird die laterale Thermografie eingesetzt. Während des Bohrens nahe am Probenrand des Materials sollen sowohl die entstehenden Verschlüsse als auch die Temperaturverteilung in Abhängigkeit von Verfahrensparametern wie Prozessgasart oder Repetitionsrate untersucht werden.

Vorgehensweise

In Edelstahl mit Materialdicken von bis zu 15 mm werden Bohrungen in einem Abstand von ca. 150 µm zum Probenrand eingebracht. Mittels Thermografie wird die Temperaturverteilung der Probe lateral zur Bohrungsrichtung beobachtet. Dadurch lassen sich entstehende Verschlüsse online während des Bohrens diagnostizieren: Der in das Material fortschreitende Bohrungsgrund ist über die vergrößerte Temperatur durch die Absorption der Laserstrahlung am Bohrungsgrund in den Aufnahmen der Thermografie sichtbar. Während des Bohrens entstehende Verschlüsse bilden einen neuen Bohrungsgrund, welcher durch den Energieeintrag der Laserstrahlung erwärmt wird. Der Verschluss ist durch ein verändertes Wärmebild sichtbar, da die erwärmte Stelle an einer anderen Position der Bohrung lokalisiert ist.

Ergebnisse und Anwendungen

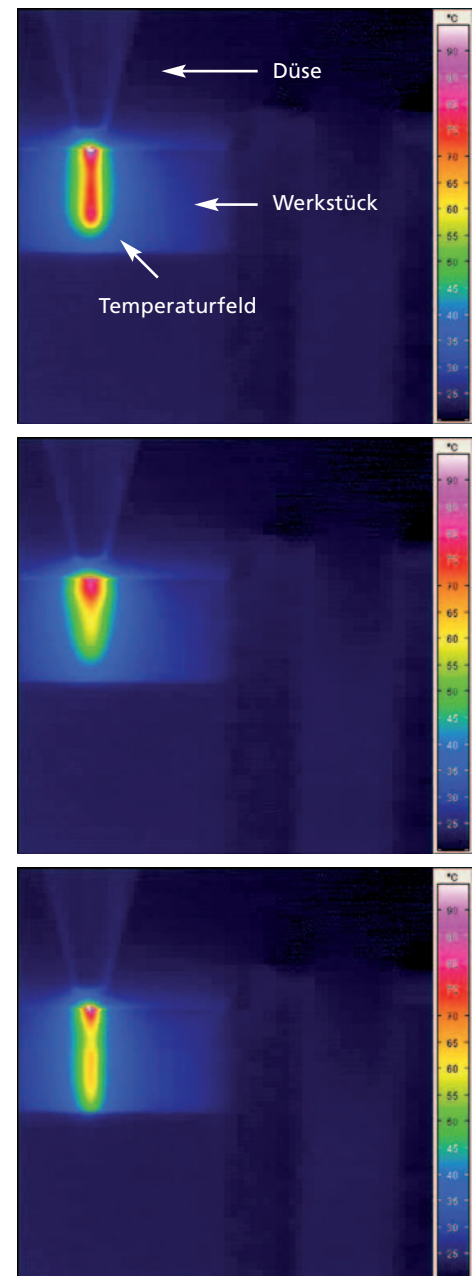
Die Beobachtung läßt auf eine signifikante Abhängigkeit der Verschlussbildung von den verwendeten Prozessgasen schließen. Bei der Verwendung von Sauerstoff werden kaum Verschlüsse festgestellt. Die Verwendung von Argon oder Stickstoff führt zu einer vergrößerten Verschlussbildung, was in einer größeren Bohrdauer resultiert, da während der Entfernung der Verschlüsse durch die Laserstrahlung der Bohrfortschritt zum Erliegen kommt.

Die laterale Thermografie während des Perkussionsbohrens mit Laserstrahlung ermöglicht die online-Diagnose des Bohrfortschritts, die Detektion von Verschlüssen ohne aufwändige ex-situ Diagnose mittels metallographischer Untersuchungen und die Bestimmung der Temperaturverteilung der Probe während des Bohrens. Die Ergebnisse können für eine Optimierung von Prozessgasart und -druck verwendet werden.

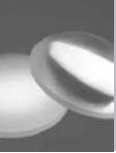
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Mihael Brajdic
Telefon 0241 8906-205
mihael.brajdic@ilt.fraunhofer.de

Dr. Ingomar Kelbassa
Telefon 0241 8906-143
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Thermografische Aufnahmen während des Perkussionsbohrens (oben: 60 s, Mitte: 100 s, unten: 300 s).

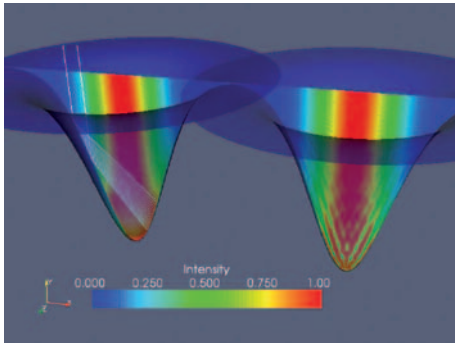


Aufgabenstellung

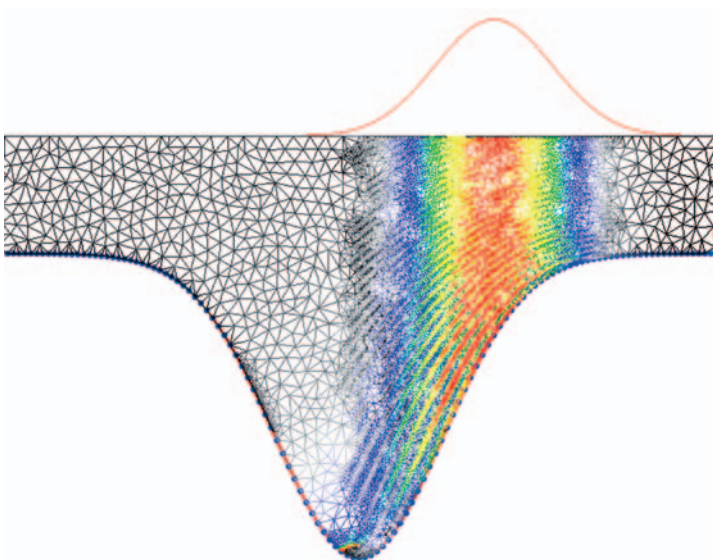
Die Ausbildung des Abtragsprofils und der Schmelzströmung innerhalb einer mit Laserstrahlung erzeugten Bohrung wird wesentlich von der Verteilung der eingebrachten Strahlungsleistung bestimmt. Die Aufgabenstellung besteht darin, den Strahlungstransport innerhalb einer Bohrung zu beschreiben und ihn in der Prozesssimulation für die Einkopplung der Strahlungsenergie in das Werkstück zu nutzen. Die sich ausbildenden Interferenzstrukturen sind zusätzlicher Ausgangspunkt von Störungen in der Schmelzströmung und daher z. B. für die Bildung von Schmelz-Verschlässen relevant.

Vorgehensweise

Um eine neue Qualität der Simulation des Bohrens zu erreichen, werden die Modelle zur Berechnung des Abtragsprofils, der Temperatur, der Schmelzströmung und des Strahlungstransports gekoppelt.



Oben: Visualisierung des Strahlungsfeldes in einer Bohrung.
Unten: Adaptive Vernetzung der Bohrung.



Die Berechnung des Strahlungstransports erfolgt mit dem am Fraunhofer ILT entwickelten Raytracer, der nun auch auf den Transport der Phase erweitert wurde und damit die phasenrichtige Überlagerung der einzelnen Teilstrahlen ermöglicht. Damit läßt sich jedes beliebige komplexe Wellenfeld aus Beamslets zusammensetzen, die bestimmt sind durch die transportierte Leistung und Phase sowie die Ausbreitungsrichtungen der charakterisierenden Randstrahlen.

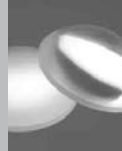
Ergebnisse und Anwendungen

Der bestehende Raytracer »Laser-Ray« ist eine Erweiterung der Simulation »Laser-Drill« des Bohrens. Dabei werden Strahlen verfolgt und Leistungen entlang der Strahlen transportiert. Eine schrittweise Erweiterung der geometrischen Optik ist dabei möglich durch den gleichzeitigen Transport der Phasen entlang der berechneten Strahlen und die phasenrichtige Überlagerung der Strahlung im Propagationsraum bzw. auf den Oberflächen der betrachteten Objekte. Mit dieser Erweiterung lassen sich die Geschwindigkeitsvorteile des Raytracings gegenüber wellenoptischen Verfahren (Fourier-Optik, FDTD, etc.) beibehalten und gleichzeitig Interferenzstrukturen (siehe Abbildungen), die bei der Überlagerung primär einfallender und reflektierter Strahlungsanteile entstehen, analysieren.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Urs Eppelt
Telefon 0241 8906-163
urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon 0241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Für die Funktionalisierung unterschiedlicher Medizinprodukte ist eine hochauflösende Beschichtungstechnologie für Proteine und andere Biomoleküle erforderlich. Im Rahmen des InnoNet-Projekts PROTOPRINT wird eine Anlage entwickelt, mit der nahezu beliebige Muster aus Wirkstoffen, Proteinen oder Zellen selektiv auf Oberflächen aufgetragen werden können. Auf diese Weise soll die Körperverträglichkeit von medizintechnischen Geräten verbessert sowie neuartige in-vitro Testsysteme auf Chip-Basis ermöglicht werden. Insbesondere in den Bereichen Bioanalytik, Medizintechnik und regenerative Medizin sollen neue Produkte mit verbesserten Eigenschaften möglich werden.

Ziel des Projekts ist es, eine Verfahrenstechnik zu entwickeln, die in der Lage ist, komplexe Muster von empfindlichem Material, wie Wirkstoffe, Proteine und Zellen, auf eine Oberfläche aufzubringen.

Vorgehensweise

Um komplexe Strukturen drucken zu können, kommt das innovative Laser-Druckverfahren LIFT (Laser-Induced-Forward-Transfer) zum Einsatz. Dabei kann eine bioaktive Schicht (Zellen, Proteine usw.) auf einem Target mit Absorberschicht durch gezielten Laserabtrag auf ein Substrat übertragen werden (Bild unten). Der Transfer erfolgt über eine laseraktive Absorberschicht, die bei Laserbestrahlung verdampft. Die resultierende Druckwelle transportiert die bioaktive Schicht über kurze Distanzen auf ein Substrat. Durch den Einsatz eines Scanners wird das Verfahren beschleunigt.

Ergebnisse und Anwendungen

Es können Array-Muster in einem Größenbereich von 20 μm - 300 μm generiert werden. Beliebige Raster sind mit diesem Verfahren abfahrbar. Die gezielte Übertragung von vitalen Zellen konnte demonstriert werden. Je nach Zelltyp bedarf es einer Anpassung der Parameter.

Im Gegensatz zu gängigen Verfahren konnten geringe Mengen hochviskoser Flüssigkeiten zuverlässig übertragen werden. Dies ermöglicht ein neues Spektrum an Formulierungsmöglichkeiten für bioaktive Substanzen. Vor allem die Übertragung von Protein- und DNA-Lösungen, ein Problem in der Bioanalytik, kann hierdurch verbessert werden.

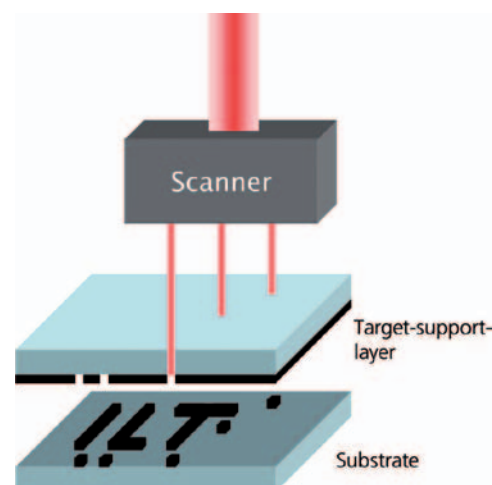
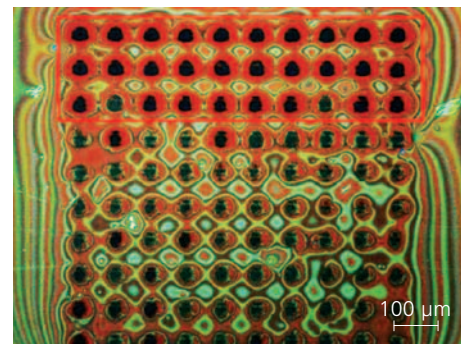
Durch die Möglichkeit, bereits getrocknete Schichten zu drucken, ergeben sich ebenfalls neue Anwendungsgebiete in der Beschichtung von medizintechnischen Geräten und Implantaten. Durch Auswahl geeigneter Zusätze in der Zusammensetzung der Substanzen können Hafteigenschaften maßgeblich beeinflusst werden.

Partner sind die Firmen Arthro Kinetics, Aurentum, BioCat, Boston Scientific TZ, CryLaS, GeSim und das IGVT der Universität Stuttgart.

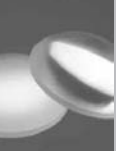
Ansprechpartner

Dipl.-Biol. Dominik Riester
Telefon 0241 8906-529
dominik.riester@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Dünnschicht-Target mit fluoreszierenden Biomolekülen.
Unten: Schema des LIFT-Prozesses.



Aufgabenstellung

Ein diodengepumpter Wellenleiterlaser durch Strukturierung einer abgeschiedenen laseraktiven amorphen Nd:Ga₃Gd₅O₁₂-Schicht ist demonstriert worden. Untersucht wird, ob ein derartiger Wellenleiterlaser durch Abscheidung der Schicht direkt vor einem Halbleiterlaser mit diesem integriert werden kann.

Vorgehensweise

Neodym dotiertes Phosphatglas (LG 760) ist ein mögliches Material, dessen Eignung für die Integration mit einem Halbleiterlaser untersucht wird.

Nd:Phosphatglas-Schichten werden im Vakuum ($P < 0,02$ Pa) mittels PLD unter Verwendung der Excimer-Laserstrahlung (Wellenlänge $\lambda = 193$ nm) und Variation der Substrattemperatur hergestellt. Femtosekunden-Laserstrahlung wird für die Herstellung von planaren Rippenwellenleitern verwendet. Die laseraktiven Schichten werden mittels optischer Spektroskopie charakterisiert. Nd:Phosphatglas-Schichten werden direkt vor einem Halbleiterlaser abgeschieden mit dem Ziel, die spaltfreie Integration zu untersuchen.

Oben: Laserbarren montiert auf einer Wärmesenke.

Mitte: Die Ausbreitung der Lumineszenz in dem strukturierten Wellenleiter aufgenommen mittels einer Infrarot-Kamera.

Unten: Querschliff der Nd:Phosphatglas-Schicht vor dem Diodenlaserbarren (REM-Aufnahme).

Ganz unten: Vergrößerung der Facette an der Übergangsfläche zwischen der Nd:Phosphatglas-Schicht und dem Diodenlaserbarren (REM-Aufnahme).

Ergebnisse und Anwendungen

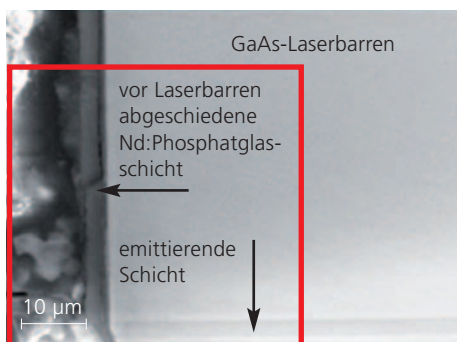
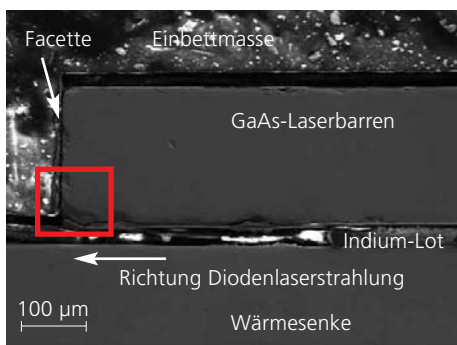
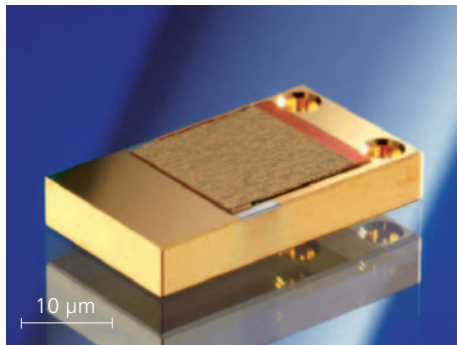
Dropletarme (Anzahl der Droplets < 10 in $1 \times 100 \times 100 \mu\text{m}^3$) Schichten werden bei einer Substrattemperatur von 120°C hergestellt. Eine Dämpfung des Signallichts von $15,4 \text{ dB/cm}$, bedingt durch resonante Absorption der Nd³⁺-Ionen und nichtresonante Streuverluste an Droplets oder Grenzflächenrauigkeit, wird in der Schicht ermittelt. Die nichtresonante Messung der Streuverluste ergab eine resonante Absorption der Nd³⁺-Ionen von ca. 6 dB/cm . Bedingt durch die zusätzliche Streuung an den Kanten des Wellenleiters betrug die Extinktion in der strukturierten Schicht $19,1 \text{ dB/cm}$.

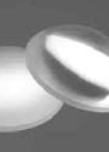
Abscheidung und Strukturierung der aktiven Schicht direkt vor dem Halbleiterlaser ermöglichen die Herstellung von kompakten und hochintegrierten Laserstrahlquellen in kostengünstiger Massenproduktion für den Einsatz in der Beleuchtung oder als gepulste Strahlquellen (Bearbeitungslaser) in der Medizintechnik und Beschriftung.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Dimitri Ganser
Telefon 0241 8906-470
dimitri.ganser@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Gottmann
Telefon 0241 8906-406
jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de





Aufgabenstellung

Das selektive laserinduzierte Ätzen ist ein neues Fertigungsverfahren zur Herstellung von mikrostrukturierten Bauteilen aus transparenten Materialien. Durch den Einsatz eines neu entwickelten Hochgeschwindigkeits-Scansystems mit großer numerischer Apertur ($NA = 0,4 - 0,9$) und Laserstrahlquellen mit großer Repetitionsrate ($f > 1$ MHz) wird eine große Produktivität ($v = 100$ mm/s) bei gleichzeitig großer Präzision ($\Delta x < 1$ μ m) ermöglicht.

Vorgehensweise

Durch Fokussierung von Femtosekundenlaserstrahlung im Volumen von Saphir wird die Struktur lokal modifiziert und dadurch die Ätzbarkeit selektiv um einen Faktor 10.000 vergrößert. Mit großem Pulsüberlapp (> 90 Prozent) werden zusammenhängende Volumina mit einem Querschnitt von ca. 1 μ m modifiziert und anschließend durch chemisches Ätzen in Flusssäure entfernt.

Die Verwendung eines neu entwickelten schnellen Ablensystems erlaubt die Fokussierung der Laserstrahlung mit großer numerischer Apertur ($NA = 0,4 - 0,9$) im Volumen von transparenten Materialien. Scangeschwindigkeiten von einigen 100 mm/s werden bei einem Fokusbereich < 1 μ m erreicht. Neuartige Laserstrahlquellen mit Pulsfrequenzen > 1 MHz und Pulsenergien von einigen μ J können daher mit großer Produktivität für das selektive laserinduzierte Ätzen eingesetzt werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Nach dem Ätzen entstehen sowohl die Mikrobauteile als auch die Ausschnitte (Bilder oben, Mitte und ganz unten). Die Trennflächen weisen eine typische Rauheit von $R_z = 1$ μ m und eine verfahrenstypische periodische Nanostruktur mit einer Periode von ~ 300 nm auf. Saphir einer Dicke von 500 μ m wird mit einer Schnittfugenbreite von ~ 1 μ m getrennt (Bild unten), so dass ein minimierter Verschnitt erzielt wird.

Die Anlagentechnik und die Prozessführung werden im Hinblick auf den Einsatz von zukünftigen Hochleistungs-Femtosekundenlasern weiterentwickelt, um eine kostengünstige und produktive Fertigung von Mikrobauteilen zu ermöglichen. Die Anwendung von komplexen dreidimensionalen Bauteilen in den Bereichen Mikrooptik, Mikrofluidik, Medizintechnik und Mikrosystemtechnik wird untersucht.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Maren Hörstmann-Jungemann
Telefon 0241 8906-472
maren.hoerstmann-jungemann@ilt.fraunhofer.de

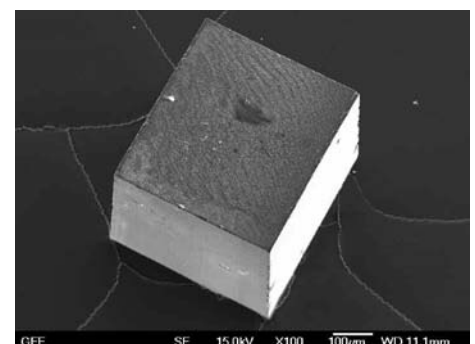
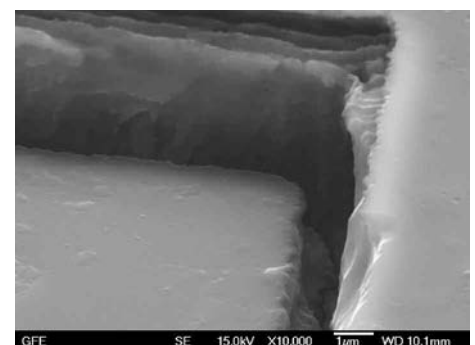
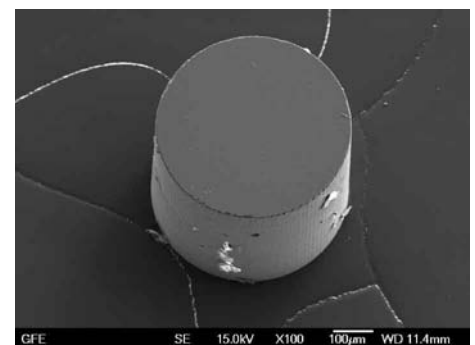
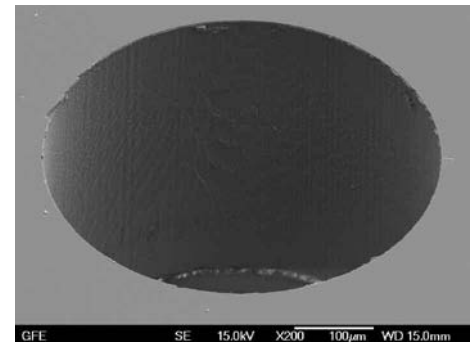
Dr. Jens Gottmann
Telefon 0241 8906-406
jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de

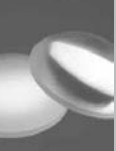
Oben: REM Aufnahme des resultierenden Lochs in Saphir, Dicke 460 μ m.

Mitte: REM Aufnahme des ausgeschnittenen Zylinders aus Saphir.

Unten: REM Aufnahme eines Details der Schnittfuge eines Kubus von ca. 500 μ m Kantenlänge.

Ganz unten: REM Aufnahme der Schnittfläche des ausgeschnittenen Kubus aus Saphir.





Mikrokanäle in Glas und Saphir durch selektives laserinduziertes Ätzen

Aufgabenstellung

Für zukünftige Anwendungen im Bereich Mikrofluidik, Medizintechnik und Mikrosystemtechnik sind Mikrokanäle in transparenten Materialien von großer Bedeutung. Durch den Einsatz des selektiven laserinduzierten Ätzens können Mikrokanäle in drei Dimensionen im Volumen von transparenten Materialien hergestellt werden.

Vorgehensweise

Durch Fokussierung von Femtosekundenlaserstrahlung im Volumen transparenter Materialien (Saphir, Glas) können lokale Modifikationen der Struktur und damit der Ätzbarkeit erzielt werden. Durch nachfolgendes Ätzen mit Flusssäure lassen sich auf diese Weise Mikrokanäle im Inneren des Materials erzeugen.

Ergebnisse und Anwendungen

In Saphir werden Unterschiede der Ätzbarkeit von bis zu 10.000:1 zwischen modifizierten und unmodifizierten Bereichen erzielt. Dies ermöglicht die Herstellung von Mikrokanälen mit Querschnitten zwischen 1 und 10 μm bei Längen von ca. 1 cm (Bild oben).

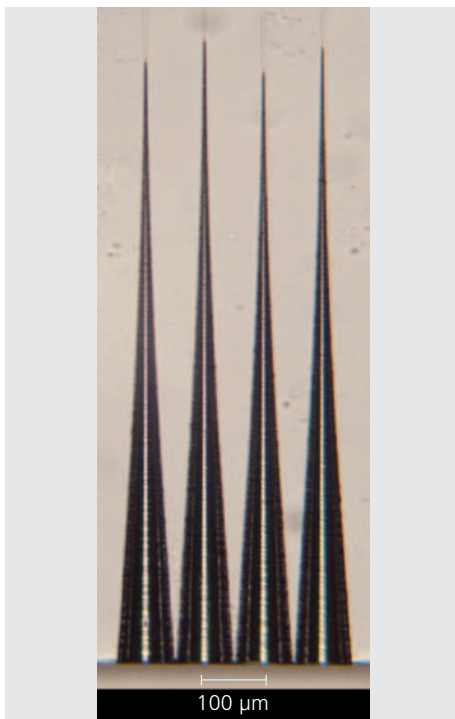
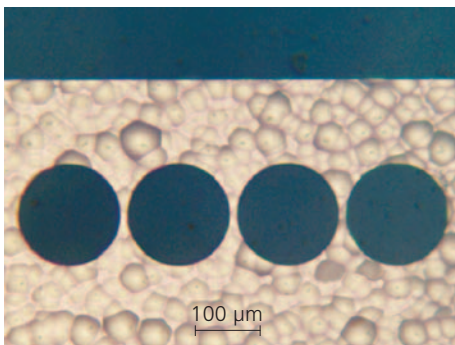
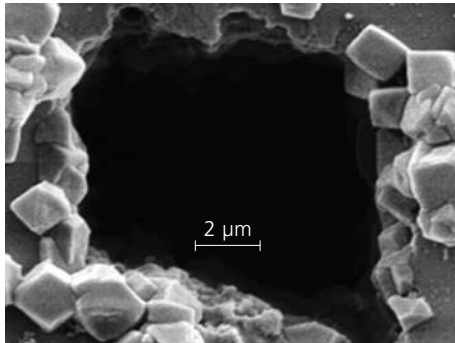
In Quarzglas werden Unterschiede der Ätzbarkeit von 30:1 bis 100:1 zwischen modifizierten und unmodifizierten Bereichen erzielt. Die Bearbeitungsergebnisse sind z. B. konische Mikrokanäle mit Durchmessern zwischen 5 und 100 μm bei Längen von einigen mm (Bilder Mitte und unten).

Potenzielle Anwendungen sind z. B. mikrofluidische Systeme für Anwendungen in Diagnostik, Medizintechnik und Mikrosystemtechnik.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Maren Hörstmann-Jungemann
Telefon 0241 8906-472
maren.hoerstmann-jungemann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Gottmann
Telefon 0241 8906-406
jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: REM Aufnahme eines Querschliffs eines Mikrokanals in Saphir in 1 mm Tiefe.

Mitte: Auflichtmikroskopie eines Querschliffs von Mikrokanälen in Quarzglas in 200 μm Tiefe.

Unten: Auflichtmikroskopie von Mikrokanälen in Quarzglas.

Aufgabenstellung

Für zukünftige Anwendungen im Bereich der Optik sind Wellenleiter und Wellenleiterlaser für die Führung und Emission elektromagnetischer Strahlung von entscheidender Bedeutung. Wellenleiter können als optische Elemente z. B. für die dreidimensionale Formung von Diodenlaserstrahlung eingesetzt werden. Wellenleiterlaser können u. a. als Lichtquellen im Bereich der Displaytechnologie eingesetzt werden.

Vorgehensweise

In transparenten Materialien wie Phosphat- und Fluoridgläsern wird der Brechungsindex durch Fokussierung von Femtosekunden-Laserstrahlung im Volumen lokal modifiziert (Bild oben). Durch die Bestrahlung mit ultrakurzen Pulsen wird die Deposition von Energie im Material durch nichtlineare Absorptionsprozesse ermöglicht und somit lokal eine zeitlich stabile Brechungsindexmodifikation erzielt.

Ergebnisse und Anwendungen

Mittels Strukturieren durch Femtosekunden-Laserstrahlung wird eine effektive Brechungsindexänderung von bis zu $\Delta n = 1,7 \cdot 10^{-3}$ im Vergleich zum unmodifizierten Material in Phosphatglas erzielt. Die Verwendung der Interferenzmikroskopie ermöglicht die Beobachtung von Phasendifferenzen, die sich im Material aufgrund der unterschiedlichen Brechungsindizes nach der Bestrahlung ausbilden. Auf diese Weise wird die Brechungsindexverteilung von Querschnitten der erzeugten Strukturen orts aufgelöst ermittelt (Bild unten).

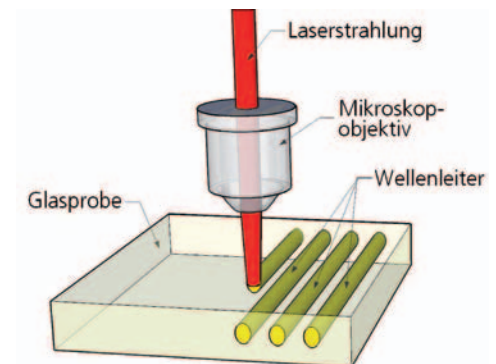
Mit seltenen Erd-Ionen dotierte Fluoridgläser und nanokristalline Glaskeramiken werden als Wellenleiterlaser für die Emission von Laserstrahlung im sichtbaren Spektrum untersucht. Fluoreszenz bei der Wellenlänge $\lambda = 525 \text{ nm}$ im grünen Spektralbereich wird nachgewiesen.

Die dreidimensionale Brechungsindexkontrolle dient der Fertigung optischer Elemente der integrierten Optik. Eine wesentliche Anwendung ist die Integration von Festkörperlasern in Form von Wellenleiterlasern mit den als Pumpquellen dienenden Hochleistungsdiodenlasern. Auf diese Weise können kompakte, preiswerte Strahlquellen realisiert werden. Wellenleiterlaser eröffnen neue Möglichkeiten in Märkten wie Beleuchtung und Medizintechnik im Hinblick auf Anwendungen in Diagnostik, Kosmetik und Therapie.

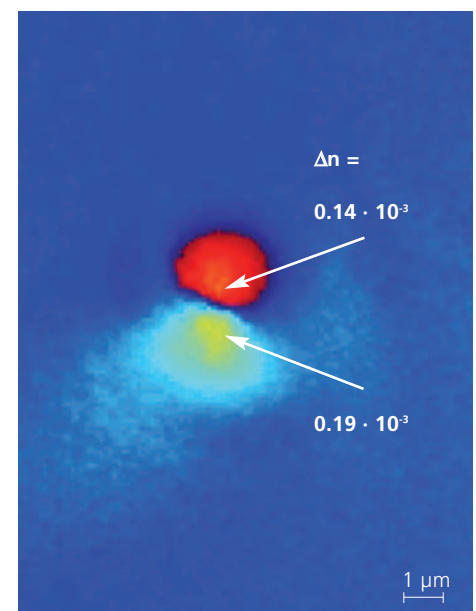
Ansprechpartner

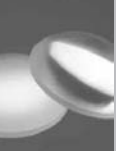
Dipl.-Phys. Dagmar Esser
Telefon 0241 8906-472
dagmar.esser@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Gottmann
Telefon 0241 8906-406
jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Schematische Darstellung zur Brechungsindexmodifikation im Volumen mittels Laserstrahlung. **Unten:** Brechungsindexverteilung eines Wellenleiterquerschnitts in Phosphatglas (Interferenzmikroskopie).





Aufgabenstellung

Im Trend der Miniaturisierung optischer Komponenten und Systeme stellen z. B. das Schreiben von Wellenleiterstrukturen und das Fügen von Gläsern im μm -Bereich mittels ultrakurz gepulster Laserstrahlung (Pulsdauer $t_p < 1 \text{ ps}$) eine Herausforderung dar. Die zeit- und orts aufgelöste Messung von Phasenänderungen und transienten Brechungsindexmodifikationen in Dielektrika mittels Weißlicht-Interferenz-Mikroskopie ermöglicht ein tieferes Prozessverständnis der physikalischen Vorgänge beim Modifizieren und damit die Möglichkeit einer Prozessoptimierung und -kontrolle.

Vorgehensweise

Als Basis für das Messverfahren dient ein modifizierter Mach-Zehnder-Interferometer Aufbau. Bei dem System führt die Differenz der optischen Dichte einer Referenzprobe im Vergleich zu dem durch Laserstrahlung modifizierten Bereich zu einer Phasendifferenz. Aus den aufgenommenen Daten lassen sich transiente Änderungen des Brechungsindex ermitteln.

Die neuartige Kombination von bekannten optischen Messverfahren wie Weißlicht-Interferenz-Mikroskopie mit Pump-Probe Techniken erfordert eine ultrakurz gepulste Weißlichtquelle. Durch Selbstphasenmodulation ultrakurzer Laserpulse ($t_p < 100 \text{ fs}$) wird das zur farblichen Bildgebung erforderliche breitbandige Spektrum erzeugt. Die generierten Pulse weisen eine Pulsenergie von wenigen μJ , eine Pulsdauer $\tau < 10 \text{ ps}$ und ein nutzbares Spektrum im Bereich von ca. 450 nm - 750 nm auf.

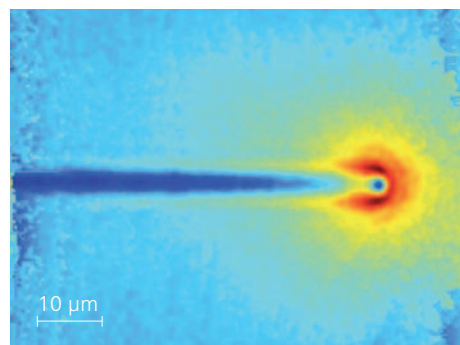
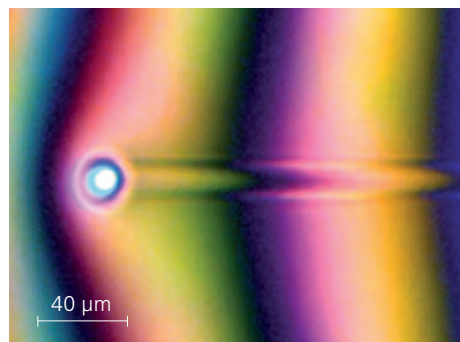
Ergebnisse und Anwendungen

Die beobachteten Phasenänderungen sind eine Kombination von verschiedenen transienten Effekten (Spannung, Temperatur, Farbzentren, etc.) und deren Einfluss auf den lokalen Brechungsindex. Das Messverfahren ermöglicht zeitaufgelöste Messungen von transienten Brechungsindexmodifikationen mit einer zeitlichen Auflösung im Pikosekundenbereich. Der Einfluss der Verfahrensparameter auf das Bearbeitungsergebnis kann somit in-situ beobachtet und zukünftig zur Prozesskontrolle verwendet werden. Bei Volumenmodifikationen transparenter Dielektrika wird z. B. die Wärmeakkumulation bei großen Repetitionsraten ($> 500 \text{ Hz}$) um den Fokusbereich detektiert. Brechungsindexmodifikationen werden u. a. bei der Strukturierung von Wellenleitern, dem Mikroschweißen von Glas und dem selektiven Ätzen von Saphir beobachtet. Das entwickelte Diagnose-Verfahren ermöglicht eine zeitaufgelöste Diagnose und Kontrolle dieser Prozesse.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Dirk Wortmann
Telefon 0241 8906-276
dirk.wortmann@ilt.fraunhofer.de

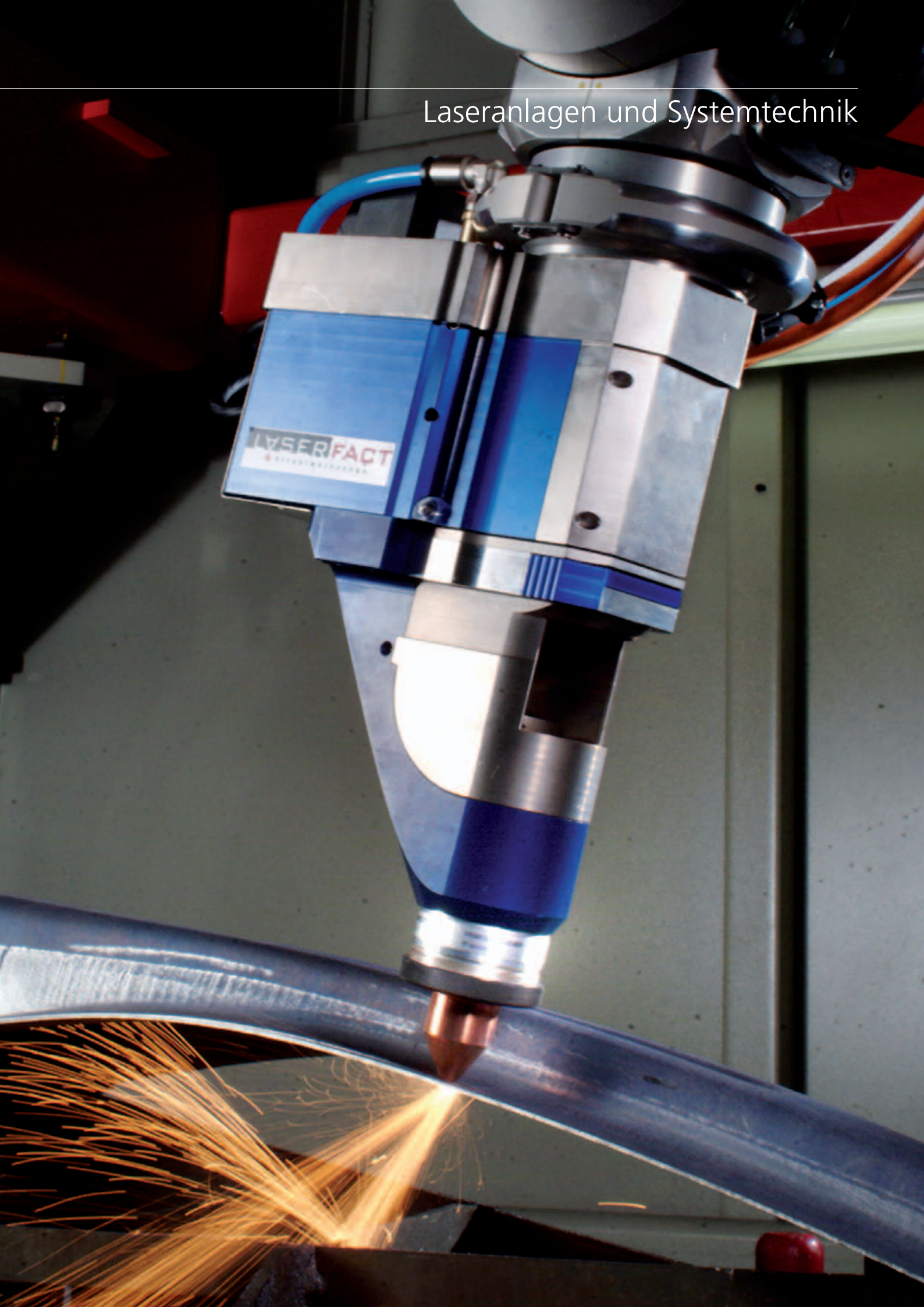
Dr. Ingomar Kelbassa
Telefon 0241 8906-356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Oben: Weißlicht Interferenzaufnahme während der Herstellung eines Wellenleiters (Belichtungszeit $< 10 \text{ ps}$).

Unten: Phasenverteilung während der Modifikation einer Glasprobe.

Laseranlagen und Systemtechnik





Das Geschäftsfeld konzentriert sich einerseits auf die Entwicklung von Prototypanlagen für Laserapplikationen und plasmatechnische Anwendungen sowie andererseits auf die Lasersystemtechnik mit Schwerpunkt Automation und Qualitätssicherung. Anwendungsbereiche sind u. a. Schweißen, Schneiden, Härten, Reparaturbeschichten, Bohren und Mikrofügen. In der Systemtechnik werden Komplettlösungen zur Prozessüberwachung, Komponenten und Steuerungen zur Präzisionsbearbeitung, laserspezifische CAD/CAM-Technologiemodule sowie Software zum Messen, Steuern, Regeln und Prüfen angeboten. Insbesondere in der Prozessüberwachung hält das Geschäftsfeld umfangreiches und bei Bedarf patentrechtlich geschütztes Know-how vor. Zahlreiche Systeme wurden in diesem Bereich bereits für Unternehmen lizenziert. Zielmärkte sind neben den Lasieranlagen- und -komponentenherstellern sämtliche Branchen der produzierenden Industrie, die Laser in der Fertigungstechnik einsetzen oder beabsichtigen, dies zu tun.



Kombibearbeitung von Automobilkomponenten aus hochfestem Stahl.



Selbstoptimierende Schneidmaschine	112	Autonome Fugenfolge und Prozessvisualisierung beim Schweißen mit CO ₂ -Lasern	120
High Power Selective Laser Melting (SLM)	113	Echtzeit-Detektion der Phasengrenze	121
LIFTEC® - Maschinentechnik zum formschlüssigen Fügen artungleicher Werkstoffe	114	Prozessüberwachung beim Kunststoffschweißen mit Laserstrahlung	122
INTAKT - Innovative Bearbeitungskonzepte für Kleinserien	115	Prozessüberwachung und Regelung beim Schweißen transparenter Kunststofffolien mittels IR-Absorber	123
Entwicklung eines Kombikopfs für Laseranlagen mit integrierter Strahlführung	116	Prozessüberwachung und Regelung für das Schweißen von Kunststofffolien	124
Kombibearbeitung von Automobilkomponenten aus hochfestem Stahl	117		
Handstück für die temperaturgeregelte Laserkoagulation	118		
Fugenvisualisierung für das Laserstrahlschweißen	119		



Aufgabenstellung

Im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« der RWTH Aachen ist das Fraunhofer ILT u. a. an dem Projekt »Integration von selbstoptimierenden Einricht-, Überwachungs- und Regelungssystemen in Produktionsabläufe« beteiligt. Ziel des Projekts ist die Erarbeitung einer prozessunabhängigen Methodik, die es ermöglicht, ein verbessertes Prozessverständnis zu generieren und den technologischen Weg für die integrierte Kognition und Selbstoptimierung von Produktionssystemen zu bereiten. Dazu werden unterschiedlichste Prozesse wie das Spritzgießen, Fräsen oder Weben betrachtet. Das Fraunhofer ILT beschäftigt sich in diesem Projekt mit dem Laserstrahlschneiden.

Vorgehensweise

Nach einer detaillierten Verfahrensanalyse auf experimenteller und theoretischer Basis, der Festlegung der Verfahrensparameter, die z. B. aufgrund ihrer Sensitivität oder Fehleranfälligkeit prioritär zu behandeln sind, sowie der Identifikation geeigneter Prozesssensoren sollen schrittweise Einricht-, Überwachungs- und/oder Regelungssysteme in eine Laserschneidanlage TruLaser 5030 der Firma TRUMPF integriert werden. Zentrale, methodisch prozessübergreifende Werkzeuge sind Metamodelle, die u. a. Abhängigkeiten von Prozessgrößen und Qualitätsgrößen schnell an der Maschine verfügbar machen sollen.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Fokusslage ist aufgrund der aufwendigen messtechnischen Zugänglichkeit, eines thermisch zeitabhängigen Verhaltens, der Abhängigkeit vom Alterungszustand der Fokussierlinse etc. ein vergleichsweise schwierig zu beherrschender und gleichwohl Schnittqualität und maximale Schneidgeschwindigkeit stark beeinflussender Parameter. Mit ausführlichen Strahldiagnosen wurde daher zunächst der Einfluss u. a. von Laserstrahlleistung und Rohstrahldurchmesser auf die Fokusslage zeitabhängig dokumentiert und Toleranzfelder der Fokusslage in Schneidversuchen ermittelt.

Auf dem Weg zur selbstoptimierenden Maschine wird als erster Schritt ein Einrichteassistent entwickelt, der den Benutzer bei der Einstellung einer geeigneten Fokusslage unterstützt. In einem weiteren Schritt soll die Einstellung der Fokusslage ersetzt werden durch eine fokuslagenabhängige, sensorisch erfassbare Prozessgröße, die den Prozess in einem optimalen Parameterbereich führt, ohne dass die Fokusslage explizit bekannt sein muss.

Ansprechpartner

Dr. Frank Schneider
Telefon 0241 8906-426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Norbert Wolf
Telefon 0241 8906-448
norbert.wolf@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon 0241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de





Aufgabenstellung

Im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« wird u. a. am Fraunhofer ILT das langfristige Ziel verfolgt, die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Produktionstechnik zu steigern. Eine der zentralen Forschungsfragen widmet sich der Schaffung neuer Wertschöpfungsstrukturen zur Produktion von Einzelteilen zu den Kosten von Serienteilen bei gleichzeitiger Beibehaltung der vom Markt geforderten Individualität. Hierbei ist aus technologischer Sicht die generative Fertigung mit ihren nahezu unbeschränkten geometrischen Freiheitsgraden eine Verfahrensklasse mit dem größten Potenzial. Wesentlicher Kostenfaktor des am Fraunhofer ILT entwickelten SLM Verfahrens zur Verarbeitung metallischer Serienwerkstoffe ist die Herstellzeit der Bauteile, die wesentlich vom aufzubauenden Volumen bestimmt wird. Für eine wirtschaftliche Fertigung von zumindest Kleinserien ist die Steigerung der Aufbaurrate zwingend notwendig. Wesentliche Nebenbedingung bei der Erhöhung der Aufbaurrate ist die Beibehaltung bzw. Verbesserung der bisher erzielbaren Detailauflösung.

Vorgehensweise

Die Erhöhung der Aufbaurate soll durch eine signifikante Erhöhung der Laserleistung auf 1 kW erzielt werden. Da die Erhöhung der Laserleistung bei konstantem Strahldurchmesser eine Steigerung der Intensität am Bearbeitungsort und somit eine Verstärkung der Spritzerbildung bewirkt, ist eine Anpassung des Strahldurchmessers notwendig. Hierbei ist eine möglichst gleichförmige Intensitätsverteilung (»Top-Hat«) anzustreben. Mit der am Fraunhofer ILT entwickelten Prototypenanlage können Fokidurchmesser bis zu ca. 1 mm eingestellt werden.

Mit steigendem Strahldurchmesser verschlechtert sich jedoch die erreichbare Detailauflösung der Außenkonturen generativ gefertigter Bauteile. Um diesem Dilemma Rechnung zu tragen, wurde ein Mehrstrahlkonzept entworfen und realisiert, welches die Bearbeitung mit unterschiedlichen Laserleistungen und Fokidurchmessern in Abhängigkeit der geforderten Bauteilmerkmale ermöglicht. So können, in Analogie zu konventionellen Schrupp-Schlicht Prozessen, Bauteilkern mit hohen Aufbauraten (großer Fokus) aufgebaut werden, während im Hüllbereich (kleiner Fokus) die geforderte Detailauflösung und Oberflächengüte gewährleistet werden kann.

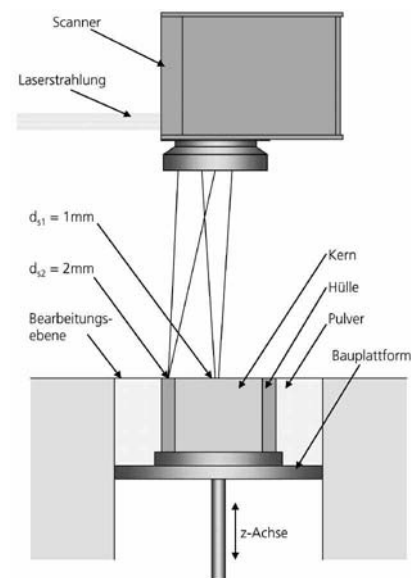
Ergebnisse und Anwendungen

Die Integration eines fasergekoppelten Scheibenlasers in Verbindung mit einem variablen Beam Switch ermöglicht die Erhöhung der Aufbaurate sowie die Umsetzung einer bauteilangepassten Hülle-Kern Strategie. Durch den automatisierten Wechsel der Bearbeitungsfaser ist es möglich, sowohl Hüll- als auch Kernbereiche mit einer scharfen Abbildung des Faserendes zu bearbeiten. Dies bietet den Vorteil einer gleichförmigen Intensitätsverteilung (»Top-Hat«) in allen Bearbeitungssituationen. Somit können Prozessinstabilitäten durch lokale Intensitätsspitzen weitestgehend vermieden werden.

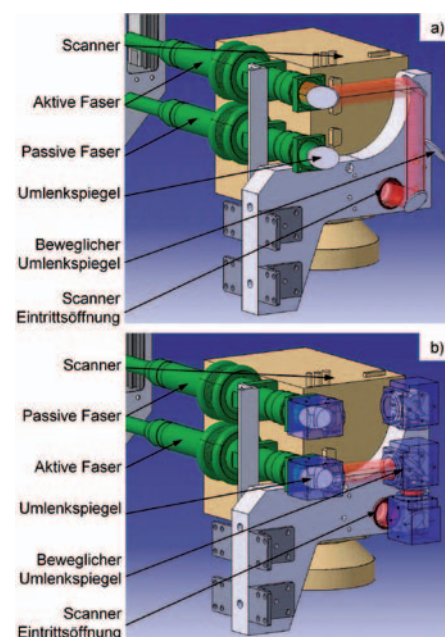
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Henrich Schleifenbaum
Telefon 0241 8906-126
henrich.schleifenbaum@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach
Telefon 0241 8906-147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Prinzipdarstellung der Hülle-Kern Strategie.
Unten: Konstruktiver Aufbau des Beam Switch, a) obere Faser aktiv, b) untere Faser aktiv.





Aufgabenstellung

Mit der Notwendigkeit, Werkstoffe unterschiedlicher Funktionalität miteinander zu verbinden, stellt sich die Frage nach einer geeigneten Verbindungstechnik, die schnell und reproduzierbar einen dauerhaften Werkstoffverbund realisieren kann. Insbesondere bei Kunststoff-Metall-Verbindungen hat sich in der Vergangenheit das Kleben als einziges Verfahren für diese Aufgabenstellung qualifiziert.

Vorgehensweise

Mit dem am Fraunhofer ILT entwickelten LIFTEC® Verfahren steht nun eine neue Verfahrenstechnik ohne zusätzliche Fügeworkstoffe, wie zum Beispiel Kleber, zur Verfügung. Bei diesem Verfahren wird durch einen Kunststoffkörper hindurch der Fügepartner (z. B. Metall) erwärmt und unter Druck in den Kunststoffkörper gepresst. Der über Wärmeleitung erhitzte Kunststoff umfließt den Fügepartner, so dass nach Abkühlung eine formschlüssige Verbindung entsteht.

Für die industrielle Umsetzung des Verfahrens ist eine flexible Maschinentechnik erforderlich, die es ermöglicht, Bauteile mit unterschiedlichen Geometrien kurzzyklisch zu fügen. Als flexibel einsetzbare Maschinentechnik wurde eine servo-elektrische Presse mit großer vertikaler Positioniergenauigkeit und einer maximalen Presskraft von 5 kN mit einer formflexiblen Bestrahlungsoptik und einem Leistungs-Diodenlaser ausgerüstet.

Der Fügepartner wird von dem an der Presse befestigten Greifer aufgenommen und in den Kunststoff gepresst. Durch die Beschickung ist eine reproduzierbare Positionierung bei gleichzeitig großer geometrischer Flexibilität gewährleistet. Der eingesetzte Diodenlaser ($\lambda = 810 \text{ nm}$; $P_{\text{max}} = 50 \text{ W}$) zum Aufheizen des Fügepartners ist vollständig in der Anlage integriert. Ein Scanner ermöglicht die einfache Adaption der bestrahlten Fläche auf die jeweilige Bauteilgeometrie. Durch integrierte Kraft-, Positions- und Temperatursensorik werden einzelne Prozessparameter erfasst. Eine Kamera vereinfacht die Ausrichtung der beiden Komponenten zueinander. Eine integrierte Prozesssteuerung regelt alle relevanten Prozessparameter. Vorgegebene Funktionselemente wie das Positionieren oder das kraftgeregelte Fügen werden zu Prozesssequenzen zusammengesetzt und ermöglichen flexible Prozessabläufe.

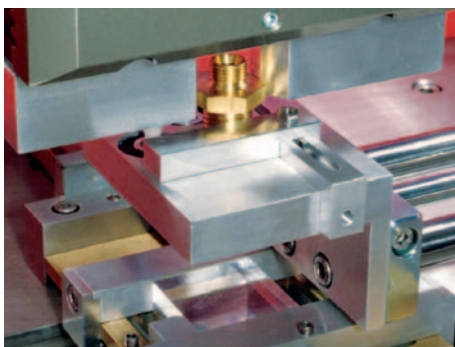
Ergebnisse und Anwendungen

Die entwickelte Maschine wurde für unterschiedliche Fügeaufgaben aber auch für artverwandte Prozesse wie das lasergestützte Heißprägen getestet. Typische Zykluszeiten liegen im Bereich von etwa 30 Sekunden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jens Holtkamp
Telefon 0241 8906-273
jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: LIFTEC® - Anlagenaufbau.
Unten: Bauteilhandling.



Aufgabenstellung

Um auch bei Kleinserien reproduzierbare Produktionsergebnisse liefern und kostengünstig herstellen zu können, ist eine weitgehende Automatisierung von Montage- und Fertigungsprozessen notwendig. Vor diesem Hintergrund wurde in einem Kooperationsprojekt mit dem Lehrstuhl für Bildverarbeitung der RWTH Aachen und verschiedenen Industriepartnern die innovative INTAKT-Bearbeitungszelle aufgebaut. Diese ermöglicht durch ihren modularen Aufbau die schnelle und flexible Integration unterschiedlicher Laserbearbeitungsaufgaben in einer teilautomatisierten Anlage. Durch Einbindung bildverarbeitungsgestützter Verfahren zur Bauteilerkennung kann die Anlage ohne große Umbaumaßnahmen auf verschiedene Bauteilgeometrien angepasst werden.

Vorgehensweise

Der Bearbeitungskopf wurde als Kombination aus einem Galvanometer-scanner und einem kartesischen Achssystem realisiert. Auf diese Weise können Bauteile in einem Feld von insgesamt $240 \times 240 \text{ mm}^2$ bearbeitet werden. Zur Bauteillage-Erkennung wird das Bearbeitungsfeld koaxial zum Laser durch die Scanneroptik mit einer CMOS-Kamera beobachtet. Optisch bedingte Beobachtungsfehler werden dabei durch einen automatisierten Kalibrierzyklus kompensiert. Auf diese Weise wird bei der Lageerkennung eine Genauigkeit $< 20 \mu\text{m}$ erreicht.

Ergebnisse und Anwendungen

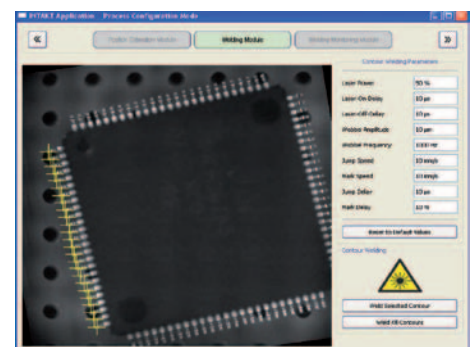
Die weitgehend intuitiv bedienbare Steuerungssoftware ermöglicht auch unerfahrenen Benutzern das Einrichten der Maschine für neue Bauteile. Durch automatischen Abgleich des Kamerabildes mit CAD-Daten des beobachteten Bauteils werden erkannte Features wie Kanten oder Ecken automatisch den entsprechenden Bauteilkonturen zugeordnet. Auf dieser Basis werden Vorschläge für die Bearbeitung ausgegeben, welche vom Bediener bestätigt oder verworfen werden. Auch eine direkte Bearbeitung des Bauteils durch Einfügen beliebiger Schweißkonturen in das Kamera-Livebild (»Click&Weld«) ist möglich.

Im Automatikbetrieb werden Lageerkennung und Bearbeitung gemäß dem eingerichteten Schema ohne weitere Eingriffe des Bedieners durchgeführt. Auch die abwechselnde Bearbeitung mehrerer Bauteiltypen durch entsprechende Indizierung der Werkstückträger ist möglich. Die ebenfalls auf der koaxial angeordneten CMOS-Kamera basierende Prozessüberwachung bietet, abhängig vom Anwendungsfall, die Möglichkeit zur Erkennung von Schweißfehlern in Echtzeit.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jens Gedicke
Telefon 0241 8906-145
jens.gedicke@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Füge- und Montagezelle für laserbasierte Bearbeitungsprozesse.
Unten: Lageerkennung bei der Bearbeitung von SMD's.



Aufgabenstellung

Mit der Kombibearbeitung ist ein sehr flexibler, hochproduktiver Einsatz von Laseranlagen für das Schneiden und Schweißen von Blechprodukten möglich. Um das Potenzial eines schnellen und rüftfreien Prozesswechsels voll zu nutzen, sollten die Anlagen in ihrer Gesamtheit inklusive Handhabungs- und Spanntechnik optimal auf die effizienten Prozessketten und hohe Genauigkeit der Kombibearbeitung angepasst sein.

Vorgehensweise

In Zusammenarbeit mit der Firma Reis Robotics als Maschinenhersteller und der Firma Laserfact als Kopffhersteller wird ein Kombikopf mit einem zur optischen Maschinenachse coaxialen Anschlussflansch und kompakter Zusatzachse entwickelt. Durch die im Roboterarm verlaufende Spiegel-Strahlführung wird eine Bewegung in zwei rotatorischen Achsen bei unbewegter Lichtleitfaser ermöglicht. So wird bei schnellen Umorientierungen des Kopfes und hohen Beschleunigungen die Belastung der Faser reduziert und die zulässige Dynamik deutlich gesteigert.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Baulänge des Kombikopfs wurde verkürzt, um bei 3-D-Bahnen dynamischere Umorientierungen zu gestatten. Das Düsendesign wurde durch die Verringerung des Kegelwinkels der autonomen Düse von 60° auf 40° für eine gute Bauteilzugänglichkeit weiter verbessert.

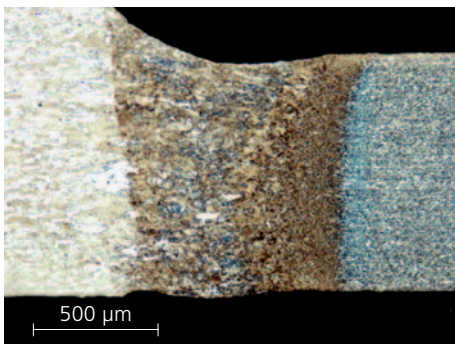
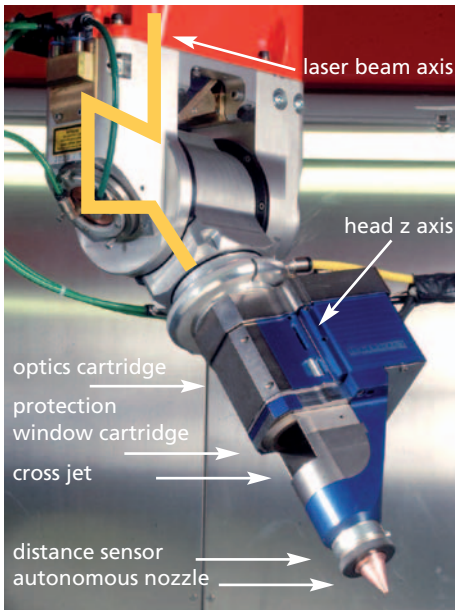
Für die im Kopf integrierte dynamische Zusatzachse zur Abstandsregelung wurde der Funktionsumfang der Steuerung erweitert. Beispielsweise kann nicht nur der gemessene wahre Abstand an die übergeordnete Steuerung weitergegeben werden, sondern es erfolgt bereits in der Steuerung der Abstandsregelung eine Überwachung, ob ein zuvor definiertes Toleranzband des Abstands während der Bearbeitung eingehalten wird. Wie bereits beim Kombikopf für die direkte Faseran-
kopplung verfügt auch die Variante für die integrierte Strahlführung über Schnellwechsellmöglichkeiten von Fokussieroptik und Schutzglas für eine komfortable und schnelle Wartung. Die verbesserten Eigenschaften des Kopfes konnten u. a. bei der Bearbeitung von 3-D-Automobilkomponenten demonstriert werden.

Die Arbeiten werden vom BMWi sowie von den Firmen Reis Robotics, Laserfact und LBBZ im Rahmen des InnoNet Projekts »Flexible Fertigungszelle zur kombinierten Laserbearbeitung mit adaptiver Greiftechnik (koLas)« gefördert.

Ansprechpartner

Dr. Frank Schneider
Telefon 0241 8906-426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon 0241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Oben: Kombikopf an einem Laserportalroboter mit integrierter Strahlführung.

Unten: Nahtquerschnitt einer Laserschweißung von laser-geschnittenen Kanten.



Aufgabenstellung

Bei der Verwendung von Tiefziehteilen aus hochfestem Stahl stößt die mechanische Bearbeitung zum Trimmen der Teile und zum Einbringen von Bohrungen und Ausschnitten aufgrund der großen Materialhärte an ihre Grenzen. Als bereits industriell eingesetzte Alternative werden diese Teile mit dem Laser geschnitten. Daran schließen sich häufig Schweißprozesse an, z. B. Aufschweißen von Verstärkungsblechen oder Muttern. Hierfür werden konventionelle Schweißverfahren wie das Widerstandsschmelzschweißen oder das Lichtbogenschweißverfahren eingesetzt.

Durch die Verwendung des Lasers zum Schneiden und Schweißen als Kombibearbeitung kann eine Verkürzung der Prozesskette erreicht werden. Anhand der Bearbeitung von PKW B-Säulen soll die Integration der Laserschneid- und -schweißprozesse in einer Anlage demonstriert werden.

Vorgehensweise

Die B-Säulen werden zunächst mit einem Besäumschnitt getrimmt sowie mit Bohrungen und Ausschnitten versehen. Bei maximal 2,5 kW Laserstrahlleistung wurde in den großen Konturen mit einer Geschwindigkeit von 15 m/min geschnitten. Die Löcher werden abgestimmt auf die Anlagendynamik mit 3 - 9 m/min bearbeitet. Unmittelbar im Anschluss an den Beschnitt wird mit dem gleichen Kopf ein Verstärkungsblech in einer Überlappung mit einer Geschwindigkeit von 3 m/min aufgeschweißt. Abschließend erfolgt noch einmal der Prozesswechsel zum Schneiden, um in dem soeben aufgeschweißten Blech passgenau Bohrungen durch den Verbund aus Verstärkungsblech und Grundmaterial einzubringen.

Die Bearbeitung erfolgt an einem Laserportalroboter (Fa. Reis) mit einem Faserlaser (Fa. IPG) und einem Kombikopf (Fa. Laserfact) mit einer auf die koaxiale Strahlführung des Portalsystems abgestimmten, optimierten Bauform.

Ergebnisse und Anwendungen

Die an dem Bauteil durchgeführten Schneid- und Schweißaufgaben ergeben eine Bearbeitungsdauer von etwa 1 Minute. Davon fällt auf das Schweißen ein nur geringer Anteil von etwa 5 Sekunden. Der Kombikopf erspart aber den Wechsel auf eine weitere Bearbeitungsstation und alle damit verbundenen Betriebs- und Investitionskosten.

Bei derartigen Applikationen ist der Laser aus technologischen oder ökonomischen Gründen bereits für einen Prozess alleine effizient einzusetzen. Die Kombibearbeitung erschließt noch effizientere Fertigungsmöglichkeiten sowie technologische Vorteile beispielsweise aufgrund verbesserter Genauigkeit durch den Wegfall von Umspannvorgängen und durch die flexibel wählbare Prozessfolge.

Ansprechpartner

Dr. Frank Schneider
Telefon 0241 8906-426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon 0241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Oben: Bearbeitung einer B-Säule mit dem Kombikopf beim Schneiden ...
Unten: ... und beim Schweißen.



Handstück für die temperaturgeregelte Laserkoagulation

Aufgabenstellung

Die Versorgung chronischer Wunden stellt insbesondere durch die älter werdende Bevölkerung ein zunehmend wichtiges Problem der medizinischen Behandlung dar. Eine bereits heute eingesetzte Therapie besteht dabei im dichten Verschluss des Wundbereichs durch eine flächige Wundauflage. Dabei muss die Fixierung der Wundauflage auch im feuchten Wundmilieu sicher durchführbar sein. Mit einem neuen laserbasierten Ansatz soll hierfür eine Wundauflage aus Kollagen flächig mit einem Proteinkleber im Wundbereich fixiert werden. Der Proteinkleber wird dazu flüssig aufgebracht und durch Erwärmung durch Laserstrahlung vernetzt. Für eine gewebeschonende Vernetzung muss eine vorgegebene Temperatur im Bereich von 50 - 60 °C während einiger Sekunden auf 5 °C genau eingehalten werden. Aufgrund der großen Variationsbreite der Wundsituation (u. a. Gewebemorphologie, Benetzung, Kontakt der Wundauflage mit dem Gewebe) kann die gewünschte Temperatur durch Vorgabe der Laserparameter allein nicht sicher eingestellt werden.

des Laserspots entspricht. Das Temperatursignal des Sensors wurde in die Leistungsregelung des Lasers eingebunden und Grenzwerte für Maximaltemperatur und Bestrahlungsdauer vorgegeben.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit dem dargestellten System können reproduzierbare Gewebeverbindungen mit hoher Festigkeit ohne Überhitzungen und Gewebeschädigungen erzielt werden. Sobald die vorgegebene Temperatur erreicht ist, wird die Laserleistung soweit reduziert, dass die Temperatur während der restlichen Bestrahlungsdauer konstant gehalten wird. Die Zeitaufösung des Regelkreises beträgt etwa 20 ms und ist damit schnell genug, bei Laserleistungen von bis zu 50 W eine Überhitzung des Gewebes zu vermeiden. Erst durch die Temperaturregelung konnte bei wechselnden Situationen eine zuverlässige Koagulation des Klebers ermöglicht werden.

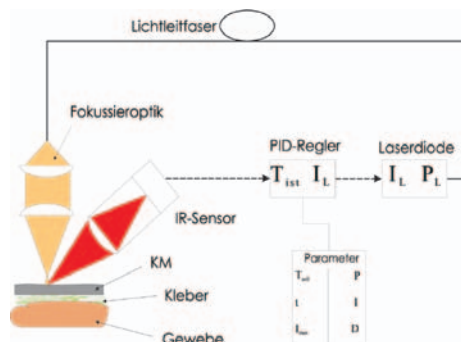
Die Arbeiten wurden vom Wirtschaftsministerium für Wirtschaft und Arbeit im Rahmen des InnoNet-Projekts »Laserfix« gefördert.

Projektpartner: Berufsgenossenschaftliches Universitätsklinikum Bergmannsheil, Bochum

Ansprechpartner

Dr. Martin Wehner
Telefon 0241 8906-202
martin.wehner@ilt.fraunhofer.de

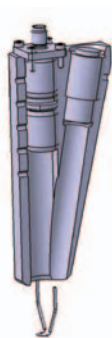
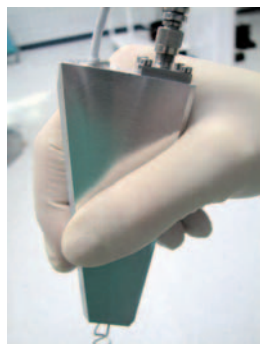
Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Regelkreis zur Temperaturregelung.

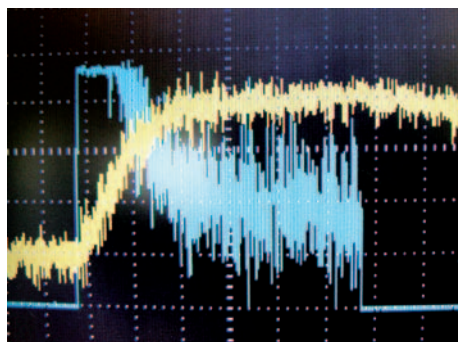
Mitte: Schema des Handstücks mit Laserfokussierung und Temperatursensor.

Unten: Typischer Signalverlauf für Laserleistung (blau) und Temperatur (gelb).



Vorgehensweise

Für das Laserfügen von Kollagen auf Haut wurde hierzu ein neuartiger Applikator mit integrierter Temperaturregelung prototypisch realisiert, mit dem eine reproduzierbare Proteinkleber-Verbindung möglich ist. Hierzu wurden in Voruntersuchungen an Hautmodellen und Tierpräparaten der ideale Zeit-Temperaturverlauf bestimmt und ein geeigneter Infrarotsensor zur Messung der Temperatur ausgewählt. Der Sensor und die Laseroptik wurden dann in einem Handstück so kombiniert, dass der Messfleck des Sensors der Größe





Aufgabenstellung

Beim Längsnahtschweißen von Rohren kommt es in einer industriellen Produktionsanlage aufgrund von Flankenbindefehlern zu Produktionsausfällen und zu Retouren. Insbesondere Bindefehler in der Schweißnaht, die nicht durch eine vorhandene Wirbelstromprüfung und eine zusätzliche visuelle Prüfung erkannt werden, führen zum Versagen der Schweißnaht bei der Weiterverarbeitung. Die Ursache des Defekts ist eine seitliche Verschiebung der Fuge relativ zum Laserstrahl, die verursacht werden kann durch: Verdrehen des Rohrs, Verlaufen der Fügekanten, mangelhafte Grundeinstellung der Anlage bzw. des vorhandenen Nahtfolgesensors und Verlagerung des Laserstrahls z. B. infolge thermischer Einflüsse.

Während die ersten beiden Effekte mittels konventioneller Nahtfolgesensoren und einer geeigneten Nachführung kontrolliert und ausgeglichen werden können, führen thermische Effekte zu einer Verlagerung des Strahls innerhalb der Strahlführung. Dies kann prinzipbedingt von der konventionellen Nahtfolge weder erkannt noch korrigiert werden. Aus diesem Grund wird angestrebt, die Strahlposition relativ zur Fuge zu erfassen, um die Nahtfolge auf den Arbeitspunkt des Laserstrahls zu beziehen. Die Aufgabe der Forschungsarbeiten ist die Überprüfung der Machbarkeit der gleichzeitigen Visualisierung von Kapillare und Fuge während des Schweißens in einem Kamerabild der am Fraunhofer ILT entwickelten coaxialen Prozesskontrolle (Coaxial Process Control, CPC).

Vorgehensweise

Im Rahmen des Vorhabens wurden zunächst theoretisch koaxiale und laterale Beobachtungsstrategien hinsichtlich der Leistungsfähigkeit, z. B. hinsichtlich des möglichen optischen Auflösungsvermögens, überprüft. Im Anschluss daran wurden die ausgewählten lateralen Beobachtungsverfahren und zugehörigen Beleuchtungsszenarien in experimentellen Untersuchungen an einer industriellen Rohr-schweißanlage untersucht.

Ergebnisse und Anwendungen

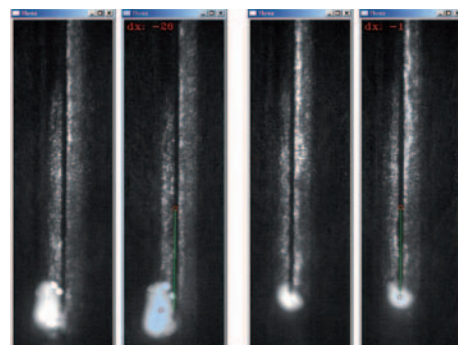
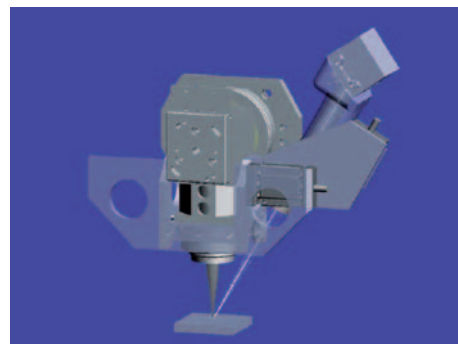
Die experimentellen Arbeiten zeigen, dass die gleichzeitige Visualisierung des Wechselwirkungspunktes und der zu verschweißenden Bandkanten mit einer geeigneten Beleuchtung und unter Einsatz von angepassten optischen Bandpassfiltern vor der Kamera realisiert werden kann. Die erreichte örtliche Auflösung ist besser als $15\text{ }\mu\text{m}$ und somit ausreichend genau. Die Belichtungszeit beträgt $10\text{ }\mu\text{s}$ und ist somit ausreichend kurz, um zuverlässig Bewegungsunschärfen bei der Prozessvisualisierung verhindern zu können.

Aufgrund der erfolgversprechenden Ergebnisse wird nun im nächsten Schritt ein Nahtfolgesystem auf dieser Basis aufgebaut.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon 0241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

Dr. Stefan Kaierle
Telefon 0241 8906-212
stefan.kaieler@ilt.fraunhofer.de



Oben: Schweißoptik mit Kamerasystem.
Unten: Prozessaufnahmen, Visualisierung eines Positionsfehlers (links) und richtiger Positionierung des Laserstrahls (rechts).



Aufgabenstellung

Im Schiffbau werden heute Paneelgrößen von 12 x 4 m² in Fertigungslinien mit CO₂-Laserstrahlung in Stumpfstoßkonfiguration verschweißt. Hauptvorteil ist die geringe eingebrachte Streckenenergie, wodurch aufwändige Richt- und Nacharbeiten entfallen, die beim konventionellen Schweißen fast ein Drittel des gesamten Fertigungsaufwands ausmachen. Für die Fugenfolge werden konventionelle Sensoren im Lichtschnittverfahren eingesetzt.

Ziel ist die Verbesserung eines Systems für die Fugenfolge mit integrierter optischer Geschwindigkeitsmessung und der Vergleich mit einem konventionellen vorlaufenden Sensor. Darüber hinaus soll die Prozessvisualisierung für eine automatisierte Qualitätssicherung simultan zur Bearbeitung untersucht werden.

Vorgehensweise

Als Sensorsystem wird das am Fraunhofer ILT entwickelte kamerabasierte System zur koaxialen Prozesskontrolle (CPC) mit Fremdbeleuchtung eingesetzt. Die Integration des CPC-Systems in den Strahlengang des Bearbeitungslasers erfolgt durch einen transmissiven Beam Combiner aus Zinkselenit.

Dabei stellen Wellenlänge und Leistung der eingesetzten Laserstrahlung (CO₂-Laser mit bis 8 kW Strahlleistung) besondere Anforderungen an den optischen Aufbau.

Die Prozesszone wird durch einen separaten monochromen Laser koaxial beleuchtet. Die koaxial angeordnete Kamera ermöglicht die Visualisierung des Schmelzbads durch die Erfassung der reflektierten Strahlung aus dem Bearbeitungsbereich.

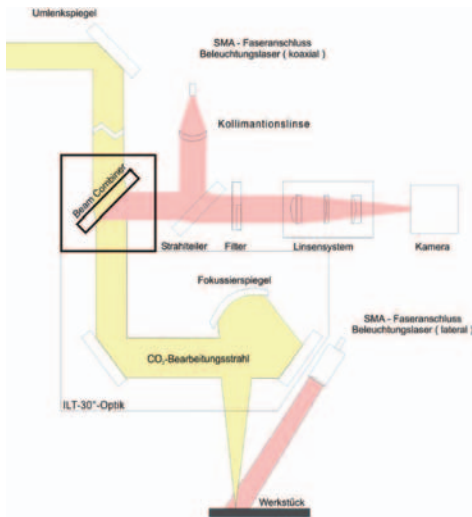
Ergebnisse und Anwendungen

Der wesentliche Vorteil der autonomen Fugenfolge ist, dass die tatsächliche Position der Kapillare (Keyhole) relativ zur Fuge direkt in den erfassten Bildern abzulesen ist. Durch digitale Echtzeitbildverarbeitung kann das Ablesen automatisiert werden. Durch Rückkopplung der gewonnenen Information in die Anlagensteuerung lässt sich der Schweißprozess automatisch auf die Fuge zentrieren. Systematische Fehler, wie z. B. seitlicher Versatz des Fokuspunktes durch Fehljustage oder Temperaturdrift von Optiken, können so erkannt und ausgeglichen werden. Darüber hinaus ist die Visualisierung der Prozesszone die Grundlage für die Detektion von Imperfektionen bei Schweißapplikationen mit CO₂-Laserstrahlung.

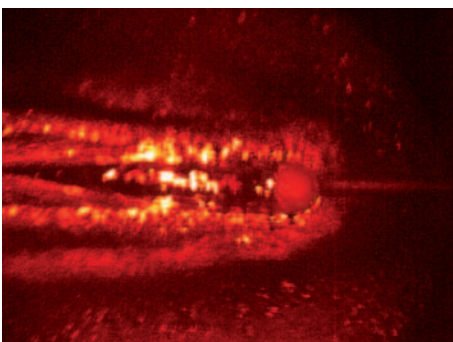
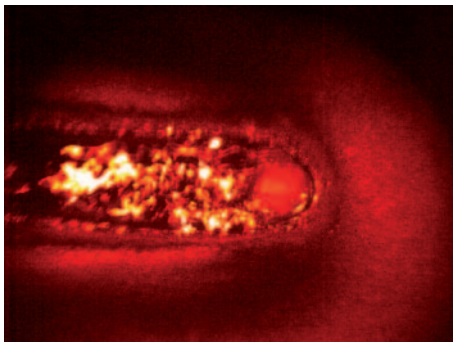
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Fiedler
Telefon 0241 8906-390
wolfgang.fiedler@ilt.fraunhofer.de

Dr. Stefan Kaieler
Telefon 0241 8906-212
stefan.kaieler@ilt.fraunhofer.de



Oben: Schematischer Strahlengang.



Mitte: Kamerabild einer Blindschweißung eines Schiffbaustahlblechs D36 mit Primerbeschichtung bei $P_L = 6$ kW, $v_s = 2,4$ m/min, $s = 5,5$ mm.
Unten: Kamerabild einer Schweißung eines Schiffbaustahlblechs D36 mit Primerbeschichtung beim Stumpfstoß bei $P_L = 6$ kW, $v_s = 2,4$ m/min, $s = 5,5$ mm.



Aufgabenstellung

Die Potenziale der koaxialen Prozessbeobachtung mit Fremdbeleuchtung für die automatisierte optische Qualitätsüberwachung und -regelung von industriellen Festkörperlaser-Schweißprozessen sind in einer Reihe von Vorarbeiten aufgezeigt worden. Im Projekt EDePha wird dieser Ansatz konsequent zur Echtzeitdetektion von Imperfektionen weiterentwickelt und auf das für die industrielle Anwendung wichtige Schweißen mit CO₂-Hochleistungslasern übertragen. Mittels koaxialer Prozessbeobachtung und Echtzeitbildverarbeitung sollen Imperfektionen unmittelbar z. B. an der Veränderung der Geometrie der fest-flüssig Phasengrenzen erkannt und - sofern möglich - durch automatisches Verstellen von Prozessparametern unterbunden werden.

Vorgehensweise

Zur Prozessvisualisierung wird eine CMOS-Hochgeschwindigkeitskamera eingesetzt. Die Wechselwirkungszone wird monochromatisch so intensiv beleuchtet, dass die Prozessstrahlung im Bereich der Beleuchtungswellenlänge (808 nm) überstrahlt wird.

Zunächst werden Filme mit einer lateralen Kameraanordnung aufgenommen (Bild oben). In diesem Fall ist die Kamera relativ zum Beobachtungslaser um 15° in den Vorlauf geneigt.

Zur koaxialen Beobachtung wird das am Fraunhofer ILT entwickelte CPC-System (Coaxial Process Control) über einen ZnSe-Strahlteiler in den Strahlengang des CO₂-Hochleistungslasers eingekoppelt (Bild unten). Die Abbildung der Wechselwirkungszone auf den CMOS-Chip der Kamera im CPC-System erfolgt durch die Schweißoptik.

Eine vergleichbare Abbildungsqualität wie bei der lateralen Anordnung wird mit präzise gefertigten Kupferspiegeln erzielt, deren Oberflächenrauigkeit so spezifiziert ist, dass auch sichtbares Licht (ca. 1/20 der Laserwellenlänge) fehlerfrei abgebildet wird.

Durch präparierte Schweißproben werden die Schweißimperfektionen simuliert. Deren Einfluss auf die Dynamik des Schweißprozesses wird anhand des aufgezeichneten Filmmaterials analysiert.

Ergebnisse und Anwendungen

In den aufgezeichneten Bildern der Wechselwirkungszone lassen sich die Phasengrenzen identifizieren und vermessen. Die automatisierte Echtzeitauswertung des Filmmaterials ist Gegenstand der weiteren Arbeit und liefert einen Grundbaustein für die Echtzeitdetektion von Imperfektionen beim Schweißen mit Laserstrahlung. Mittelfristig soll sich dadurch der Aufwand für die nachträgliche Bauteilprüfung reduzieren.

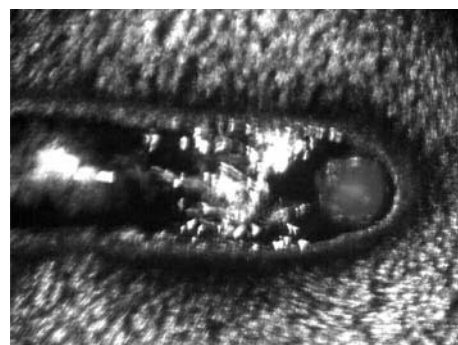
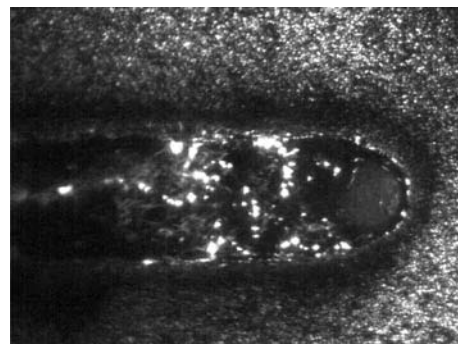
Die Arbeiten werden im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung (AIF) gefördert.

Ansprechpartner

Michael Ungers
Telefon 0241 8906-281
michael.ungers@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Drenker
Telefon 0241 8906-223
alexander.drenker@ilt.fraunhofer.de

Dr. Stefan Kaierle
Telefon 0241 8906-212
stefan.kaieler@ilt.fraunhofer.de



Oben: Lateral aufgezeichnetes Kamerabild einer Blindschweißung von Baustahl (sandgestrahlt).

Unten: Koaxial aufgezeichnetes Kamerabild einer Blindschweißung von Baustahl (sandgestrahlt).



Aufgabenstellung

Das Durchlichtschweißen von Kunststoffen mittels Laserstrahlung hat sich in der industriellen Produktion etabliert. Bauteil-, werkstoff- und umgebungsbedingte Störungen, die sich einer Kontrolle entziehen, können jedoch zu einer Abweichung vom »optimalen Bearbeitungspunkt« und in der Folge zu Bearbeitungsfehlern führen. Ziel ist, Problemstellungen beim Kunststoffschweißen mittels Laserstrahlung zu identifizieren und eine geeignete optische Prozessüberwachungsstrategie für industrierelevante Problemstellungen zu entwickeln.

Vorgehensweise

Die Arbeiten werden gemeinsam mit den Industriepartnern Amtron GmbH, Huf Tools GmbH und LIMO-Lissotschenko Mikrooptik GmbH im Rahmen eines von der »Stiftung Industrieforschung« geförderten Projekts durchgeführt. Hierbei werden die spezifischen Aussagefähigkeiten der coaxialen ortsintegrierten und der orts aufgelösten coaxialen Prozessbeobachtung sowie die Messung von Sekundärstrahlung und der Beobachtung mit Fremdbeleuchtung gegenübergestellt.

Ergebnisse und Anwendungen

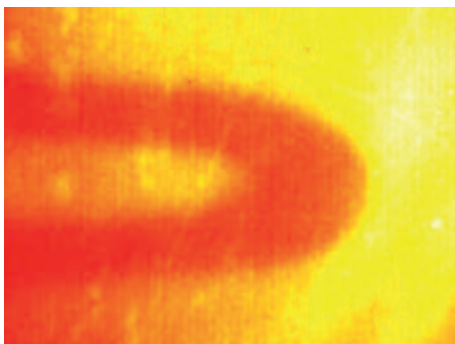
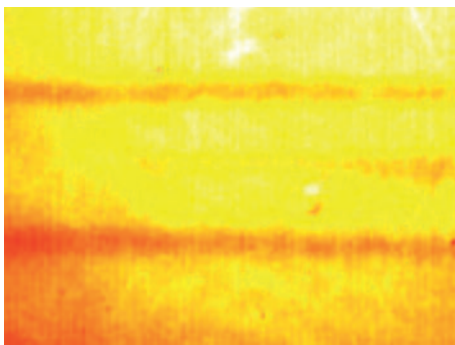
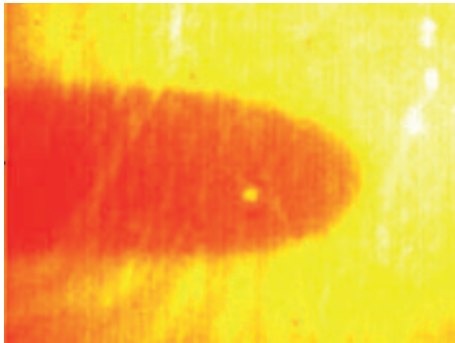
Mit Hilfe der am Fraunhofer ILT entwickelten Optikmodule wurde ein Bearbeitungskopf aufgebaut, welcher die simultane ortsintegrierte Überwachung mittels des Pyrometers der Firma Amtron und ortsauflösende Beobachtung mittels CMOS-Kamera bei gleichzeitiger Fremdbeleuchtung durch Hochleistungs-LEDs ermöglicht. Hierdurch werden die Bewertung der verschiedenen Überwachungsstrategien sowie die Korrelation von Sensorsignalen ermöglicht. Es werden Schweißversuche für die Materialien Polycarbonat, Polypropylen und Polyamid durchgeführt.

Maßgebende Ursachen für Bearbeitungsfehler können Spalte zwischen den Fügepartnern und Schwankungen der absorbierten Leistung sein. Die Ergebnisse zeigen, dass mithilfe des Pyrometers Abweichungen von der gewünschten Prozesstemperatur durch Änderungen in der Absorption oder infolge von Spaltbildung gut erkannt werden können, die jeweilige Ursache jedoch nicht voneinander unterschieden werden kann. Mithilfe des Kamerasystems kann die Spaltbildung eindeutig erkannt werden. Abweichungen in der Nahtqualität aufgrund thermischer Einflüsse können aber nur nach bereits erfolgter Bearbeitung nachgewiesen werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Stefan Mann
Telefon 0241 8906-321,
stefan.mann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Stefan Kaierle
Telefon 0241 8906-212
stefan.kaieler@ilt.fraunhofer.de



Oben: PA - gute Anbindung.
Mitte: PA - Zersetzung.
Unten: PA - keine Anbindung.



Aufgabenstellung

Die Prozessüberwachung wird beim Laserstrahlschweißen von Kunststoffen bereits eingesetzt. Zur Prozessüberwachung wurden drei in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen arbeitende Detektorsysteme verwendet: Im sichtbaren Spektrum eine in die Strahlführung integrierte CMOS Kamera, im nah-infraroten ein in die Strahlführung integriertes Pyrometer und bis zum mittleren infraroten Wellenlängenbereich über eine off-axis-Infrarot-Kamera. Zur weiteren Absicherung des Schweißprozesses sollen unter Optimierung des bestehenden Prozessüberwachungsaufbaus (Bild oben) die folgenden Fragestellungen beantwortet werden:

- Können Laserleistungsunterschiede detektiert werden?
- Können Druckunterschiede detektiert werden?
- Wie kann der Prozess über Temperaturmessung geregelt werden?

Vorgehensweise

Für die Schweißversuche wird das Konturverfahren verwendet. Dabei wird ein Diodenlasersystem bei einer Wellenlänge von 940 nm und einer maximalen Ausgangsleistung von 70 W genutzt. Der Vorschub wird über ein Drei-Achs-System realisiert. Unter Variation von Laserleistung und Vorschub werden unterschiedliche Schweißnahtfestigkeiten erzielt, welche mittels Zug-Schertests ermittelt werden.

Um die gemessenen Schweißnahtfestigkeiten mit den gemessenen Prozessüberwachungsdaten zu korrelieren, werden für jede Parameterkombination aus Vorschub und Laserleistung die Messdaten der Überwachungssysteme über den Fügeweg gemittelt.

Ergebnisse und Anwendungen

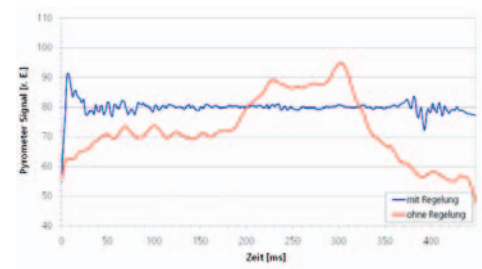
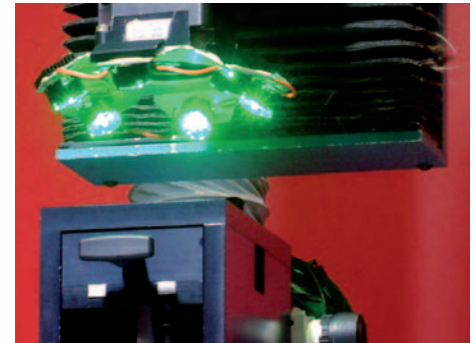
Die Ergebnisse zeigen, dass die Vorhersage der Schweißnahtfestigkeit anhand der verwendeten Prozessüberwachungssysteme möglich ist. Durch die Verwendung eines geschlossenen Regelkreises unter Verwendung des Pyrometers ist es ebenfalls möglich, eine gewünschte Schweißnahtfestigkeit einzustellen und damit eine inhomogene IR-Absorberbeschichtung auszugleichen (Bild unten).

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Andreas Roesner
Telefon 0241 8906-158
andreas.roesner@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon 0241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner
Telefon 0241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Versuchsstand.
Unten: Geregelte (oben) und ungeregelte Schweißnaht (unten).



Aufgabenstellung

Im Rahmen einer industriellen Studie ist die Anwendbarkeit von drei Überwachungsverfahren für den Einsatz beim Schweißen von transparenten Kunststofffolien untersucht worden. Bildgebende Verfahren im sichtbaren und im IR Spektralbereich sind vergleichend mit einem Pyrometer im nahen IR untersucht worden. Beim Schweißen wird ein IR-Absorber zwischen den beiden transparenten Fügepartnern in Überlappkonfiguration zur Absorption der Laserstrahlung eingesetzt. Insbesondere die niedrige Prozesstemperatur und die geringe thermische Emission des Werkstoffs sind die besonderen Herausforderungen für die Überwachung des Bearbeitungsprozesses.

Vorgehensweise

Die am Fraunhofer ILT entwickelte Koaxiale Prozesskontrolle (Coaxial Process Control, CPC) beobachtet durch den Strahlengang des Bearbeitungslasers mit einer digitalen Hochgeschwindigkeitskamera die Wechselwirkungszone im sichtbaren und mit einem Pyrometer im nahen IR Spektralbereich. Die Prozesszone und der umgebende Bereich werden mit Hochleistungsleuchtdioden beleuchtet. Die IR-Thermografie-Kamera beobachtet lateral die Fügezone. Mit diesem experimentellen Aufbau wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Die Schweißqualität ist zerstörend mithilfe von Scherkraftmessungen der Naht bestimmt worden.

Ergebnisse und Anwendungen

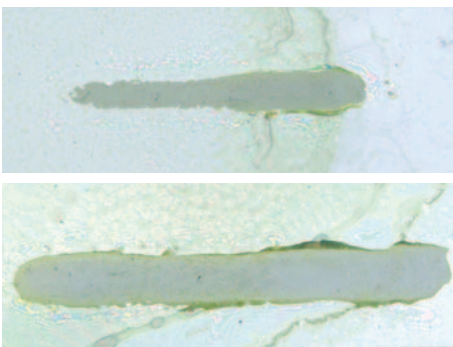
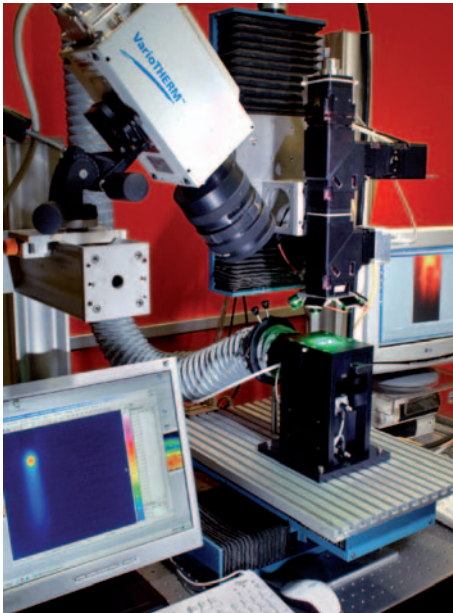
Ein wesentliches Ergebnis der Untersuchungen ist, dass die Festigkeit der Schweißnaht mit der IR-Thermografie und dem Pyrometer über die Wärmestrahlung bestimmt werden kann. Änderungen der Festigkeit, ausgelöst durch Variationen der Laserleistung, der Schweißgeschwindigkeit und der Benetzung durch den IR-Absorber, werden quantitativ erfasst. Schweißfehlstellen wie Spalte zwischen und im Fügepartner oder im IR-Absorber können ebenfalls wie auch Spannkraftvariationen erkannt werden. Die Beobachtung im sichtbaren Spektralbereich bleibt in Summe hinter der Leistungsfähigkeit der Beobachtung im nahen und IR Bereich zurück. Die bessere örtliche Auflösung der IR-Thermografie wird durch die höhere zeitliche Auflösung und den niedrigeren Investitionsbedarf des Pyrometers kompensiert. Auf der Basis des gezeigten Zusammenhangs zwischen Nahtfestigkeit und Signal des Pyrometers ist eine Prozessregelung für das Schweißen von Kunststofffolien mit IR Absorber realisiert worden. Die Temperaturregelung ergibt eine hohe und reproduzierbare Festigkeit der Schweißnähte insbesondere bei unterschiedlichen Schweißgeschwindigkeiten. Besonders problematische Schichtdicken-Variationen des IR-Absorbers konnten ebenfalls durch die Regelung ausgeglichen werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon 0241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

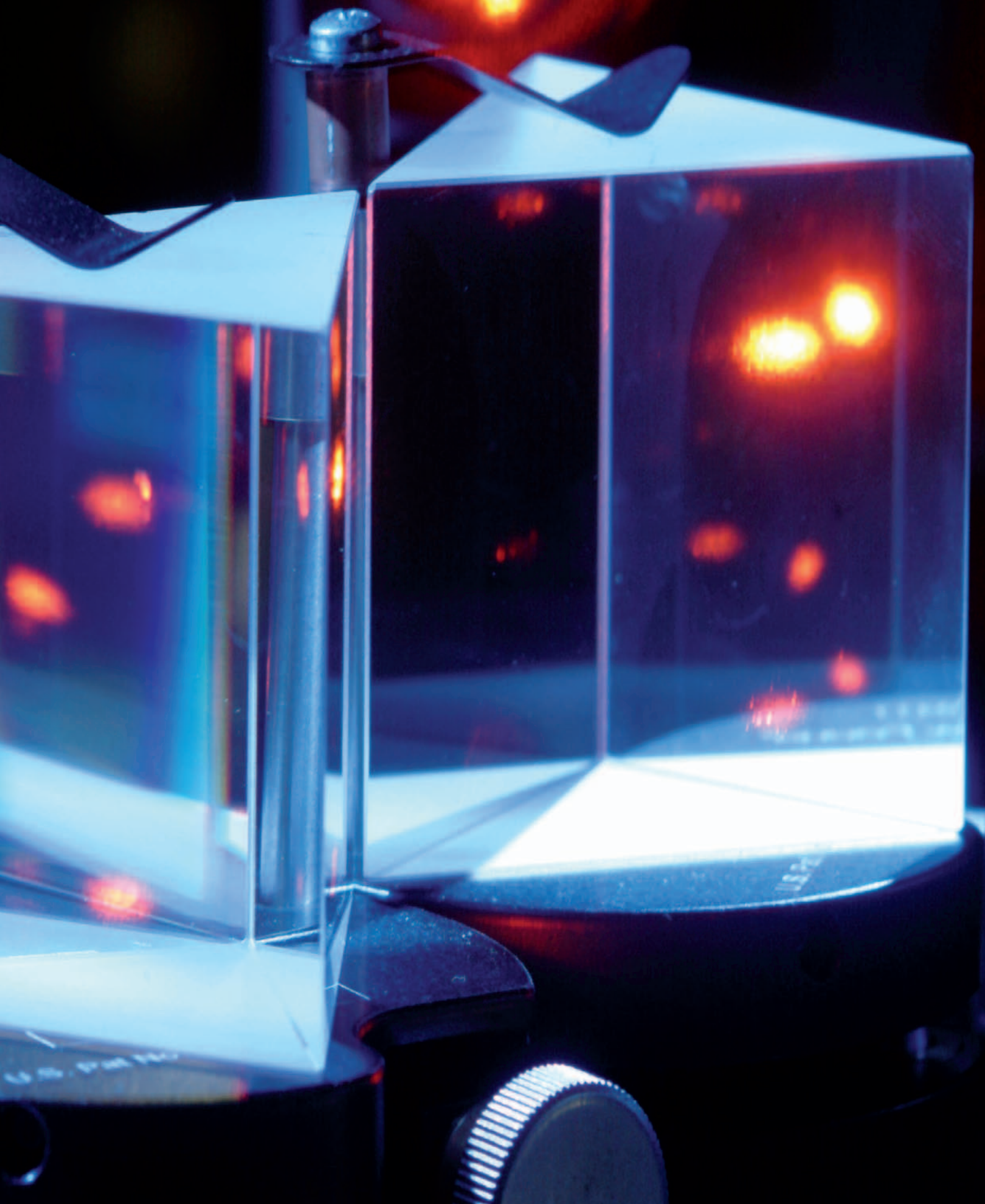
Dipl.-Ing. Andreas Roesner
Telefon 0241 8906-158
andreas.roesner@ilt.fraunhofer.de

Dr. Stefan Kaiерle
Telefon 0241 8906-212
stefan.kaiерle@ilt.fraunhofer.de



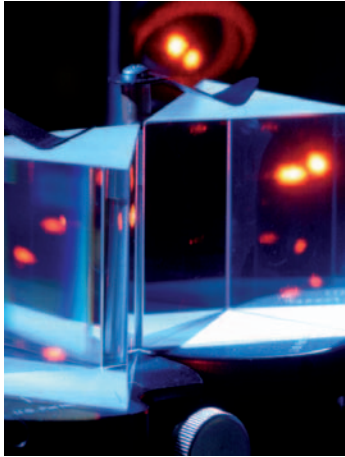
Oben: Versuchsstand.
Mitte und unten: Vergleich von unregelmäßigem (Bild Mitte) und regelmäßigem (Bild unten) Schweißprozess bei ungleichmäßiger IR-Absorberschicht.

Lasermess- und Prüftechnik





Das Angebotsspektrum des Geschäftsfelds umfasst die Entwicklung von Mess- und Prüfverfahren sowie entsprechender Anlagen zur Stoffanalyse und zur Geometrie- und Oberflächenprüfung. Die erforderliche Mess- und Prüfsoftware wird auf die kunden-spezifischen Problemstellungen zugeschnitten. Die Stoffanalyse beruht auf dem Einsatz laserspektroskopischer Verfahren. Schwerpunktmäßig befasst sich dieser Bereich mit der Analyse metallischer und oxidischer Werkstoffe, der Verwechslungsprüfung, der Schnell-erkennung von Werkstoffen für Recyclingaufgaben sowie der Analyse von Gasen und Stäuben. Für die parallele Verarbeitung von Detektorsignalen hoher Bandbreite werden spezielle Elektronikkomponenten entwickelt.



Multiphotonen-Mikroskopie
mit Femtosekunden-Laserpulsen.

In der Biophotonik werden Verbundprojekte im Bereich hochsensitiver Fluoreszenzdetektion für Proteinchips und Laser-Streulichtmessungen in Sub- μl Probenvolumina für die Proteinkristallisation durchgeführt. Im Bereich Geometrie- und Oberflächenprüfung werden Komponenten, Geräte und Anlagen, mit denen 1- bis 3-D-Informationen über die Geometrie- oder die Oberflächenbeschaffenheit von Werkstücken gewonnen werden können, entwickelt. Hierzu zählen beispielsweise Verfahren und Sonderanlagen für die Prüfung der Maßhaltigkeit von strang- und bandförmigen Produkten und Geräte für die 1-D- bis 3-D-Vermessung von Stückgut. Zielmärkte sind die produzierende Industrie und die Recyclingwirtschaft, die mess- oder prüftechnische Aufgaben prozessnah und schnell durchführen müssen.



Blaue Laser für die Ultrapräzisions-Triangulation - BLU	128	Elementspezifische Charakterisierung von Stahlschrottströmen für das Recycling	136
Optische Kohärenz-Tomographie (OCT) in der kunststoffverarbeitenden Industrie	129	Laserneuroendoskop	137
Charakterisierung ultrafeiner Staubpartikel in Emissionen von Industrieprozessen	130	Endoskopisches Laserkoagulationssystem mit integrierter Prozesskontrolle	138
Optische Ferndetektion von Gefahr- und Explosivstoffen - OFDEX	131	Multiphotonen-Mikroskopie mit Femtosekunden-Laserpulsen	139
OFUR - Online-Analyse für die Gewinnung mineralischer Rohstoffe	132	Sensitiver Nachweis klinisch relevanter Markermoleküle mit biologischen Nanosonden	140
Einzelkornanalyse zur Mineralientrennung bei der Gewinnung von Primärrohstoffen	133	Raman Differenz-Spektroskopie für die Kristallographie	141
ILCOM - Bildgebende Laseranalyse von Elementverteilungen von Baustoffen	134		
Schnelle lasergestützte Analyse von metallischen und nicht-metallischen Einschlüssen in Stahl	135		



Aufgabenstellung

Moderne Serienproduktionen stellen hohe Anforderungen an automatisierte Prozess- und Qualitätskontrollen. Hierbei kommt für die Prüfung geometrischer Größen immer häufiger das Verfahren der Lasertriangulation zum Einsatz. Zukünftige Anwendungen erfordern noch flexiblere und genauere Sensoren. Im Rahmen eines vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Verbundprojekts werden zusammen mit Industriepartnern neuartige Technologien für den Einsatz bei Triangulationssensoren erprobt.



Oben: Triangulationssensor mit einer blau-violetten Strahlquelle.
Unten: Dickenmesssystem mit einer Bügelänge > 800 mm.

Vorgehensweise

Eine grundlegende Verbesserung der Sensoren wird durch die Wahl von kürzeren Wellenlängen und besserer Strahlqualität bei der Laserstrahlquelle erwartet. Hierdurch soll die Genauigkeit gesteigert und Hochtemperatur-Messungen ermöglicht werden. Durch die Verwendung eines räumlichen Modulators wird der Sensor zu einem flexiblen Werkzeug, welches leicht an verschiedene Messanforderungen der Triangulation für die Messung von Abständen und Profilen angepasst werden kann.



Ergebnisse und Anwendungen

Als Laserstrahlquelle wird eine blau-violette Laserdiode verwendet, deren Strahlung in eine Singlemodelfaser eingekoppelt wird. Damit wird es möglich, auf spiegelnden Oberflächen Genauigkeiten im Bereich von $1\text{ }\mu\text{m}$ zu erreichen. Mit dieser Strahlquelle kann überdies auf Oberflächen von Messobjekten mit Temperaturen $> 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessen werden. Für den Sensor wird ein Optikträger aus Glas verwendet, welches eine äußerst leichte und stabile Konstruktion erlaubt. Der räumliche Modulator erzeugt je nach Messaufgabe verschiedene Strahlmuster, wie z. B. mehrere Punkte, Linien oder Gitternetze. Bei 60 Hz können hiermit Geometrien mit einer Genauigkeit von $50\text{ }\mu\text{m}$ vermessen werden bei einem Messbereich von 90 mm.

Ziel der Entwicklungsarbeiten ist es, mit den neuen Sensoren Genauigkeiten $< 1\text{ }\mu\text{m}$ zu erreichen. Ein weiterer Arbeitspunkt ist die Erprobung eines passiv temperaturstabilisierten Dickenmesssystems mit einer Bügelänge $> 800\text{ mm}$ an Produkten mit metallisch blanker Oberfläche.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) André Lamott
Telefon 0241 8906-133
andre.lamott@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138,
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Studien von Marktforschungsunternehmen haben in den vergangenen Jahren wiederholt einen europaweit steigenden Bedarf an Kunststoffverpackungen um jährlich rund 5,5 Prozent festgestellt und sagen ein Anhalten dieses Trends voraus. Zugleich nehmen insbesondere im Bereich der Lebensmittelverpackungen die Anforderungen weiter zu. Endverbraucher erwarten beispielsweise eine immer längere Haltbarkeit von Produkten oder eine zunehmende Funktionalisierung der Verpackung, wie z. B. die Anzeige des Frischegrades. Von dieser steigenden Nachfrage nach High-Tech-Verpackungen profitieren gerade deutsche Unternehmen mit einem hohen fertigungstechnischen Know-how. Die steigenden Anforderungen an Verpackungsfolien spiegeln sich technologisch in einem immer komplexeren Schichtaufbau und einer Zunahme der funktionalen Schichten von Kunststofffolien wider. Nicht selten bestehen dünne, transparente Folien heute bereits aus fünf oder mehr Einzelschichten, denen verschiedene Funktionen zukommen. Wegen des vergleichsweise hohen Materialpreises der Funktionskunststoffe sind Kunststoffverarbeiter allerdings bemüht, deren Rohstoffanteil am Produkt bei Einhaltung der vollen Funktionalität möglichst gering zu halten.

Vorgehensweise

Um eine einwandfreie Barrierewirkung garantieren zu können, müssen Vollständigkeit und ausreichende Dicke der Funktionsschichten kontinuierlich überprüft werden. Messsysteme zur Bestimmung der Gesamtfoliendicke für die Qualitätskontrolle sowie zur Prozessregelung sind bereits Stand der Technik bei der Herstellung von Kunst-

stofffolien. Bislang stehen jedoch keine geeigneten Folieninspektionssysteme zur Verfügung, die den Schichtaufbau von Mehrschichtfolien vermessen können. Die Optische Kohärenz-Tomographie (OCT) ist ein bildgebendes Verfahren, mit dem hochauflösende 3-D-Tomographiebilder erstellt werden können. Basierend auf interferometrischen Messungen erlaubt diese Technologie die Detektion von Einzelschichtdicken in Kunststofffolien mit einer Tiefenauflösung von wenigen Mikrometern.

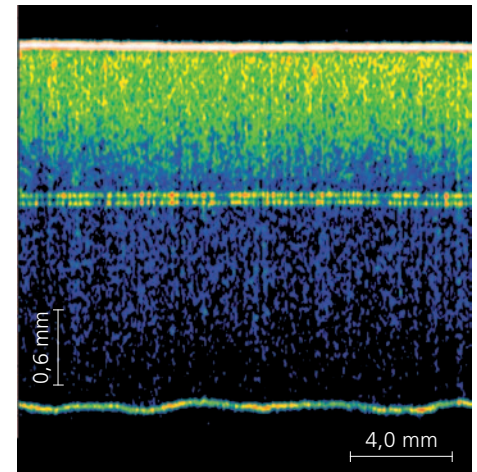
Ergebnisse und Anwendungen

Im Rahmen des Forschungsprojekts IRIS wird mit der Entwicklung eines »Interferometrischen Regelungs- und Inlinekontrollsystems für die Produktion von Multischicht-Kunststofffolien« diese technologische Lücke geschlossen und eine Vermessung dünner Einzelschichten im Mikrometerbereich in der laufenden Produktion ermöglicht werden. IRIS erlaubt neben einer hohen Prozesssicherheit die Umsetzung eines Regelungskonzepts für Folienanlagen, das bei einer Maschine mittlerer Kapazität eine Ressourcenersparnis von rund 100.000 EUR pro Jahr ermöglicht.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Stefan Hoelters
Telefon 0241 8906-436
stefan.hoelters@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



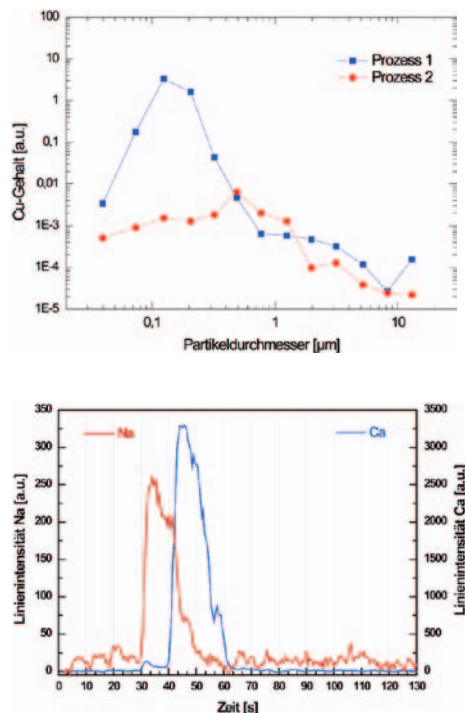
Querschnittsmessung einer dreischichtigen Kunststofftankwand mit EVOH-Barrierschicht. Gesamtdicke 2,3 mm und Dicke der mittleren Schicht 100 µm.



Aufgabenstellung

Die Belastung der Luft mit feinen und ultrafeinen Staubpartikeln ist in den vergangenen Jahren als großes Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung erkannt worden. Wichtige anthropogene Partikelquellen sind der Verkehr und die Industrie.

Besonders kleine Partikel mit Größen im Nanometerbereich stellen ein erhöhtes Gesundheitsrisiko dar, da sie am weitesten in den menschlichen Organismus eindringen können. Andererseits sind diese Aerosol-Partikel der Messtechnik am schwersten zugänglich, so dass hier erhöhter Entwicklungsbedarf besteht. Hierbei ist nicht nur die Zusammensetzung der Partikel, sondern auch deren Größenabhängigkeit von Interesse. In diesem Projekt wird ein Verfahren entwickelt, mit dem die größenabhängige Partikel-Zusammensetzung, insbesondere im Hinblick auf den Schwermetallgehalt, bestimmt wird.



Oben: Kupfergehalt in Feinstaubpartikeln der Größen 40 nm bis 4 µm aus verschiedenen Produktionsprozessen.

Unten: Zeitlicher Verlauf des Signals der Laseranalyse von Partikeln direkt im Luftstrom nach der Eingabe von Natrium und Calcium in das Messsystem. Die Reaktionszeit liegt unter einer Sekunde.

Vorgehensweise

Zur chemischen Analyse der Partikel werden zwei Messmethoden auf Basis der Laser-Emissionsspektroskopie entwickelt. Im ersten Anwendungsfall werden Partikel nach Größenklassen auf Filtern gesammelt und anschließend im Labor untersucht. Alternativ wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem Partikel direkt vor Ort im Luftstrom analysiert werden können, um auch schnelle Online-Charakterisierungen zu ermöglichen.

Um zuverlässige Messergebnisse zu erhalten, müssen Proben und Aerosole hergestellt werden, die die Kalibrierung des Messgerätes für alle relevanten Elemente über einen Konzentrationsbereich von mehreren Größenordnungen ermöglichen.

Ergebnisse und Anwendungen

Untersuchungen von Emissionen aus der Stahlherstellung zeigen beispielsweise erhöhte Gehalte von Blei, Cadmium und Kupfer bei Partikeln mit einer Größe um 200 nm. Die Zusammensetzung variiert stark mit der Größe und ist charakteristisch für einzelne Prozesse, in denen diese Partikel entstehen. Damit lassen sich »Fingerabdrücke« der Prozesse erstellen, die eine Zuordnung von Emissionsquellen ermöglichen. Aufgrund der Größenabhängigkeit der Zusammensetzung lässt sich somit auch das Gesundheitsrisiko genauer einschätzen, das von den Emissionen ausgeht. Größenaufgelöste Messungen sind ebenfalls bei der Analyse von Partikeln im Luftstrom möglich. Aufgrund der kurzen Messzeit sind damit direkte Prozesskontrollen möglich. Die Reaktionszeit liegt hier unter einer Sekunde.

Das Verfahren kann universell auch in anderen Industriebereichen, der Motorenentwicklung sowie der Nanotechnologie eingesetzt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Nadine Strauss
Telefon 0241 8906-196
nadine.strauss@ilt.fraunhofer.de

Dr. Cord Fricke-Begemann
Telefon 0241 8906-196,
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Die Bedrohung durch terroristische Attacken hat in den letzten Jahren stark zugenommen, insbesondere durch Autobomben und Sprengsätze in Gepäckstücken. Zurzeit gibt es kein System zur Fernerkennung solcher »improvised explosive devices (IED)«. Daneben besteht großer Bedarf für Systeme zur chemischen Fernanalyse im Bereich des Katastrophen- und Umweltschutzes, beispielsweise bei Unfällen in der petrochemischen Industrie oder zur Emissionskontrolle.

Vorgehensweise

Innerhalb eines Verbunds von vier Fraunhofer-Instituten wird ein System zur Fernerkennung von Gefahr- und Explosivstoffen mit sich ergänzenden optischen Verfahren entwickelt. Am Fraunhofer ILT wird die Eignung der Ramanspektroskopie für die Ferndetektion untersucht. Mit Ramanspektroskopie lassen sich Substanzen mit ähnlicher atomarer Zusammensetzung unterscheiden, indem die Frequenzen der charakteristischen Eigenschwingungen der Moleküle gemessen werden.

Eine der Herausforderungen besteht in der geringen Stärke der Ramansignale. Zur Erhöhung der Signalstärke wird die Ramanstreuung mit einem ultravioletten Laser angeregt. Damit wird eine Reduktion der Nachweisgrenze um mehrere Größenordnungen gegenüber den konventionellen infraroten Lasern erreicht.

Hohen Stellenwert hat die Entwicklung automatisierter Datenauswerteverfahren, die ohne einen speziell ausgebildeten Benutzer zu einer Ja/Nein Entscheidung kommen.

Ergebnisse und Anwendungen

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ICT wurde ein Blindversuch durchgeführt, bei dem je 15 Proben ANFO (ammonium nitrate fuel oil) und TNT in einem Kollektiv von 111 Proben gefunden werden mussten. Die Belegungsdichten waren im Bereich typischer Fingerabdruckspuren, etwa $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Auf kurze Distanzen konnten mit einer Messzeit von 10 Sekunden alle ANFO Proben mit einer Belegungsdichte größer $80 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ erkannt werden. Falsch-positiv Resultate sind nicht aufgetreten. Für TNT wurden alle Proben mit Belegungsdichten größer $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ erkannt.

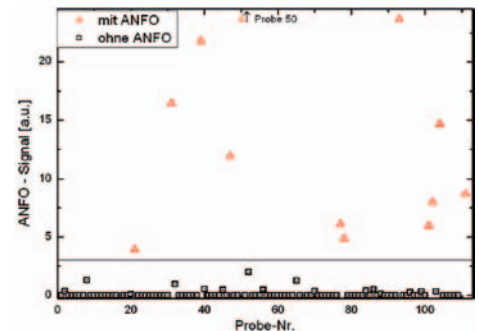
Weitere Anwendungen für diese Technologie sind neben der Sicherheitstechnik auch die industrielle Prozesskontrolle, beispielsweise im Bereich Lebensmittel oder Feinchemikalien.

Das Projekt wird mit finanzieller Unterstützung der Fraunhofer-Gesellschaft durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. Peter Jander
Telefon 0241 8906-440
peter.jander@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Automatische Erkennung von ANFO Sprengstoff. Alle Proben mit einer Signalthöhe größer 3 werden richtig als ANFO klassifiziert.



Aufgabenstellung

Der Einsatz von Online-Messsystemen zur chemischen Analyse in der Gewinnung mineralischer Rohstoffe ermöglicht erhebliche Kostenreduzierungen durch die Erstellung genauer Lagerstättenmodelle. Damit kann die unerwünschte Gewinnung von Nebengestein minimiert werden.

Im Rahmen des Projekts werden zwei Anwendungen beispielhaft untersucht. Für die untertägige Steinkohlegewinnung wird ein Analysemodul zur Integration in einen Walzenschrämlader entwickelt, das automatisch den Anteil an geschnittenem Nebengestein misst. Für den obertägigen Bergbau wird ein Bohrgerät mit einem Online-Analysemodul ausgerüstet, das bei Explorations- oder Sprengbohrungen die simultane Erstellung eines Lagerstättenmodells ermöglicht.

Vorgehensweise

Beim Bohren oder Schneiden entstehende Gesteinsstäube werden abgesaugt und mittels Laser-Emissionsspektroskopie direkt im Luftstrom chemisch analysiert. Die Ergebnisse der Analyse werden in ein Lagerstättenmodell eingebracht und können so zur Steuerung des Abbaus verwendet werden.

Für den untertägigen Einsatz wird die Unterscheidung von Steinkohle und Tonschiefer untersucht. Für den über-tägigen Bergbau ist ein Einsatz zunächst in der Kalkgewinnung vorgesehen. Die verwendete Technik kann auch auf andere Nutzmineralien und Nebengesteine übertragen werden.

Die raue Einsatzumgebung stellt an das Analysemodul außergewöhnliche Anforderungen hinsichtlich Vibrations-, Staub- und Wasserfestigkeit. Für den Einsatz unter Tage sind die Belange des Explosionsschutzes zu berücksichtigen.

Ergebnisse und Anwendungen

In einem Laboraufbau konnte die Unterscheidung von Nutzmineral und Nebengestein bei der Messung an Staubpartikeln im Luftstrom demonstriert werden. Die Analyse kann sowohl an trockenem als auch an feuchtem Staub durchgeführt werden.

Zur Frage des Explosionsschutzes wurden umfangreiche Testreihen in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) durchgeführt.

Nach dem Aufbau eines Demonstrators werden Versuche zunächst im Steinbruch, später auch unter Tage durchgeführt, um die Eignung des Messverfahrens unter Betriebsbedingungen zu demonstrieren.

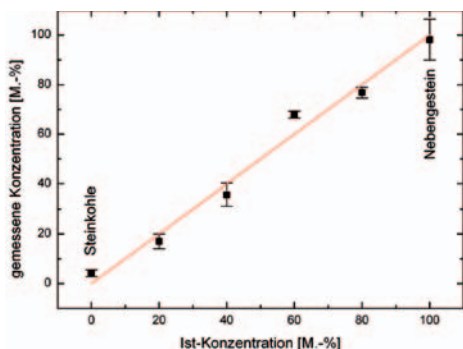
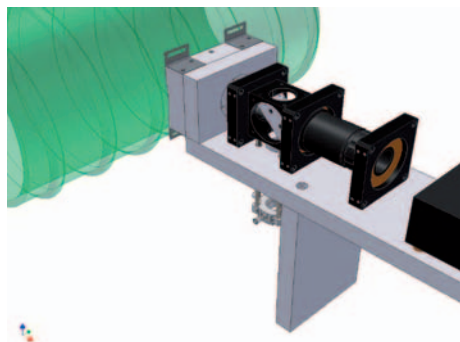
Die Arbeiten werden durch das Bundeswirtschaftsministerium, mittelständische Unternehmen, Industriepartner und die Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

Dr. Peter Jander
Telefon 0241 8906-440
peter.jander@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Tobias Kuhlen
Telefon 0241 8906-308
tobias.kuhlen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Optikmodul für den obertägigen Messaufbau.

Unten: Das Diagramm zeigt die mit LIBS gemessene Konzentration des Nebengesteins aufgetragen über die vorgegebene Ist-Konzentration in Massen-Prozent.



Aufgabenstellung

Zur effizienten Nutzung von Primärrohstoffen, wie beispielsweise Kalkstein oder anderen Mineralien und Erzen, müssen bei der Aufbereitung Nutzmaterialien von verwachsenen Nebengesteinen getrennt werden. Diese stoffliche Trennung muss aufgrund der vergleichsweise niedrigen Preise dieser Rohstoffe in der unmittelbaren Umgebung der Abbaustätte erfolgen. Ein Transport des abgebauten Materials ist in vielen Fällen unwirtschaftlich. Derzeit existieren keine automatisch arbeitenden Verfahren zur wirtschaftlichen Online-Einzelkornsortierung von Primärrohstoffen. Im Rahmen eines Verbundvorhabens soll ein lasergestütztes Sortierverfahren zunächst zur Trennung von Kalkstein und Dolomit entwickelt werden. Die Erweiterung auf andere Erze und Mineralien ist möglich.

Vorgehensweise

Der Verfahrensansatz für die schnelle Identifikation des Sortierguts beruht auf einer Kombination aus Bildverarbeitung, lasergestützter Geometrieerfassung und Laser-Emissionsspektrometrie (engl. LIBS, laser-induced breakdown spectroscopy). Nach dem Durchlaufen einer Vereinzelungseinheit werden geometrisch-optische Merkmale des Sortierguts erfasst und mit Bildverarbeitungsalgorithmen ausgewertet. Danach wird laserspektroskopisch die chemische Zusammensetzung der Einzelkörner bestimmt. Das Sortiergut wird schließlich entsprechend der online zu treffenden Sortierentscheidung in zwei oder mehr Fraktionen getrennt ausgeschleust.

Ziel des Vorhabens ist die Realisierung eines Demonstrators im Technikumsmaßstab, mit dem die Funktionalität des Sortierverfahrens unter anwendungsnahen Bedingungen getestet wird.

Ergebnisse und Anwendungen

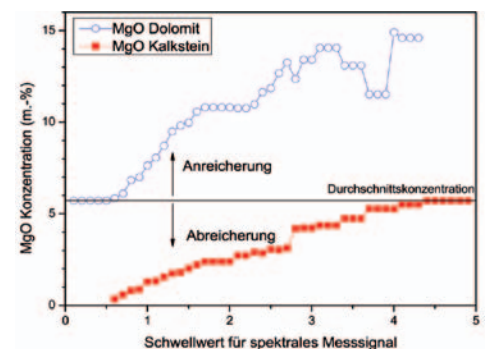
Das Sortierverfahren wird zunächst für den Anwendungsfall Kalkstein und Dolomit entwickelt und erprobt. Dabei sind relativ reine Kalziumkarbonat-Gesteine von solchen mit unerwünscht hohem Magnesiumanteil zu trennen. In Untersuchungen an Proben aus verschiedenen Steinbrüchen konnte gezeigt werden, dass die LIBS-Messungen den MgO-Gehalt unabhängig von der Lagerstätte bestimmen können. Dabei wurden für jede betrachtete Werkstoffklasse Identifikationsrichtigkeiten größer als 90 Prozent bei einer Ausbeute von 100 Prozent erzielt. Außerdem zeigt sich, dass die Analysequalität verbessert werden kann, wenn der Laserstrahl zunächst zum Reinigen und anschließend zur Analyse der Mineralien verwendet wird.

In Sortierversuchen mit Produktionsproben bei 3 m/s Bandgeschwindigkeit konnte eine Trennung in zwei Fraktionen mit 2 Prozent bzw. 10 Prozent MgO-Gehalt erreicht werden und damit eine effiziente An- bzw. Abreicherung gegenüber dem Ausgangsgestein (5 Prozent MgO). Diese Ergebnisse konnten durch die Beaufschlagung jedes Einzelkorns mit nur einer Laserimpulsgruppe erzielt werden, wodurch ein hoher Stoffdurchsatz möglich wird. Für ein industrietaugliches Gerät wird ein Massendurchsatz von 150 t/h angestrebt mit einer Ausbringung von 90 - 95 Prozent und einer Reinheit im Produkt von > 95 Prozent.

Ansprechpartner

Dr. Cord Fricke-Begemann
Telefon 0241 8906-196
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



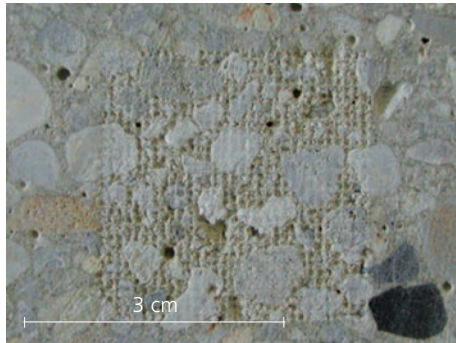
Oben: Hang- und Hügellabbau eines Kalksteinbruchs der voestalpine AG in Steyrling, Österreich.

Unten: An- und Abreicherung des MgO-Gehalts der getrennten Fraktionen Kalkstein und Dolomit in Abhängigkeit vom eingestellten Schwellwert.



Aufgabenstellung

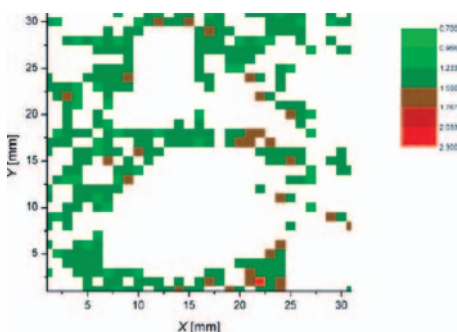
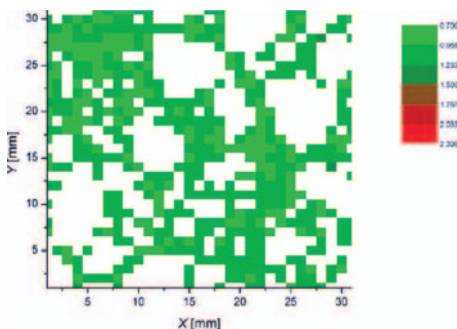
Bauwerke und Betonbauten, wie beispielsweise Brücken und Parkhäuser, werden durch Umwelteinflüsse (Abgase, Streusalze etc.) korrosiv verändert, da eindringende Elemente wie Stickstoff, Schwefel und im besonderen Chlor zu einer nachhaltigen Schädigung der Bausubstanz führen. Um eine aufwandsoptimierte Gebäudesanierung gewährleisten zu können, muss die Eindringtiefe und Konzentration dieser Elemente möglichst genau bestimmt werden. Durch ein Analysesystem soll vor Ort eine Bestimmung von Elementgehalten in Baustoffen realisiert werden, so dass anhand von »Elementlandkarten« Schäden erkannt und diese in Abhängigkeit vom Ausprägungsgrad beseitigt werden können.



Aufsicht einer gemessenen Betonprobe mit dem erzeugten Raster von Laserkratern.

Vorgehensweise

Die Laser-Emissionsspektrometrie ist eine Methode mit der feste, flüssige und gasförmige Substanzen berührungslos chemisch analysiert werden können. Die Konzentrationen verschiedener Elemente können innerhalb kurzer Zeit simultan bestimmt werden.



Darstellung des Chlorgehalts im Zement zweier unterschiedlicher Betonproben (oben: 0,5 M.-Prozent, unten: 4 M.-Prozent). Die Messfläche hat eine Größe von 30 mm x 30 mm. Wiedergegeben ist die örtliche Verteilung von Chlor in einer Falschfarbendarstellung. Rot-grüne und rote Punkte entsprechen hohen Chlorgehalten, hellgrüne niedrigen Gehalten. Weiße Flächen sind Zuschläge, in die kein Chlor eingedrungen ist.

Von Bauwerken entnommene Bohrkern werden gespalten und die Bruchfläche mit einem fokussierten Nd:YAG-Laserstrahl abgerastert. Durch die auftreffenden Laserpulse auf der Oberfläche werden kleinste Mengen des Bohrkerns verdampft und ionisiert, so dass ein Plasma entsteht. Die Plasmaemission lässt durch ihre elementspezifische Linienstrahlung Rückschlüsse auf den Elementgehalt an der jeweiligen Messstelle zu.

Ergebnisse und Anwendungen

Ein Demonstrator wurde konzipiert und aufgebaut, mit dem es möglich ist, automatisiert 2-dimensionale Elementlandkarten zu erstellen.

Über 20 Elemente werden innerhalb einer Messung simultan detektiert. Die Zuschlagstoffe und der Zement innerhalb des Betons können anhand der Elementkonzentrationen (Ca, Si, etc.) unterschieden werden.

Eine Nachweisgrenze für Chlor in Zement entsprechend DIN 32 645 von 0,1 M.-Prozent konnte erstmals erreicht werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Christoph Dominic Gehlen
Telefon 0241 8906-127
christoph.gehlen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Wichtige Qualitätskriterien in der Herstellung von Stahl sind die Anzahl, Verteilung und Zusammensetzung metallischer und nicht-metallischer Einschlüsse. Sie haben eine typische Größe von 0,1 µm bis zu 100 µm. Solche Einschlüsse beeinflussen die Materialeigenschaften und können zu Materialermüdung oder gar Bruch des Materials führen. Vielfach bestehen Einschlüsse aus einer Kombination verschiedener Elemente, wie z. B. MnS oder TiN. Ein Nachweis auch der sogenannten leichten Elemente - wie C, N, O, P und S - ist deshalb gefordert. Die Analyse soll dabei möglichst ohne eine aufwändige Probenpräparation auskommen. Neben der Einschlussanalyse ist ein Ziel die gleichzeitige quantitative Analyse des Grundmaterials (Bulkanalyse).

Vorgehensweise

Für die Analyse der Reinheit von Stahl ist eine gefräste oder geschliffene Probe ausreichend. Diese Probe wird innerhalb einer mit Schutzgas gefüllten Messkammer gemessen. Dazu rastert ein Strahl eines fokussierten diodengepumpten Festkörperlaser die Probenoberfläche mit geringen Pulsenergien (im Bereich 1 - 3 mJ) ab. Im Fokus des Laserstrahls wird eine geringe Menge des Probenmaterials verdampft und ein Plasma wird erzeugt. Die emittierte Strahlung des Plasmas wird spektral zerlegt, in elektrische Signale gewandelt und ausgewertet.

Mit dieser Messmethode (rasterndes LIBS-Verfahren) kann durch die hohe Messfrequenz von z. B. 1 kHz eine Probenoberfläche von 10 x 10 mm² in 10 Minuten analysiert werden. Innerhalb dieser Messzeit werden Elementlandkarten mit einer örtlichen Auflösung von 20 µm für bis zu 48 (je nach Spektrometerausrüstung) verschiedene chemische Elemente simultan gemessen. Der Messablauf von der Definition der Messfelder bis zur Schutzgasspülung wird über die Bedienersoftware Sirius-C parametrisiert. Die Messung erfolgt automatisiert.

Ergebnisse und Anwendungen

Der Vergleich der Messergebnisse zur Einschlussanalyse mit zeitaufwändigeren konventionellen Verfahren zeigt weitgehende Übereinstimmung der Ergebnisse. Algorithmen zur Verarbeitung und Auswertung der großen Datenmengen wurden entwickelt und implementiert. Die Entwicklung von Kalibriermethoden für die rasternde Messung ermöglicht auch bei den verwendeten kleinen Pulsenergien die quantitative Bulkanalyse von Stahlproben.

Die Arbeiten werden von dem Research Fund for Coal and Steel (RFCS) und der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

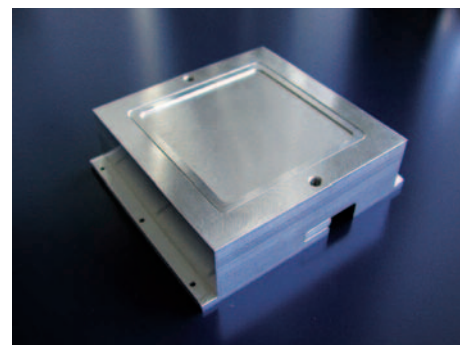
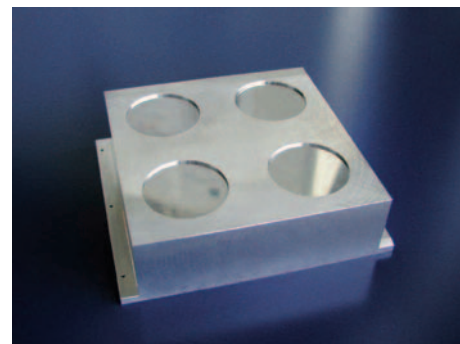
Ansprechpartner

Dr. Volker Sturm
Telefon 0241 8906-154
volker.sturm@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



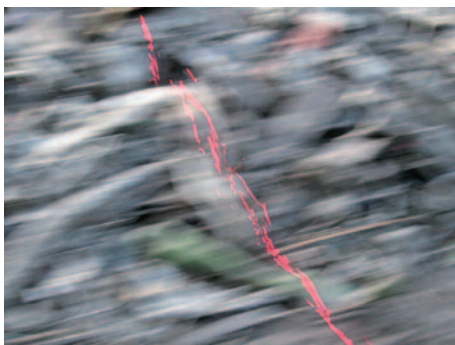
Oben: Demonstrator für die ortsauflöste Mikroanalyse mit Laser, Simultanspektrometer und Probenkammer sowie Signal- und Steuerelektronik.
Mitte: Probenträger für die gleichzeitige Aufnahme von bis zu 4 Stahlproben mit Durchmessern bis zu 40 mm, z. B. Referenzproben für die Kalibrierung.
Unten: Probenträger für Rechteckproben mit Abmessungen bis 70 x 70 mm².





Aufgabenstellung

Das Recycling von Stahlschrott als Rohstoff für die Stahlerzeugung hat neben dem Umweltaspekt zunehmend auch wirtschaftliche Bedeutung aufgrund knapper werdender Ressourcen und steigender Rohstoffpreise. Je besser der Stahlschrott bezüglich seiner chemischen Elementzusammensetzung charakterisiert ist, desto höherwertiger ist die Fraktion. Klassische Fraktionsierungsverfahren (Magnetabscheidung, Dichteverfahren u. a.) können nur einige Merkmale erfassen - für einzelne in der Verwertung kritische Elemente sind sie meist nicht hinreichend selektiv. Die Aufgabe besteht in der Entwicklung und Eignungsprüfung eines Messverfahrens zur Vor-Ort-Charakterisierung von Stahlschrottströmen auf Förderbändern mit Bandgeschwindigkeiten bis zu 3 m/s.



Oben: Installation des Messaufbaus während der Vor-Ort-Messkampagne. Das Bild zeigt das Optikmodul über dem Förderband, siehe Pfeil. Das Spektrometer und das Steuermodul befinden sich in einem Container unterhalb des Förderbands.

Unten: Laserlichtschnitt zur Geometrierfassung der Schrottteile während der Messung bei einer Bandgeschwindigkeit von 1 m/s.

Vorgehensweise

Die Laser-Emissionsspektrometrie (engl. LIBS - Laser-induced Breakdown Spectroscopy) wurde hierfür als Messverfahren zur elementselektiven Charakterisierung gewählt. Ein kurzer Laserpuls erzeugt auf der Oberfläche des Stahlschrotts ein Plasma, dessen Licht Informationen über die Elementgehalte enthält und das von einem Spektrometer analysiert wird. Die Geometrie der Schrottteile wird mit einem Lichtschnittsensor erfasst und der Analyselaser mit einem Scanner schnell abgelenkt. Das Laserverfahren muss dahingehend entwickelt werden, einen zuverlässigen Mittelwert der Elementgehalte einer aufgeschütteten Schrottfraction zu ermitteln.

Ergebnisse und Anwendungen

In einer ersten Phase des Vorhabens wurden Laserparameter gefunden, die es erlauben, auch Beschichtungen und Schmutzschichten zu entfernen und somit die Elementanalyse des eigentlichen Materials ermöglichen. Ein Demonstratoraufbau mit einem Optikmodul, einem Spektrometermodul und einem Steuermodul wurde konzipiert und aufgebaut. Das Optikmodul enthält u. a. den Lichtschnittsensor zur Geometrierfassung, den LIBS-Laser sowie den Scanner. Bei einer Vor-Ort-Messkampagne in einem Recycling-Unternehmen wurde der Demonstratoraufbau an einer Schredderanlage mit einer Bandgeschwindigkeit von etwa 1 m/s zum Einsatz gebracht.

Die Arbeiten werden vom Research Fund for Coal and Steel of the European Community und der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Daniel Eilers
Telefon 0241 8906-308
daniel.eilers@ilt.fraunhofer.de

Dr. Volker Sturm
Telefon 0241 8906-154
volker.sturm@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Bei neurochirurgischen Eingriffen sind Präzision und Operationssicherheit entscheidend für den Therapieerfolg. Daher wird am Fraunhofer ILT ein Neuroendoskop entwickelt, mit dem durch den Einsatz von Pikosekundenlaserstrahlung Gewebe im Gehirn submillimetergenau und ohne thermische Schädigung des umliegenden Gewebes abgetragen werden kann.

Vorgehensweise

Das Neuroendoskop besitzt einen starren Aufbau und ist für die Anwendung hochenergetischer Kurzpuls Laserstrahlung ausgelegt. Diese wird über einen 23 cm langen und 2,8 mm breiten mikrooptischen Kanal durch das Endoskop geführt und an der Endoskopspitze über einen Umlenkspiegel senkrecht zur Endoskopachse ausgekoppelt. Die Endoskopspitze mit Umlenkspiegel kann eine Rotationsbewegung um die Endoskopachse vollführen und dabei den Fokus des Laserstrahls auf einer Kreisbahn bewegen. In Kombination mit einer Tiefenverstellung des Endoskops und axialer Verstellung der Fokussierlinse ist der Laserfokus beliebig in einem Zylindervolumen von 5 cm Durchmesser und 12 cm Höhe positionierbar. Für den Gewebeabtrag wird Pikosekundenlaserstrahlung hoher Leistung in das Endoskop eingekoppelt. Dabei realisiert eine aktive Strahllageregelung einen ungestörten Durchtritt des Laserstrahls durch den mikrooptischen Kanal des Endoskops. Der Abtragslaser besteht aus einer Verstärkerkette aus regenerativem und Hochleistungsverstärker zur Erzeugung von Laserstrahlung der Wellenlänge $\lambda = 532$ nm, einer Pulsdauer von $\tau = 25$ ps und einer Pulsenergie von $E_p = 1$ mJ bei einer Wiederholfrequenz von $f = 10$ kHz.

Ergebnisse und Anwendungen

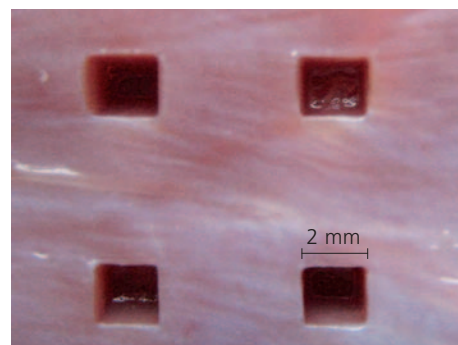
Zur Bestimmung der Ablationseffizienz wurden Abtragsexperimente an Herzmuskelgewebe des Schweins in Abhängigkeit von der Energie der ablatierenden Laserpulse zwischen $E_p = 50$ μ J und $E_p = 500$ μ J durchgeführt. Hierzu sind Gewebeproben unter dem fokussierten Laserstrahl mit einem motorisierten Mikroskoptisch in der Ebene abgescannt worden. Die Proben befanden sich in einer Flusszelle, die von einer Kochsalzlösung durchspült wurde, um die abgetragenen Gewebebruchstücke aus der Ablationszone zu entfernen. Systematische Untersuchungen ergaben einen maximalen Volumenabtrag pro Puls von $V_p = 80.000$ μ m³ bei einer Pulsenergie von $E_p = 500$ μ J.

Das Forschungsvorhaben wurde vom BMWI gefördert und zusammen mit Partnern aus der Industrie und klinischen Forschung durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. Achim Lenenbach
Telefon 0241 8906-124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Das Endoskop ist aus drei coaxialen Röhrchen zusammengesetzt. Im Inneren befindet sich das Linienrohr mit dem mikrooptischen Kanal ($\varnothing$ 2,8 mm), in der Mitte das axial verstell- und rotierbare Spiegelrohr und außen das Fixierrohr ($\varnothing$ 5,5 mm).

Unten: Nicht thermischer Abtrag mit Hochleistungs-Pikosekundenlaserstrahlung. An den Abtragsrändern sind keine thermischen Gewebeschädigungen erkennbar. Die Abtragsgeometrien weisen scharfe Resektionsränder auf.



Aufgabenstellung

Für den Verschluss von Blutgefäßen bei mikroneurochirurgischen Eingriffen wurde ein laserendoskopisches Verfahren entwickelt. Es soll in schwer zugänglichen Arealen des Gehirns oder zur Unterstützung laserneurochirurgischer Verfahren eingesetzt werden. Für die Prozesskontrolle und Steuerung der Laserkoagulation wird am Fraunhofer ILT ein optisches Online-Messverfahren auf der Grundlage der Optischen Kohärenztomographie (OCT) entwickelt.

Vorgehensweise

Die Laserkoagulation erfolgt mit einem Ytterbium Faserlaser ($\lambda = 1070 \text{ nm}$, $P_{\text{max}} = 120 \text{ W}$). Der Laserstrahl wird in ein Endoskop für die Laserneurochirurgie einkoppelt und am Ende eines 23 cm langen mikrooptischen Kanals mit einer Sammellinse auf das zu koagulierende Gefäß fokussiert. Während der Koagulation scannt der Messstrahl des integrierten OCT-Messsystems den Querschnitt des bestrahlten Gefäßes mit einer Bildwiederholrate von 10 Hz ab. Die dabei entstehenden Querschnittsaufnahmen mit einer lateralen Auflösung von $60 \mu\text{m}$ und einer axialen Auflösung von $25 \mu\text{m}$ erlauben die Beobachtung der zeitlichen Veränderung des Gefäßdurchmessers. Diese Prozessbeobachtung soll zur Steuerung der Laserleistung während der Gefäßkoagulation eingesetzt werden, um die Zerstörung des bestrahlten Gefäßes oder des umliegenden Gewebes durch eine überhöhte Bestrahlungsdosis zu verhindern.

Ergebnisse und Anwendungen

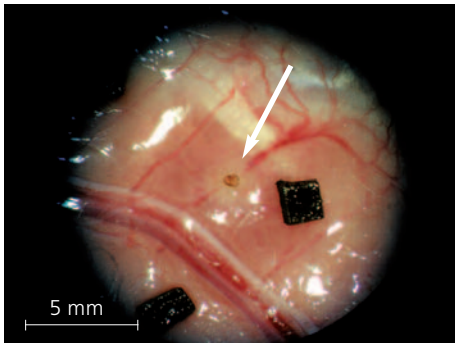
Die endoskopische Laserkoagulation von Blutgefäßen wurde systematisch zunächst am Gefäßbaum des Schweineherzens ex vivo an 435 Gefäßen und anschließend in vivo an 176 Gefäßen von Sprague Dawley-Ratten untersucht. Alle Gefäße sind über 5 s bestrahlt worden und wiesen einen Gefäßdurchmesser zwischen $150 \mu\text{m}$ und $1300 \mu\text{m}$ auf. Bei den In-vitro-Experimenten wurden die Gefäße mit einer nativen BSA-Lösung unter einem hydrostatischen Druck von $p = 120 \text{ mm Hg}$ perfundiert. Sowohl für das In-vitro- als auch das In-vivo-Modell konnte ein Leistungsbereich für den erfolgreichen und reproduzierbaren Gefäßverschluss ermittelt werden.

Darüber hinaus sind in 100 weiteren Koagulationsexperimenten Gefäßverschlüsse mit dem OCT-Messsystem online beobachtet worden. Anhand der OCT-Daten konnte die Verschlussdauer von Gefäßen verschiedener Durchmesser zwischen $0,2 \text{ mm}$ und $1,1 \text{ mm}$ bestimmt werden. Die bisherigen Untersuchungen zur Kontrolle von Laserkoagulationsprozessen haben gezeigt, dass die Optische Kohärenztomographie prinzipiell geeignet ist, die endoskopische Laserkoagulation in Echtzeit zu überwachen.

Ansprechpartner

Dr. Achim Lenenbach
Telefon 0241 8906-124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Gefäß einer Sprague-Dawley-Ratte nach Laserkoagulation. An der koagulierten Stelle (siehe Pfeil) ist die thermische Wechselwirkung durch bräunliche Färbung des Gewebes deutlich erkennbar. Das Gefäß wurde nach der Koagulation mit einem Skalpell durchtrennt, um den erfolgreichen Verschluss zu verifizieren.



Aufgabenstellung

Zur optischen Analyse fluoreszenzmarkierter oder reflektierender Proben mit hoher räumlicher Auflösung hat sich die konfokale Laserscanning Mikroskopie als vielfältig einsetzbares Messverfahren etabliert. Schwerpunkte der Anwendungen sind Untersuchungen an streuendem Gewebe sowie die Identifikation von Reaktionskinetiken in der Verfahrenstechnik.

Vorgehensweise

Das hohe räumliche Auflösungsvermögen wird mit Objektiven hoher numerischer Apertur ($NA = 1,4$) und der Abbildung des Messsignals auf eine Lochblende mit wenigen Mikrometern Durchmesser in der Bildebene erzielt. Schnelle galvanometrische Scannerspiegel lenken den Laserstrahl mit einer Linienfrequenz von 2 kHz ab, um zweidimensionale Mikroskopiebilder zu erzeugen. Ein z-Scanner, der die Lage des scannenden Laserfokus in axialer Richtung verschiebt, erlaubt die Aufnahme hochauflösender dreidimensionaler Bilder. Durch die Einkopplung eines durchstimmbaren Femtosekundenlasers in ein Laserscanning Mikroskop der neuesten Generation können mittels Multiphotonenprozessen Farbstoffe im UV-Bereich angeregt werden. So sind mikroskopische Einblicke in tiefen Gewebeschichten oder in stark streuendem Gewebe möglich.

Ergebnisse und Anwendungen

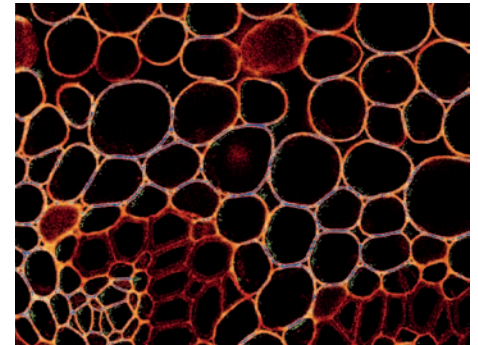
Die konfokale Mikroskopie wird am Fraunhofer ILT vor allem dort eingesetzt, wo schwache Signale mit einem hohen Signal-zu-Rausch-Verhältnis detektiert werden müssen. Beim Ein-

dringen in tiefer liegende organische Schichten stellen Streuung und Reabsorption der emittierten Strahlung einen limitierenden Faktor dar. Ultrakurze Pulsdauern im Femtosekundenbereich und dadurch bedingte hohe Photonendichten erlauben die Anregung von Multiphotonenprozessen im Laserfokus, so dass nur dort Fluoreszenzerscheinungen auftreten können. Ein eigens entworfener Prismenkompressor gewährleistet kurze Pulsdauern nach Propagation der Laserstrahlung durch optisches Material. Da infrarote Strahlung wesentlich schwächer gestreut wird, können mit diesem Verfahren bis zu 1 mm tief liegende Gewebeschichten untersucht werden.

Ansprechpartner

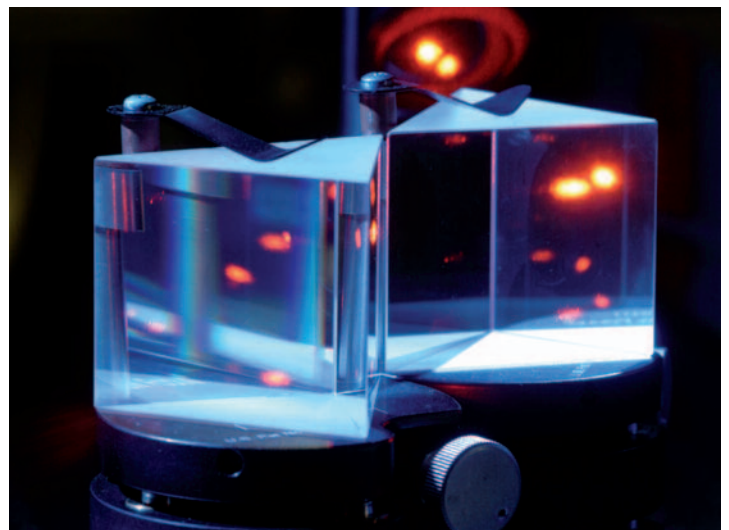
Dipl.-Phys. Tilman Schwendt
Telefon 0241 8906-436
tilman.schwendt@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Multiphotonenaufnahme eines *Convallaria* Zellverbandes
Anregungswellenlänge 860 nm,
Pulsdauer 20 fs.

Unten: Vom Fraunhofer ILT entwickelter Prismenkompressor.





Aufgabenstellung

Im Rahmen des FuE-Projekts »IMIKRID« soll die Entwicklung einer Technologieplattform zur hochsensitiven Diagnostik von Tumor- und kardiovaskulären Markern im Blutserum realisiert werden. Ziel ist eine Reduktion der Nachweisgrenze auf Konzentrationsbereiche von 10^{-12} bis 10^{-13} mol/l, wodurch eine Frühdiagnostik ermöglicht würde.

Vorgehensweise

Der sensitive Nachweis von Markermolekülen erfolgt mit Nanosonden, die mit einem Antigen beschichtet sind, welches das nachzuweisende Markermolekül spezifisch bindet. Um eine hohe Wechselwirkungseffizienz der Markermoleküle mit den spezifisch bindenden Fängermolekülen zu gewährleisten, werden die biologischen Sonden in der Kanalmitte einer Mikroflusszelle positioniert. Die Flussgeschwindigkeit im Zentrum des Kanals ist maximal, weswegen ein Großteil im Serum befindlicher Marker mit der Oberfläche der Sonde in Kontakt kommt. Dies führt gegenüber diffusionsbeschränkten Antigenbindungstest zu einer deutlichen Erhöhung der Nachweiswahrscheinlichkeit. Ein weiterer Vorteil des beschriebenen Verfahrens liegt in der kleinen Oberfläche von Nanopartikeln ($\varnothing$ 100 nm), die unspezifische Adsorptionseignisse von Serumproteinen gegenüber Standardtests an planaren Substraten deutlich reduziert und dadurch das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert. Durch die Kombination einer höheren Wechselwirkungseffizienz mit einem erhöhten Signal-Rausch-Verhältnis soll eine Empfindlichkeitssteigerung von 10^{-11} mol/l auf bis zu 10^{-13} mol/l erreicht werden.

In der am Fraunhofer ILT entwickelten Diagnostikplattform werden die spezifischen Bindungseignisse an Nanosonden mit einem konfokalen Einzelmoleküldetektor optisch nachgewiesen. Der Laserfokus des Einzelmoleküldetektors wird dabei mit dem Fokus der optischen Pinzette überlagert, um die Sensoroberfläche des Nanopartikels optimal auszuleuchten.

Ergebnisse und Anwendungen

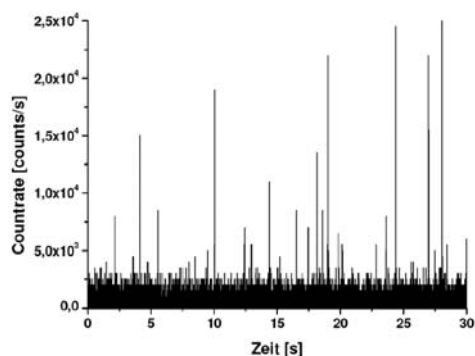
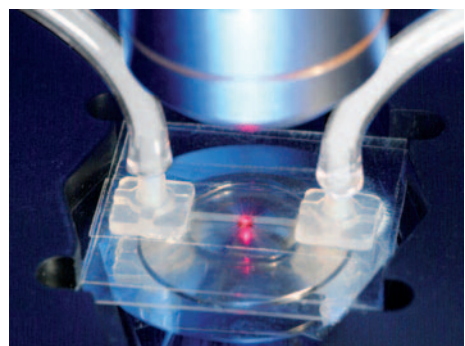
Der Einzelmoleküldetektor mit integrierter optischer Pinzette wurde aufgebaut und seine Empfindlichkeit an reinen Farbstofflösungen in einer Mikroflusszelle mit 10^{-12} mol/l ermittelt. Einfangexperimente in eine Mikroflusszelle haben gezeigt, dass Partikel mit einem Durchmesser von 200 nm bei Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu $v > 10$ mm/s reproduzierbar mit der optischen Pinzette eingefangen und fixiert werden können.

Die FuE-Arbeiten des vom BMBF geförderten Projekts »IMIKRID« werden in Zusammenarbeit mit Partnerinstituten der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Institut für Mikrosensorik in Erfurt durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. Achim Lenenbach
Telefon 0241 8906-124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Mikroflusszelle mit Schlauchanschlüssen zum Einleiten und Ausschleusen der Analytlösung. Der Laserfokus des konfokalen Einzelmoleküldetektors regt die in der Mitte des mikrofluidischen Kanals befindlichen Farbstoffmoleküle zur Fluoreszenz an.

Unten: Fluoreszenzereignisse einzelner Farbstoff-Moleküle beim Passieren des konfokalen Detektionsvolumens. Die Molekülkonzentration betrug 10^{-12} mol/l, die Geschwindigkeit in der Fluidik lag bei 5 mm/s.



Aufgabenstellung

Die detaillierte Analyse von biochemischen Wechselwirkungen, insbesondere von spezifischen Interaktionen zwischen Proteinen und ihren Bindungspartnern, stellt eine klassische Aufgabenstellung der pharmakologischen Forschung dar. Um die Wirkweise eines potenziellen Medikaments genau zu studieren, wird heute die Röntgenstrukturanalyse von kristallinen Protein-Wirkstoff Komplexen eingesetzt. Dadurch lässt sich die molekulare Struktur des Proteins zusammen mit der Position eines spezifisch angeordneten Wirkstoffs mit atomarer Auflösung bestimmen. Experimentell werden Proteinkristalle in sogenannten »Soaking-Experimenten« mit Wirkstoffen in Kontakt gebracht, die in die offenen Kristallstrukturen des Proteins eindiffundieren und spezifisch anbinden können. Mithilfe der Raman Spektroskopie können die Kristalle, in denen eine spezifische Anbindung des Liganden erfolgt ist, schnell und ohne aufwändige Probenpräparation gefunden werden. Anschließend werden nur die über die Raman Spektroskopie vorselektierten Kristalle in einem Röntgenbeugungsexperiment eingehend studiert.

Vorgehensweise

Soaking Experimente können in Mikrotiterplatten in Reihenansätzen durchgeführt werden. Das Verfahren der Raman Differenz-Spektroskopie ermöglicht anschließend die Analyse von Bindungsereignissen zwischen Proteinen und ihren Liganden im Kristall. Durch eine spezifische Bindung eines Liganden kommt es zu Änderungen im Schwingungsspektrum des untersuchten Proteins. Indem die Differenz der gemessenen Spektren des gebundenen

und des freien Proteins berechnet wird, können diese Bandenverschiebungen sensitiv dargestellt werden. Die hohen Konzentrationen der Stoffe im Kristall erleichtern dabei die spektroskopische Analyse. Eingesetzt wird ein am Fraunhofer ILT aufgebautes konfokales Raman Mikroskop mit Diodenlaser (785 nm) als Anregungsquelle und einem Spektrometer mit hochempfindlicher CCD Detektion.

Ergebnisse und Anwendungen

Der Anregungslaser wird beugungsbegrenzt fokussiert und die Raman Signale aus dem Fokus werden durch ein Mikroskopobjektiv gesammelt. Da die Proteinkristalle klein sind (typischerweise 50 - 100 μm), muss eine genaue Positionierung des Laserfokus erfolgen. Dazu wurde eine Kamera zur Beobachtung der Messposition in den Aufbau integriert. Mit dem Laboraufbau wurden erste Ramanspektren von Proteinkristallen mit einem Signal-zu-Rausch-Verhältnis von typischerweise mehr als 250 für eine Messzeit von 60 Sekunden (bezogen auf den jeweils intensivsten Raman-Peak) aufgenommen.

Die Arbeiten wurden durch das Bundeswirtschaftsministerium, mittelständische Unternehmen und die Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.



Proteinkristalle in einem kleinen Flüssigkeitströpfchen.

Ansprechpartner

Dr. Christoph Janzen
Telefon 0241 8906-124
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Reinhard Noll
Telefon 0241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

Patenterteilungen Deutschland

DE 10 2005 058 172 B4
Vorrichtung für das 3-D-Laserstrahl-
Auftragschweißen mit pulver-
förmigen Zusatzwerkstoffen und
variabel einstellbarer Spurbreite

DE 10 2004 052 323 B4
Verfahren zum Trennen von
Werkstoffen mit einem Laserstrahl

DE 103 31 442 B4
Anordnung zur Transformation
eines optischen Strahlungsfeldes

DE 10 2006 039 471 B3
Flexibler Laserapplikator

DE 101 56 081 B
Laseroszillator

DE 103 42 750 A1, WO20
Verfahren zum Glätten und
Polieren oder zum Strukturieren
von Oberflächen mit Laserstrahlung

DE 10 2007 039 035
Verfahren zur Herstellung eines
Bauteils sowie Verwendung des
nach dem Verfahren hergestellten
Baueils

Patenterteilungen Europa

EP 1 520 165 B1
Verfahren und Vorrichtung zur
Durchführung der Plasmaemissions-
spektrometrie

Patenterteilungen USA

US 7, 382, 523 B2
Strahlführendes und/oder frequenz-
konvertierendes optisches System
sowie Verfahren zur Herstellung

US 7, 372, 563 B2
Verfahren und Vorrichtung zur
Durchführung der Plasmaemissions-
spektrometrie

Patenterteilungen Japan

4142644
Verfahren und Vorrichtung zur
Durchführung der Plasmaemissions-
spektrometrie

Patentanmeldungen National

10 2008 004 009.6
Verfahren und Vorrichtung zur Aus-
richtung von Doppelkernfasern

10 2008 008 049.7-13
Heizvorrichtung für eine Turbinen-
schaufel und ein Verfahren zum
Schweißen

10 2008 008 966.4
Verfahren zum Aufschmelzen von
gekrümmten Oberflächen und eine
Vorrichtung

10 2008 015 913.1
Vorrichtung zum Schweißen mit
einer Prozesskammer und ein
Schweißverfahren

10 2008 016 170.5
Bauteil mit sich überlappenden
Schweißnähten und ein Verfahren
zur Herstellung

10 2008 018 264.8
Schweißverfahren mit geregelter
Temperaturverfahren und eine Vor-
richtung dafür

10 2008 018 708.9
Verfahren zum Schweißen in
Abhängigkeit einer Vorzugsrichtung
des Substrats

10 2008 019 636.3
Bauteil mit Schweißnaht und Ver-
fahren zur Herstellung einer
Schweißnaht

10 2008 021 507.4
Verfahren zur Herstellung von kera-
mischen Objekten mittels selektiven
Laserschmelzens

10 2008 027 314.7
Verfahren und Vorrichtung zur
Ankopplung eines Lichtwellenleiters
an eine Licht emittierende oder
Licht führende Komponente

10 2008 028 037.2
Verfahren zur Erzeugung gepulster
Laserstrahlung mit einem Faserlaser

10 2008 030 529.4
Verfahren und Anordnung zur
nichtlinearen Frequenzkonversion
von Laserstrahlung

10 2008 032 532.2
Verfahren und Vorrichtung zum
präparierenden Lasermaterialabtrag

10 2008 039 643.5
Verfahren und Vorrichtung zur
interferometrischen Messung drei-
dimensionaler biometrischer Merk-
male in Haut

10 2008 044 867.2
System mit ein- oder zweidimensio-
nalen Reihen von Strahlquellen

10 2008 063 975.3
Vorrichtung und Verfahren für das
Laserstrahlfügen

Patentanmeldungen International

PCT/DE2008/000214
Verfahren zur Frequenzstabilisierung
gütegeschalteter Laser

PCT/DE2008/000087
Verfahren und Anordnung zur
Frequenzkonvertierung kohärenter
optischer Strahlung

PCT/EP2008/004134
Verfahren zur Materialabtragung
sowie Vorrichtung zur Durch-
führung des Verfahrens

PCT/EP2008/004127
Verfahren zur Materialbearbeitung
mit Laserstrahlung sowie Vorrichtung
zur Durchführung des Verfahrens

PCT/EP2008/004455
Verfahren und Vorrichtung zum
Herstellen eines Bauteils auf drei-
dimensionalen Daten des Bauteils

PCT/EP2008/004478
Verfahren zum Fügen von Hybrid-
bauteilen

PCT/EP2008/005468
Vorrichtung und Verfahren zur
Durchführung statischer und
dynamischer Streulichtmessungen
in kleinen Volumina

PCT/EP2008/006403
Verfahren zur Herstellung eines
Bauteils sowie Verwendung des
nach dem Verfahren hergestellten
Bauteils

PCT/EP2008/006629
Verfahren zum Fügen von minde-
stens zwei Bauteilen mittels Laser-
strahlung

PCT/EP2008/006950
Vorrichtung und Verfahren
für die XUV-Mikroskopie

PCT/DE2008/001714
Verfahren und Anordnung zur
nichtlinear optischen Frequenz-
konversion von Laserstrahlung

PCT/EP2008/0066129
Verfahren und Vorrichtung zum
Schweißen von Werkstücken aus
hochwarmfesten Superlegierungen

PCT/DE2008/002008
Verfahren und Vorrichtung zur
Herstellung einer Lotverbindung
zwischen zwei Bauteilen

31.03.2008 - Stepputat, Michael
Schnelle Vor-Ort-Charakterisierung technischer Kunststoffe für das werkstoffliche Recycling

02.05.2008 - Nicklaus, Kolja
Skalierung gepulster Stablasers hoher Brillanz

16.05.2008 - Wawers, Welf
Präzisions-Wendelbohren mit Laserstrahlung

04.06.2008 - Wagner, Ralph
Erzeugung von periodischen Subwellenlängen-Strukturen und Wellenleitern in Dielektrika mit Laserstrahlung ultrakurzer Pulsdauer

20.06.2008 - Mans, Torsten
Verstärkung ultrakurzer Pulse mit Colquiriit-Kristallen

14.08.2008 - Boenig, Norbert
Automatisierung von Montageanlagen für Hochleistungsdiodeln-laser

16.10.2008 - Lauterborn, Tim
Investigation of monolithic fiber laser systems with flexible pulse parameters

17.10.2008 - Haverkamp, Mark
Pumpquellen für Ramanverstärker auf Basis von Hochleistungs-Diodenlasern

Artal, Javier
Influence of temporal and spatial laser power modulation on melt pool dynamics

Becker, David
Untersuchungen zur Herstellung von Bauteilen aus Nickelbasis-Superlegierungen mit dem »Selective Laser Melting-Verfahren«

Bergweiler, Georg
Untersuchung der diskontinuierlichen Wärmeleitungsbedingungen beim Laserpolieren von Freiformflächen

Binder, Christian
Konstruktion einer miniaturisierten Scanner-Bearbeitungsoptik

Brenk, Udo
Entwicklung eines quantitativen Phasenmikroskopie-Verfahrens zur zeitaufgelösten Beobachtung der Wechselwirkung von ultrakurz gepulster Laserstrahlung mit Metallen

Brose, Sascha
Experimentelle Untersuchungen zur Adaption von Zeilendetektoren für Anwendungen extrem ultravioletter Strahlung

Eicke, Dirk
Aufbau eines Raman Mikroskops für biochemische Screening Anwendungen

Esser, Dagmar
Wellenleiterlaser im Volumen laseraktiver Gläser durch Brechungsindexmodifikation mittels fs-Laserstrahlung

Faidel, Dietrich
Entwicklung eines passiv gekühlten Versuchsstandes zur Ermittlung der Toleranzen eines MikroSlab-Lasers

Faidel, Heinrich
Toleranzoptimierung einer miniaturisierten Scanner-Bearbeitungsoptik

Flock, Annemarie
Konzeptionierung, Konstruktion und Aufbau eines Versuchsstandes für die Entwicklung und Optimierung von Verfahren zum Fügen von optoelektronischen Komponenten

Freiberger, Ralf
Hochauflösende EUV-Mikroskopie mit zwei Vergrößerungsstufen

Geisler, Stefan
Entwicklung einer Walzprägemaschine zur Herstellung von Mikrostrukturen auf großen Flächen

Gökce, Bilal
Einfluss der Leistungsdichteverteilung der Laserstrahlung beim Laserpolieren

Gronloh, Bastian
Untersuchung der Skalierungseffekte bei der Harmonischen-Erzeugung mittels nichtlinearer Kristalle mit Innoslab-Kurzpulslasern

Haas, Rebecca
Einsatzpotenzial von ITIL V2 im Fraunhofer ILT

Hengesbach, Stefan
Entwicklung und Charakterisierung fasergekoppelter Diodenlasermodule hoher Strahldichte zum Pumpen von Grundmode-Faserlasern

Hermans, Martin
Untersuchung der Dynamik des laserinduzierten Plasmas innerhalb laserstrahlerzeugter Bohrungen

Lansing, Anna
Aufbau einer Optik für die Prozessbeobachtung beim CO₂-Laserstrahlschweißen

Meissner, Ansgar
Untersuchung von Nd:YGG als Lasermedium in gepulst betriebenen INNOSLAB-Verstärkern

Mentzel, Frank
Weiterentwicklung einer Dreistrahl-Düse für das Laserstrahlauftragschweißen

Morel, Moris
Entwicklung eines Postprozessors für die CAD/CAM-Kopplung beim 3-D-Laserpolieren

Nüsser, Christian
Untersuchung und Optimierung des Düsendesigns für das Laserstrahlschneiden und -schweißen mit dem Kombikopf

Ocylok, Sörn
Verarbeitung von ZrO₂-basierter Keramik mit dem Selektiven Laserschmelzen

Overmeier, Sarah
Laserstrahlschweißen von elektrischen Kontakten an einer flexiblen Polyimid-Leiterplatine

Pinneker, Jakob
Erarbeitung von Verfahrensgrundlagen zur Reparatur von einkristallinen Shroud-Segmenten eines Flugtriebwerkes durch Laserstrahl-Auftragschweißen

Pohl, Tobias
Experimentelle Untersuchung zum Einsatz eines eindimensionalen Prismenexpanders in einem gewinn-geschalteten Ti:Saphir-Laser mit großem Abstimmbereich und geringer Linienbreite

Priessner, Anika
Laserstrahlschweißen zur elektrischen Kontaktierung von Solarzellen

Richmann, Annika
Untersuchungen zu ASE in INNOSLAB-Lasern

Sadat, Firas
Präparation von Lichtleitfasern für die Lasertherapie

Santos Batista, Rui Joao
Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Selective Laser Melting (SLM)-Bauteilen aus AISi10Mg

Schubert, Sebastian

Konstruktion einer Innenbeschichtungseinheit für das Laserauftragsschweißen von Werkstoffen mit anspruchsvollen Schweißeigenschaften

Stark, Michael

Grundlagenuntersuchung des Schmelzbades beim Selective Laser Melting zur Verbesserung der Oberflächenqualität

Thorstensen, Jostein

Comparative studies on multiple stage amplification of diode laser pulses in Yb-doped polarization maintaining fibers

Ungers, Michael

Bestimmung der Korrelation zwischen Porenbildung und Schmelzbaddynamik beim Schweißen mit CO₂-Laserstrahlung

Vonscheidt, Dirk

Herstellen von röntgensichtbaren Markierungen auf Nitinolstents durch Mikro-Laser-Dispergieren von Tantal

Weck, Björn

Druckumformen mit lokal erhöhter Bauteiltemperatur

Zhang, Xixi

Aufbau und Validierung einer optischen Pinzette mit Sub-µ-Positionsdetektor und modulierbarer Fokussposition

A. Roesner, P. Abels, A. Olowinsky, N. Matsuo, A. Hino

Absorber-free laser beam welding of transparent thermoplastics
Proc. of the 27th Int. Conf. on Applications of Lasers and Electro-Optics 2008, ICALEO, Temecula, CA, October 20-23
Paper M303
7 S., 2008

M. Leers, H. Schmidt, P. Imgrund
Alternative cooling solutions for high power optoelectronic
IMAPS 2008, 41st International Symposium on Microelectronics, November 2-6, 2008, Rhode Island Convention Center, Providence, Rhode Island USA
pp. 1-8, 2008

M. Brajdic, K. Walther, U. Eppelt
Analysis of laser drilled deep holes in stainless steel by superposed pulsed Nd:YAG laser radiation
Opt. Lasers Eng.
46, 648-655, 2008

T. Kuhlen, C. Fricke-Begemann, N. Strauss, R. Noll
Analysis of size-classified fine and ultrafine particulate matter on substrates with laser-induced breakdown spectroscopy
Spectrochim. Acta Part B
63, 1171-1176, 2008

F. Sari, W.-M. Hoffmann, E. Haberstroh, R. Poprawe
Applications of laser transmission processes for the joining of plastics, silicon and glass micro parts
Microsystems Technol.
14, 1879-1886, 2008

K. Walther, M. Brajdic, I. Kelbassa, R. Poprawe
Bohren mit gepulster Laserstrahlung
WT-Online
Nr 6, 520-523, 2008

M. Benk, K. Bergmann, D. Schäfer, T. Wilhein
Compact soft x-ray microscope using a gas-discharge light source
Opt. Lett.
33, Nr 20, 2359-2361, 2008

Q. Wang, P. Jander, C. Fricke-Begemann, R. Noll
Comparison of 1064 nm and 266 nm excitation of laser-induced plasmas for several types of plastics and one explosive
Spectrochim. Acta Part B
63, 1011-1015, 2008

M. Dahmen, S. Kaierle, W. Aiping, L. Wenjin, S. Yi, W. Hequiang
Comparative study of techniques for wear minimisation of engine parts
Proc. of the 3rd Pacific Int. Conf. on Application of Lasers and Optics (PICALO), Beijing April 16-18, 2008
6 S., 2008

M. Leers, K. Boucke
Cooling approaches for high power diode laser bars
58th Electronic Components & Technology Conf. 2008, Lake Buena Vista/Fl., USA, May 27-30, 2008
Piscataways/N.J.: IEEE Pr. 2008
7 S.

K. Bobzin, S. Theiß, R. Poprawe, A. Roesner, E. Haberstroh, D. Flock, U. Reisgen, N. Wagner
Der Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« der RWTH Aachen University - Herstellung hybrider Metall-Kunststoffbauteile durch moderne Fügeverfahren
Joining Plastics – Fügen von Kunststoffen
2, 210-216, 2008

F. Schmitt, M. Funck, A. Boglea, R. Poprawe
Development and application of miniaturized scanners for laser beam micro-welding
Microsystem Technol.
14, 1861-1869, 2008

F. Schmitt, M. Funck, A. Boglea, R. Poprawe
Development and application of miniaturized scanners for laser beam micro welding
Proc. of PICALO 2008, 3rd Pacific Int. Conf. on Applications of Lasers and Optics, April 16-18, 2008, Beijing, China
pp. 727-732, 2008

- A. Horn, I. Mingareev, J. Gottmann, A. Werth, U. Brenk
Dynamical detection of optical phase changes during micro-welding of glass with ultra-short laser radiation
Meas. Sci. Technol
19, 015302 (Online), 2008
- T. Westphalen, M. Leers, C. Scholz, K. Boucke
Emitter resolved analysis of packaged laser bars
Proc. SPIE
6876, 687600, 2008
- J. Powell, D. Petring, V. Kumar, S. Al-Mashikhi, A. Kaplan, K. Voisey
Energy input from oxidation in laser-oxygen cutting of mild steel
The Laser User
Issue 53, 32-35, 2008
- D. Petring
Enhanced capabilities of laser welding by hybridization and combination techniques
Proc. of the 70th Laser Materials Processing Conference, Japan Laser Processing Society JLPS, Osaka, Japan, May 27-28, 2008
Keynote paper, pp. 7-12, 2008
- D. Petring
Enhanced capabilities of laser welding by hybridization and combination techniques
The Laser User
Issue 52, 36-39, 2008
- D. Petring
Enhancement of laser welding capabilities by hybridization or combination of different processes
Proc. of the 3rd Pacific Int. Conf. on Applications of Lasers and Optics 2008, PICALO, Beijing, China, April 16-18, 2008
Paper 705, pp. 324-329, 2008
- M. Waldmann, R. Caspary, D. Wortmann, J. Gottmann, W. Kowalsky
Erbium-doped fluoride glass waveguides
Electron. Lett.
44, Nr 20, 1193-1194, 2008
- M. Funck, P. Loosen
Estimating the performance gain of selectively assembled optical systems
53. Int. Wissenschaftliches Kolloquium, Techn. Univ. Ilmenau CD-ROM
pp. 160-161, 2008
- L. Juschkina, G. Derra, K. Bergmann
EUV light sources
Low Temperature Plasmas
Ed. R. Hippler. u.a. 2. ed.
Weinheim: Wiley-VCH 2008
pp. 619-654
- K. Bergmann, L. Juschkina, R. Poprawe
Extreme ultraviolet lithography
Nanotechnology
Vol. 3: Information Technology
I. Ed. R. Waser
Weinheim: Wiley-VCH 2008
pp. 181-208
- E. Wagenaars, A. Mader, K. Bergmann, J. Jonkers, W. Neff
Extreme ultraviolet plasma source for future lithography
IEEE Trans. Plasma Sci.
36, Nr 4, 1280-1281, 2008
- J. Gottmann, D. Wortmann, M. Hörstmann-Jungemann
Fabrication of sub-wavelength surface ripples and in-volume nanostructures by fs-laser induced selective etching
Appl. Surf. Sci.
doi: 10.1016/j.apsusc.2008.10.097 (Online), 2008
- V. Sturm, H.-U. Schmitz, T. Reuter, R. Fleige, R. Noll
Fast vacuum slag analysis in a steel works by laser-induced breakdown spectroscopy
Spectrochim. Acta Part B
63, 1167-1170, 2008
- R. Schmitt, A. Pavim, C. Brecher, N. Pyschny, P. Loosen, M. Funck, J. Dolkemeyer, V. Morasch
Flexibel automatisierte Montage von Festkörperlasern
WT-Online
Nr. 11/12, 955-960, 2008
- F. Schneider, D. Petring
Flexible 3-D-laser cutting and welding with the combi head
Proc. of the 27th Int. Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics 2008, ICALEO, Temecula, CA, USA, October 20-23, 2008; Laser Materials Processing Conference Paper 1305, pp. 582-588, 2008
- G. Kochem, M. Haverkamp, K. Boucke
Frequency stabilized high brightness tapered amplifier and laser modules
Proc. SPIE
6997, 69971A, 2008
- D. Wortmann, J. Gottmann
Fs-Laser structuring of ridge waveguides
Appl. Phys. A
93, 197-201, 2008
- J. Miesner, F. Frischkorn, N. Boenig, D. Rose, T. Vahrenkamp, K. Boucke
Full automated packaging of high power diode laser bars
58th Electronic Components & Technology Conf. 2008, Lake Buena Vista/FL, USA, May 27-30, 2008
Piscataway/N.J.: IEEE Pr. 2008
6 S.
- D. Ganser, L. Starovoytova, D. Wortmann, J. Gottmann, I. Vasilief, L. Moiseev
Growth of Nd:Gd3Ga5O12 thin films by pulsed laser deposition for planar waveguide laser
J. Laser Micro/Nanoeng.
3, 19-23, 2008
- A. Gillner, A. Dohrn, C. Hartmann
High quality laser machining for tool and part manufacturing using innovative machining systems and laser beam sources
Proc. of the 3rd CIRP Int. Conf. High Performance Cutting (HPC), Dublin, Ireland, June 12 -13, 2008
- P. Rußbüldt, T. Mans, D. Hoffmann, R. Poprawe
High Power Yb:YAG INNOSLAB fs-Amplifier
Proceedings of the Conference on Lasers and Electro-Optics & Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO), May 4-9, 2008, San Jose, California
Vortrag CTuK5, 2 S., 2008
- R. Poprawe, A. Gillner, D. Hoffmann, J. Gottmann, W. Wawers, W. Schulz
High speed high precision ablation from ms to fs
Proc. SPIE
7005, 700502-1-700502-12, 2008
- J. Gottmann, D. Wortmann, N. Brandt
Highspeed manufacturing of periodical surface and in-volume nanostructures by fs-laser direct writing
Proc. SPIE
6879, 68790N, 2008
- N. Stache, J. Dieckelmann, R. Firnich, J. Gedick, P. Abels, A. Olowinsky, T. Aach
High speed video-based melt pool surveillance in laser spot welding
Proc. of the 27th Int. Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics 2008, ICALEO, Temecula, CA, USA, October 20-23, 2008
- N. Michel, M. Lecomte, O. Parillaud, M. Calligaro, M. Krakowski, T. Westphalen, M. Traub
High-wall plug efficiency broad area laser bar with strain-compensated quantum well
Proc. IEEE 21st International Semiconductor Laser Conference (ISLC) September 14-18, 2008
pp. 103-104, 2008
- S. Webster, J. Klastrup-Kristensen, D. Petring
Hybrid laser welding of thick section steels
Proc. of the 61st Annual Assembly of the International Institute of Welding (IIW), Graz, Austria, July 6-11, 2008, IIW Doc. IV-978-08
15 S., 2008
- T. Biermann, A. Weisheit, K. Bobzin, J. Zwick, F. Ernst, K. Richardt
Improving wear and corrosion of magnesium alloys through a combination of thermal spraying and laser cladding
International Thermal Spray Conference ITSC 2008. Maastricht/NL, June 2-4, 2008
Düsseldorf: DVS Verl. 2008
5 S.

K. Walther, C. Holtkoetter,
I. Kelbassa, R. Poprawe
**Influence of process gas sort
and pressure on laser percussion
drilling**
Proc. of the 27th Int. Conf. on
Applications of Lasers and Electro-
Optics 2008, ICALEO, Temecula,
CA, October 20-23
Paper 301, 7 S., 2008

M. Banyay, L. Juschkin
**Innovative approaches to surface
sensitive analysis techniques
on the basis of plasma-based
off-synchrotron XUV/EUV light
sources**
Proc. SPIE
7077, 707714-707723, 2008

M. Brajdic, M. Hermans, A. Horn,
I. Kelbassa
**In situ measurement of plasma
and shock wave properties
inside laser-drilled metal holes**
Meas. Sci. Technol.
19, 105703, 2008

J. Dietrich, M. Brajdic, K. Walther,
A. Horn, I. Kelbassa, R. Poprawe
**Investigation of increased drill-
ing speed by online high-speed
photography**
Optics Lasers Eng.
46, 705-710, 2008

M. Brajdic, M. Hermans, A. Horn,
I. Kelbassa
**Investigation of plasma and
shock-wave dynamics and
properties inside holes during
laser drilling of metals**
Proc. LPM 2008; 9th Int. Symposium
on Laser Precision Microfabrication
4 S., 2008

I. Mingareev, A. Horn
**Investigations of the ultrafast
laser induced melt dynamics by
means of transient quantitative
phase microscopy (TQPM)**
Proc. SPIE
7005, 70050P, 2008

A. Horn, I. Mingareev, A. Werth,
M. Kachel, U. Brenk
**Investigations on ultrafast
welding of glass-glass and
glass-silicon**
Appl. Phys. A
93, 171-175, 2008

A. Horn, I. Mingareev, A. Werth,
M. Kachel
**Joining of thin glass with
semiconductors by ultra-fast
high-repetition laser welding**
Proc. SPIE
6880, 68800A, 2008

B. Burbaum, P. Albus, I. Kelbassa
**Laser cladding of mesh structures
on HPT liner and NGV parts**
27th Int. Congr. on Applications
of Lasers & Electro-Optics, ICALEO,
Temecula/Ca., October 20-23,
2008
3 S., 2008

R. Noll, V. Sturm, Ü. Aydin, D.
Eilers, C. Gehlen, M. Höhne, A.
Lamott, J. Makowe, J. Vrenegor
**Laser induced breakdown
spectroscopy - from research
to industry, new frontiers for
process control**
Spectrochim. Acta Part B
63, 1159-1166, 2008

F. Schmitt, A. Prießner, B. Krämer,
A. Gillner
**Laser joining photovoltaic
modules**
Ind. Laser Solutions
23, 20-23, 2008

A. Gillner
Laser micro processing
Laser Technik J.
5, 27-30, 2008

W. Schulz, H. Weber, R. Poprawe
(Eds.)
Laser Systems
Pt 2.
W. Schulz; H. Weber, R. Poprawe
(Eds.)
New Series Landolt-Börnstein,
Group VIII/1: Advanced Materials
and Technologies, Volume 1:
Laser Physics and Applications,
Subvolume VIII/1B 2
Berlin: Springer 2008

F. Sari, M. Wiemer, M. Bernasch,
J. Bagdahn
**Laser transmission bonding of
silicon-to-silicon and silicon-to-
glass for wafer level packaging
and Microsystems**
ECS. Trans.
16, 561, 2008

A. Roesner, A. Boglea, A. Olowinsky
**Laserdurchstrahlschweißen von
Thermoplasten**
Laser Technik J.
5, Nr 4, 28-32, 2008

G.A. Krombach, M. Wehner, A.
Perez-Bouza, L. Kaimann, S. Kinzel,
T. Plum, D. Schibur, M. Friebe,
R. W. Günther, C. Hohl
**Magnetic resonance-guided
angioplasty with delivery of
contrast-media doped solutions
to the vessel wall: an experi-
mental study in swine**
Invest. Radiol.
43, 530-537, 2008

I. Kelbassa, P. Albus, J. Dietrich,
J. Wilkes
**Manufacture and repair of aero
engine components using laser
technology**
Proc. 3rd Pacific Int. Conf. on
Application of Lasers and Optics
pp. 208-212, 2008

J. Gottmann, L. Moiseev, I. Vasilief,
D. Wortmann
**Manufacturing of Er:ZBLAN
ridge waveguides by pulsed
laser deposition and ultrafast
laser micromachining for green
integrated lasers**
Mat. Sci. Eng. Part B
146, 245-251, 2008

J. Gottmann, D. Wortmann,
R. Wagner
**Manufacturing of periodical
nanostructures by fs-laser direct
writing**
Proc. SPIE
7022, 702202-1-702202-10, 2008

K. Walther, M. Brajdic, J. Dietrich,
M. Hermans, M. Witty, A. Horn,
I. Kelbassa, R. Poprawe
**Manufacturing of shaped holes
in multi-layer plates by laser
drilling**
Proc. 3rd Pacific Int. Conf. on
Application of Lasers and Optics
Paper M1001, pp. 789-794, 2008

M. Brajdic, M. Hermans,
M. Kaminsky, I. Kelbassa
**Measurement of plasma and
shock-wave dynamics and
properties inside holes during
laser drilling of metals**
Proc. of the 27th Int. Conf. on
Applications of Lasers and Electro-
Optics 2008, ICALEO, Temecula,
CA, October 20-23
Paper 110, 6 S., 2008

N. Pirsch, K. Wissenbach
Mechanisms during laser bending
J. Laser Appl.
20, Nr 3, 135-139, 2008

D. Wortmann, J. Gottmann,
N. Brandt, H. Horn-Solle
**Micro- and nanostructures
inside sapphire by fs-laser irra-
diation and selective etching**
Opt. Expr.
16, Nr 3, 1517-1522, 2008

A. C. Spiess, M. Zavrel, M. B.
Ansorge-Schumacher, C. Janzen,
C. Michalik, T. W. Schmidt,
T. Schwendt, J. Büchs, R. Poprawe,
W. Marquardt
**Model discrimination for the
propionic acid diffusion into
hydrogel beads using lifetime
confocal laser scanning micros-
copy**
Chem. Eng. Sci.
63, 3457-3465, 2008

C. Janzen, A. Lenenbach, P. Jander,
R. Noll
**Neue Lasermesssysteme für
bioanalytische und klinisch-dia-
gnostische Aufgabenstellungen**
VDI-BERICHTE
2011, 307-314, 2008

A. Horn, I. Mingareev, A. Werth,
M. Kachel, U. Brenk
**Non-interferometric transient
quantitative phase microscopy
for ultrafast engineering**
Appl. Phys. A
93, 165-169, 2008

R. Noll, M. Krauhausen
**Online laser measurement
technology for rolled products**
Ironmaking & Steelmaking
35, 221-227, 2008

R. Noll, M. Krauhausen
**Online Lasermesssysteme für die
Stahl- und Automobilindustrie**
VDI-BERICHTE
2011, 3-12, 2008

R. Noll, M. Krauhausen
**Online-Prüfung von Bändern
und Rohren**
Bänder Bleche Rohre
49, 72-75, 2008

S. Kaierle, P. Abels, W. Fiedler,
S. Mann, B. Regaard
**Online-Qualitätssicherung
für das Laserstrahlschweißen**
MB-Revue
132-135, 2008

- A. Lenenbach, S. Hölter, R. Noll
Optisches Online-Messverfahren zur Überwachung von Wandstärken an Stückgütern in der kunststoffverarbeitenden Industrie
VDI-BERICHTE
2011, 33-41, 2008
- R. Poprawe, I. Kelbassa, K. Walther, M. Witty, D. Bohn, R. Krewinkel
Optimising and manufacturing a laser-drilled cooling hole geometry for effusion-cooled multi-layer plates
12th Int. Symp. Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Honolulu, Hawaii, February 17-22, 2008
11 S., 2008
- E. Wagenaars, F. Küpper, J. Klein, W. Neff, M. Damen, P. van der Wel, D. Vaudrevange, J. Jonkers
Power scaling of an extreme ultraviolet light source for future lithography
Appl. Phys. Lett.
92, 181501-1-181501-3, 2008
- S. Kaierle
Process monitoring and control of laser beam welding
Laser Technik J.
5, Nr 3, 41-43, 2008
- C. Vedder, J. Stollenwerk, N. Pirch, K. Wissenbach
Production technology for transparent and conducting nano layers
Proc. of the 27th Int. Conf. on Applications of Lasers and Electro-Optics, ICALEO, Temecula/CA, October 20-23, 2008
Paper N303, 5 S., 2008
- D. M. Mahlmann, J. Jahnke, P. Loosen
Rapid determination of the dry weight of single, living cyanobacterial cells using the Mach-Zehnder double beam interference microscope
Eur. J. Phycol.
43, Nr 4, 355-364, 2008
- D. Buchbinder, W. Meiners, K. Wissenbach, K. Müller-Lohmeier, E. Brandl
Rapid Manufacturing of Aluminium Parts for Serial Production via Selective Laser Melting (SLM)
Proc. of the 11th Int. Conf. on Aluminium Alloys, September 22-26, 2008, Aachen, Germany;
- ICAA 11
In: Aluminium Alloys. Ed. J. Hirsch [u.a.]. Vol. 2
Weinheim: Wiley-VCH 2008
pp. 2394-2400.
- P. Jander, R. Noll
Remote Raman detection of trace explosives
Proc. of the Future Security Res. Conf. Karlsruhe
pp. 333-336, 2008
- M. Haverkamp, G. Kochem, K. Boucke
Single mode fiber coupled tapered laser module with frequency stabilized spectrum
Proc. SPIE
6876, 68761D, 2008
- J. Geiger, O. Fitzau, B. Zintzen, D. Hoffmann
Single-mode, highly polarized Y1456b-doped fiber laser with 850 W output power
ASSP 2008, Nara, Japan, January 27-30
3 S., 2008
- M. Corthout, R. Apetz, J. Bruder-mann, M. Damen, G. Derra, O. Franken, J. Jonkers, J. Klein, F. Küpper, A. Mader, W. Neff [u.a.]
Sn DPP source-collector modules: status of Alpha resources, Beta developments, and the scalability to HVM
Proc. SPIE
6921, 69210V, 2008
- D. Buchbinder
So fest wie Druckguss-Teile
Industrie-Anzeiger
130, Nr 48, 38-39, 2008
- K. Bergmann, F. Küpper, M. Benk
Soft x-ray emission from a pulsed gas discharge in a pseudo-sparklike electrode geometry
J. Appl. Phys.
103, 123304-1-123304-8, 2008
- Ü. Aydin, P. Roth, C. D. Gehlen, R. Noll
Spectral line selection for time-resolved investigations of laser-induced plasmas by an iterative Boltzmann plot method
Spectrochim. Acta Part B
63, 1060-1065, 2008
- J. Powell, D. Petring, R.V. Kumar, S.O. Al-Mashikhi, A.F.H. Kaplan, K.T. Voisey
The energy generated by the oxidation reaction during laser-oxygen cutting of mild steel
Proc. of the 27th Int. Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics 2008, ICALEO, Temecula, CA, USA, October 20-23, 2008; Laser Materials Processing Conference
Paper 1504, pp. 628-636, 2008
- D. Petring, F. Schneider, N. Wolf, V. Nazery
The relevance of brightness for high power laser cutting and welding
Proc. of the 27th Int. Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics 2008, ICALEO, Temecula, CA, USA, October 20-23, 2008; Laser Materials Processing Conference
Paper 206, pp. 95-103, 2008
- G. Bianucci, A. Brunton, G.L. Cassol, G. Pirovano, F. Zocchi, A. Mader, O. Franken, K. Bergmann, H. Scheuermann, P. Zink
Thermal and optical characterization of collectors integrated in an Sn-DPP based SoCoMo
Proc. SPIE
6921, 692112-692120, 2008
- M. Leers, K. Boucke, M. Götz, A. Meyer, M. Kelemen, N. Lehmann, F. Monti di Sopra
Thermal resistance in dependence of diode laser packages
Proc. SPIE
6876, 10 S., 2008
- D. Gehlen, R. Roth, Ü. Aydin, E. Wiens, R. Noll
Time-resolved investigations of laser-induced plasmas generated by nanosecond bursts in the millijoule burst energy regime
Spectrochim. Acta Part B
63, 1072-1076, 2008
- I. Mingareev, A. Horn
Time-resolved investigations of plasma and melt ejections in metals by pump-probe shadow-graphy
Appl. Phys. A
92, 917-920, 2008
- M. Hörstmann-Jungemann, J. Gottmann, D. Wortmann
Time resolved measurement of the dielectric function during direct fs-laser writing of SiO₂ and sapphire
Proc. LPM 2008; 9th Int. Symposium on Laser Precision Microfabrication 5 S., 2008
- H. Schleifenbaum, W. Meiners, K. Wissenbach
Towards Rapid Manufacturing for series production: an ongoing process report on increasing the build rate of Selective Laser Melting (SLM)
High-tech solutions and concepts: Euro-uRapid. 2008, Berlin, September 23-24, 2008
Magdeburg: Euro-uRapid Platform 2008
pp. 71-83
- P. Abels, A. Roesner, S. Kaierle, S. Mann, A. Olowinsky, N. Matsuo, A. Hino
Various process monitoring approaches of transparent thermoplastics laser beam welding
Proc. of the 27th Int. Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics 2008, ICALEO, Temecula, CA, USA, October 20-23, 2008
99-104, 2008
- J. Luttmann, K. Nicklaus, V. Morasch, S. Fu, M. Höfer, M. Traub, H.-D. Hoffmann, R. Treichel, C. Wührer, P. Zeller
Very high-efficiency, frequency-tripled Nd:YAG MOPA for space-borne lidar
Proc. SPIE
6871, 12 S., 2008
- J. Gedicke, A. Olowinsky, U. Jansen, W. Schulz, A. Gillner
Weld depth control in fiber laser welding of thin metal sheets
Proc. of the 27th Int. Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics 2008, ICALEO, Temecula, CA, USA, October 20-23, 2008
- C. Wessling, S. Hengesbach, J. Geiger, J. Dolkemeyer, M. Traub, D. Hoffmann
50 W passively cooled, fiber coupled diode laser at 976 nm for pumping fiber lasers using 100 µm fiber bundles
Proc. SPIE
6876, 11 S., 2008

13.01.2008 - A. Gillner
High quality micro machining with temporal and spatial tailored ultra short laser pulses
 DPG-Frühjahrstagung, Darmstadt

17.01.2008 - L. Juschkin
Nano-metrology with laboratory - sealed plasma-based XUV sources
 Symposium »New Perspectives in X-ray Physics«, Göttingen

20.01.2008 - M. Hoefer
100 MW class MOPA with variable pulse duration for XUV generation
 Photonics West 2008, San Jose, CA, USA

20.01.2008 - J. Luttmann
Very high-efficiency, frequency-tripled Nd:YAG MOPA for space-borne lidar
 Photonics West 2008, San Jose, CA, USA

20.01.2008 - J. Gottmann
High-speed manufacturing of periodical surface and in-volume nanostructures by fs-laser direct writing
 Photonics West 2008, San Jose, CA, USA

21.01.2008 - T. Westphalen,
Emitter resolved analysis of packaged laser bars
 Photonics West 2008, San Jose, CA, USA

21.01.2008 - M. Leers
Thermal resistance in dependence of diode laser packages
 Photonics West 2008, San Jose, CA, USA

22.01.2008 - K. Boucke
High-power laser bars with emission in the red spectral range for medical applications
 Photonics West 2008, San Jose, CA, USA

22.01.2008 - B. Zintzen
Optimization of the heat transfer in multi-kW-fiber-lasers
 Photonics West 2008, San Jose, CA, USA

23.01.2008 - A. Horn
Joining of thin glass-on-glass and on silicon by welding using ultra-fast IR-high-repetition rate laser radiation
 Photonics West 2008, San Jose, CA, USA

23.01.2008 - C. Wessling
50 W passively cooled, fiber coupled diode laser at 976 nm for pumping fiber lasers using fiber bundles with 100 µm input port
 Photonics West 2008, San Jose, CA, USA

30.01.2008 - G. Kochem
SMF coupled tapered laser module with frequency stabilized spectrum
 Photonics West 2008, San Jose, CA, USA

22.01.2008 - D. Petring
Multifunktionale Fertigung von Blechbaugruppen durch Schneiden und Schweißen mit dem Laser-Kombikopf
 Technologietag, Paderborn

23.01.2008 - A. Gillner
Laserverfahren in der Mikrotechnologie
 Workshop Materials Valley e.V. »Laser Micro Machining - Materials and Application«, Heraeus, Hanau

24.01.2008 - B. Jungbluth
Laserstrahlquellen für mikrotechnische Anwendungen
 Workshop Materials Valley e.V. »Laser Micro Machining - Materials and Application«, Heraeus, Hanau

27.01.2008 - V. Kostykin
Störungstheorie von indefiniten quadratischen Formen
 Oberseminar TU-Berlin, Berlin

30.01.2008 - J. Geiger
Single-mode, highly polarized Yb-doped fiber laser with 850 W output power
 ASSP 08, Nara, Japan

31.01.2008 - S. Kaierle
Recent progress in process monitoring for laser beam welding
 EALA, Bad Nauheim

19.02.2008 - K. Walther
Optimising and manufacturing a laser-drilled cooling hole geometry for effusion-cooled multi-layer plates
 ISROMAC-12, Honolulu, USA

21.02.2008 - H.-D. Hoffmann
Festkörperlaser und Diodenlaser für das Schweißen von Kunststoffen
 Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg

25.02.2008 - M. Banyay
Simulations on grazing-incidence reflectometry in the XUV for thin film structures
 DPG Tagung - Berlin, Berlin

27.02.2008 - P. Loosen
Knowledge transfer showcase - a German perspective
 SUPA KT Showcase 2008, Glasgow, Schottland, UK

03.03.2008 - A. Gillner
Precision laser manufacturing and assembly for micro technology
 Tagung Microsystems Innovation, München

03.03.2008 - M.-C. Hoerstmann-Jungemann
Erzeugung von periodischen Oberflächen- und Volumen-Nanostrukturen mittels Femtosekunden-Laserstrahlung
 WLT Summer School, SLT, Stuttgart

04.03.2008 - H.-D. Hoffmann
Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Slab Festkörperlaser
 Konferenz ISL Workshop, Saint-Louis, Frankreich

10.03.2008 - K. Bergmann
Gasentladungsplasmen als Quelle kurzwelliger Strahlung - Neue Werkzeuge in der Nanotechnologie
 DPG Frühjahrstagung 2008, Darmstadt

10.03.2008 - F. Kuepper
Characterization of a gas discharge based light source for x-ray microscopy at a central wavelength of 2.88 nm
 DPG Frühjahrstagung 2008, Darmstadt

10.03.2008 - R. Noll
Vollautomatisierte laserbasierte Verwechslungsprüfung bei der Massenproduktion von Rohrverbindungsstücken
 15. Anwendertreffen Röntgen-fluoreszenz- und Funkenemissions-spektrometrie, Dortmund

10.03.2008 - A. Lenenbach
Optisches Online-Messverfahren zur Überwachung von Wandstärken an Stückgütern in der kunststoffverarbeitenden Industrie
 Fachtagung »Sensoren und Messsysteme« 2008, Ludwigsburg

10.03.2008 - C. Janzen
Neue Lasermesssysteme für bioanalytische und klinisch-diagnostische Anwendungen
 Fachtagung »Sensoren und Messsysteme« 2008, Ludwigsburg

11.03.2008 - R. Noll
Online Lasermesssysteme für die Stahl- und Automobilindustrie
 Fachtagung »Sensoren und Messsysteme« 2008, Ludwigsburg

11.03.2008 - A. Gillner
Vermarktung neuer Verfahren zur Lasermaterialbearbeitung
 Karlsruher Arbeitsgespräche, Eggenstein-Leopoldshafen

11.03.2008 - W. Schulz
Strukturelle Stabilität der Schweißverzugsimulation
 DVS-FOSTA-FAI2, HWK Düsseldorf, Düsseldorf

12.03.2008 - A. Brand
Zeitaufgelöste Weißlicht-Interferenzmikroskopie bei Wechselwirkung von ultrakurzer Laserstrahlung mit Dielektrika
 DPG Frühjahrstagung 2008, Darmstadt

12.03.2008 - D. Esser
Wellenleiterlaser durch Brechungsindexmodifikation in laseraktiven Gläsern
 DPG-Frühjahrstagung 2008, Darmstadt

- 12.03.2008 - I. Mingareev
Zeitaufgelöste quantitative Phasenmikroskopie der ultraschnellen Schmelzdynamik in Metallen und Borosilikatglas
DPG-Frühjahrstagung 2008, Darmstadt
- 30.03.2008 - I. Kelbassa
Qualified laser based techniques for repair, salvage, and manufacture of aero engine components
Symposium SALA 2008, Farmington, CT, USA
- 07.04.2008 - G. Kochem
Frequency stabilized high brightness tapered amplifier and laser modules
SPIE Photonics Europe, Straßburg, Frankreich
- 10.04.2008 - A. Weisheit
Graded layers for wear and corrosion protection produced by laser cladding
International Symposium on Friction, Wear and Wear Protection, Aachen
- 14.04.2008 - A. Gillner
High quality micro machining with tailored short and ultra short laser
PICALO 2008, Peking, VR China
- 14.04.2008 - I. Kelbassa
Manufacture and repair of aero engine components using laser technology
PICALO 2008, Peking, VR China
- 15.04.2008 - A. Olowinsky
Lasers in polymer technology - basics and applications
Evonik Laserentwicklungszentrum, Marl
- 16.04.2008 - R. Poprawe
Chinese scholarship council - RWTH-presentation Picalo-Conference
PICALO 2008, Peking, VR China
- 17.04.2008 - F. Schmitt
Development and application of miniaturized scanners for laser beam micro welding
PICALO 2008, Peking, VR China
- 17.04.2008 - K. Walther
High temperature turbine applications for open porous metallic foams with thermal barrier coatings and cooling hole array
PICALO 2008, Peking, VR China
- 17.04.2008 - M. Dahmen
Comparative study of techniques for wear minimisation of engine parts
PICALO 2008, Peking, VR China
- 18.04.2008 - J. Holtkamp
Laser-assisted hot embossing of microstructures
PICALO 2008, Peking, VR China
- 18.04.2008 - I. Mingareev
Investigations of the ultrafast laser induced melt dynamics by means of transient quantitative phase microscopy (TQPM)
Konferenz High Power Laser Ablation 2008, Taos, USA
- 18.04.2008 - D. Petring
Enhancement of laser welding capabilities by hybridization or combination of different processes
PICALO 2008, Peking, VR China
- 18.04.2008 - K. Walther
Manufacturing of shaped holes in multi-layer plates by laser drilling
PICALO 2008, Peking, VR China
- 22.04.2008 - A. Gillner
Systeme und Verfahren zum thermisch optimierten Mikrostrukturieren und Kontaktieren von Solarzellen mit Laserstrahlung
Hanaser-Tagung Laser + Photonik, Fellbach
- 25.04.2008 - W. Schulz
New approach in modeling and simulation - structural stability of models for the simulation of weld distortion
Fügen im Automobilbau, Bad Nauheim
- 03.05.2008 - P. Russbuehdt
High power Yb:YAG INNOSLAB Fs-Amplifier
CLEO 2008, San Jose, CA, USA
- 05.05.2008 - A. Gasser
Laserstrahlbearbeitung von Glasformen und Gläsern
24. Zwieseler Fachschulkolloquium, Zwiesel
- 06.05.2008 - C.-D. Gehlen
Effizienzsteigerung beim Mikroabtrag mit Festkörperlasern durch tailored pulse drains
Abschlusspräsentation DFG 1139, Vaals, Niederlande
- 06.05.2008 - D. Wortmann
Micro- and nanostructures inside sapphire by FS-laser irradiation and selective etching
CLEO, San Jose, CA, USA
- 06.05.2008 - D. Wortmann
Ridge waveguides of rare-earth doped ZBLAN by pulsed laser deposition and ultrafast laser micromachining
CLEO, San Jose, CA, USA
- 07.05.2008 - S. Kaierle
How does laser materials processing work?
AKL'08, Aachen
- 07.05.2009 - A. Gillner
Herausforderungen und Trends der Lasermaterialbearbeitung in der Mikrotechnik
Technologie Business Tag, AKL'08, Aachen
- 07.05.2008 - K. Wissenbach
Präsentation des EU Projekts Fantasia
EU Innovation Forum, AKL'08, Aachen
- 08.05.2009 - A. Olowinsky
Innovative Laserschweißverfahren in der Mikrotechnik: TWIST und SHADOW
AKL'08, Aachen
- 08.05.2008 - S. Kaierle
Process monitoring and control of laser beam welding
AKL'08, Aachen
- 09.05.2008 - A. Gasser
Neue Entwicklungen im Laser-auftragschweißen für industrielle Fertigungsverfahren
AKL'08, Aachen
- 09.05.2008 - W. Schulz
Improving laser drilling by simulation
AKL'08, Aachen
- 09.05.2008 - E. Willenborg
Neue Entwicklungen beim Polieren mit Laserstrahlung
AKL'08, Aachen
- 13.05.2008 - L. Juschkin
XUV radiation as a tool for nanotechnology, life- and material science
Nanoelectronics Days 2008, Aachen
- 14.05.2008 - R. Poprawe
Laser cladding and welding applications in fuel cell production
ALAW 2008, Plymouth, MI, USA
- 21.05.2008 - R. Noll
Raman detection of traces of explosives on surfaces
1st Int. Symp. on Improvised Explosives, ISIE, Rosh Hanikra, Israel
- 21.05.2008 - J. Gedicke
Novel laser processes for functionalization and packaging of medical components
Laser Micro Machining, Cork, Irland
- 22.05.2008 - A. Gillner
Laser processing of medical products
AILU Medical Day, Douglas Co. Cork, Irland
- 27.05.2008 - J. Gottmann
Fabrication of sub-wavelength ripples and in-volume nanostructures by fs-laser induced selective etching
Spring Meeting, European Materials Research Society, Straßburg, Frankreich
- 25.05.2008 - J. Gottmann
Ridge waveguides by pulsed laser deposition and fs-laser structuring for green integrated lasers
Spring Meeting, European Materials Research Society, Straßburg, Frankreich

25.05.2008 - M. Leers
Cooling approaches for high power diode laser bars
58th ECTC, Lake Buena Vista, Florida, USA

25.05.2008 - A. Olowinsky
Robust laser micro joining technologies using energy modulation in time and space
70th Laser Materials Processing Conference of JLPS, Osaka, Japan

27.05.2008 - D. Petring
Enhanced capabilities of laser welding by hybridization and combination techniques
70th Laser Materials Processing Conference of JLPS, Osaka, Japan

30.05.2008 - S. Hoeges
New possibilities for rapid manufacturing of bone substitute implants using SLM and DMLS
Medical Innovations Conference, Wien, Österreich

02.06.2008 - T. Biermann
Improving wear and corrosion of magnesium alloys through a combination of thermal spraying and laser cladding
ITSC08, Maastricht, Niederlande

08.06.2008 - P. Russbueldt
Compact high power Ytterbium based fs-oscillator-amplifier system
Ultrafast Phenomena 08, Stresa, Italien

12.06.2008 - K. Bergmann
Present status of pinch plasmas for EUV and soft x-ray radiation
35th EPS European Plasma Conference, Hersonissos, Griechenland

12.06.2008 - A. Gillner
High quality laser machining for tool and part manufacturing using innovative machining systems and laser beam sources
Tagung CIRP Dublin, Dublin, Irland

14.06.2008 - M. Brajdic
Investigation of plasma and shockwave dynamics and properties inside holes during laser drilling of metals
LPM 2008, Quebec City, Canada

15.06.2008 - D. Ganser
Growth of thin films by pulsed laser deposition for integrated waveguide lasers
LPM 2008, Quebec City, Canada

16.06.2008 - A. Gasser
Laser cladding and melting applications for gas turbine components
Siemens Workshop, Potsdam

17.06.2008 - A. Gillner
High speed laser processing in solar cell manufacturing
LPM 2008, Quebec City, Canada

18.06.2008 - M.-C. Hoerstmann-Jungemann
Time resolved spectroscopy during fs-laser direct writing of coherent sub wavelength ripples on SiO₂ and sapphire
LPM 2008, Quebec City, Canada

18.06.2008 - S. Kaierle
Etat de l'art des contrôles de procédés
Les Journées Nationales du Club Laser et Procédés (CLP), Rennes, Frankreich

19.06.2008 - M. Wehner
Bohren und Versiegeln - Laser-verfahren zur Herstellung medizintechnischer Produkte
IVAM Frühjahrsforum, Aachen

23.06.2008 - J. Diettrich
Bearbeitungskopf für das Laserstrahl-Hartlöten mit abschattungsfreier, coaxialer Drahtzufuhr
7. Workshop »Industrielle Anwendungen von Hochleistungsdiodenlasern«, Dresden

23.06.2008 - M. Traub
Innovative Diodenlaser-Strahlquellen für das Reinigen, Beschriften und Kunststofffügen
7. Workshop »Industrielle Anwendungen von Hochleistungsdiodenlasern«, Dresden

23.06.2008 - H.-D. Hoffmann
CPA free ultrashort pulse lasers with more than 100 W average output power at ps and fs pulse duration
4th International Symposium on High-Power Fiber Lasers and their Applications, St. Petersburg, Russland

24.06.2008 - D. Petring
Theoretical and practical impact of brightness on high power laser cutting and welding applications
4th International Symposium on High-Power Fiber Lasers and their Applications, St. Petersburg, Russland

04.07.2008 - D. Petring
State-of-the-art, technical challenges and economical impact of laser cutting and joining
Photonics Seminar, EU Kommission, Brüssel, Belgien

17.07.2008 - A. Lamott
Blaue Laser für die Ultra-präzisions-Triangulation
Verbundtreffen BLU, Baesweiler

20.07.2008 - L. Juschkin
EUV microscopy for defect inspection by dark-field mapping and zone plate zooming
9th International Conference on X-Ray Microscopy - XRM2008, Zürich, Schweiz

23.07.2008 - M. Benk
High power soft x-ray source based on a discharge plasma
9th International Conference on x-ray Microscopy - XRM2008, Zürich, Schweiz

23.07.2008 - H.-D. Hoffmann
ILT lasers for space and aircraft operation
ESA-ESTEC, Noordwijk, Niederlande

09.08.2008 - M. Banyay
Innovative approaches for surface analysis techniques on the basis of plasma-based off-synchrotron XUV/EUV light sources
OPTICS/PHOTONICS SPIE, San Diego, CA, USA

22.08.2008 - S. Kaierle
Laser materials processing - applications, methods and systems
Tecnologia Laser, Florianópolis, Santa Catarina, Brasilien

25.08.2008 - S. Kaierle
Laser cladding & polymer welding for industrial manufacturing processes
Messe INTERPLAST, Joinville, Santa Catarina, Brasilien

27.08.2008 - A. Gillner
Verfahren und Systeme zur Mikro- und Nanostrukturierung mit Ultrakurzpulslasern
Materialbearbeitung mit Kurzpulslasern, Burgdorf, Schweiz

27.08.2008 - S. Kaierle
LASER - o futuro na velocidade de luz (laser applications in European industries)
Encontro WELLE de Tecnologia LASER Brasil - Alemanha, Blumenau, Santa Catarina, Brasilien

27.08.2008 - R. Poprawe
Disk, fiber, rod, slab - New laser concepts open new application perspectives
Photonics21, Prag, Tschechien

03.09.2008 - W. Schulz
Mathematical aspects and advances in the simulation of laser cutting
TCDA Workshop »Theoretical Investigation of Laser Cutting, Drilling and Ablation«, Valencia, Spanien

03.09.2008 - D. Petring
Calculating the laser cutting process
TCDA Workshop »Theoretical Investigation of Laser Cutting, Drilling and Ablation«, Valencia, Spanien

04.09.2008 - D. Petring
Demonstration of cutting simulation with CALCut
TCDA Workshop »Theoretical Investigation of Laser Cutting, Drilling and Ablation«, Valencia, Spanien

06.09.2008 - J. Gottmann
Investigation of the formation of periodical surface and involume nanostructures fabricated by fs-laser writing
ICPEPA 2008, Sapporo, Japan

08.09.2008 - M.-C. Funck
Estimating the performance gain of selectively assembled optical systems
Tagung IWK Ilmenau, Ilmenau

11.09.2009 - P. Loosen
Technology transfer in photonics, examples at Fraunhofer ILT / Aachen University
Institute of Photonics, Open Day 2008, Glasgow, Schottland, UK

- 12.09.2008 - D. Ganser
Manufacturing of integrated planar waveguides by pulsed laser deposition
Konferenz ALT 08, Siófok, Ungarn
- 13.09.2008 - M. C. Hoerstmann-Jungemann
3-D micro structuring of sapphire using fs-laser irradiation and selective etching
Konferenz ALT 08, Siófok, Ungarn
- 16.09.2008 - L. Juschkin
XUV tools for the analysis of thin films, surfaces and nanostructures
NanoEurope 2008, St. Gallen, Schweiz
- 18.09.2008 - A. Gillner
Qualitätssicherung beim Kunststoffschweißen mit Laserstrahlung
Alaska-Seminar, Aachen
- 18.09.2008 - M. Dahmen
New developments in laser processing
CSIR National Laser Centre, Pretoria, Südafrika
- 21.09.2008 - C. Fricke-Begemann
Limestone and dolomite sample analysis by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for mineral processing
LIBS 2008, Berlin
- 22.09.2008 - R. Noll
Getting it right with industrial LIBS applications
LIBS 2008, Berlin
- 22.09.2008 - S. Kaierle
From flexible to adaptive manufacturing: an approach for laser materials processing
ICFDM2008 (International Conference on Frontiers of Design and Manufacturing), Tianjin, VR China
- 22.09.2008 - A. Gillner
Laserstrahlmikroabtrag - Neue Strahlquellen und Verfahren zum Mikrostrukturieren und Bohren
Hannover Messe Herbstforum, Hannover
- 23.09.2008 - C.-D. Gehlen
Mobile microwave-enhanced LIBS (ME-LIBS)
LIBS 2008, Berlin
- 23.09.2008 - H. Schleifenbaum
Towards rapid manufacturing for series production: an ongoing process report on increasing the build rate of SLM
Euro-Rapid 2008, Berlin
- 23.09.2008 - N. Strauss
Size-resolved analysis of fine and ultrafine particulate matter by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy
LIBS 2008, Berlin
- 24.09.2008 - R. Noll
Double pulse method and its effect on the laser-induced plasma state
LIBS 2008, Berlin
- 24.09.2008 - C. D. Gehlen
Laser analysis of corrosive change in building materials
LIBS 2008, Berlin
- 25.09.2008 - C. D. Gehlen
Plasma diagnostics of nanosecond single- and double pulses in the lower millijoule-regime
LIBS 2008, Berlin
- 25.09.2008 - C. Fricke-Begemann
Limestone and dolomite sample analysis by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for mineral processing
LIBS 2008, Berlin
- 25.09.2008 - A. Gillner
Mikrofertigung von Bohrungen mittels Wendelbohren
Bohrtagung, TU Dresden
- 25.09.2008 - K. Bergmann
Discharge plasma as intense sources for extreme ultraviolet and soft x-ray radiation - new tools for applications at the nanoscale
Kolloquium des SBF755 Sonderforschungsbereiches, Georg-August-University, Göttingen
- 25.09.2008 - D. Buchbinder
Rapid manufacturing of aluminium parts for serial production via SLM
ICAA 11, Aachen
- 26.09.2008 - R. Noll
Field tests with classification of steel scrap at a shredding plant using a LIBS demonstrator
LIBS 2008, Berlin
- 05.10.2008 - L. Juschkin
EUV for nanotechnology - use of short wavelength radiation for metrology and structuring
NTR 2008 International Workshop on the way to NanoTechnological Revolution, Porquerolles, France
- 08.10.2008 - S. Hoeges
Generative Fertigung von Knochenersatzimplantaten mit SLM
Forum MedTech, Nürnberg
- 09.10.2008 - R. Poprawe
RWTH-Aachen University - international positioning China
Shanghai Rectors Meeting, Shanghai, VR China
- 10.10.2008 - F. Sari
Laser transmission bonding of silicon-to-silicon and silicon-to-glass for wafer level packaging and microsystems
214th ECS Meeting »Solid-State and Electrochemical Science«, Honolulu, USA
- 12.10.2008 - E. Willenborg
Laserstrukturieren von Werkzeugoberflächen
Tagung »Funktionale Oberflächen aus Kunststoff, Keramik und Metall«, Neu Ulm
- 14.10.2008 - A. Temmler
Laserpolieren
Vortrag beim Arbeitskreis Oberflächentechnik am BIAS, Bremen
- 16.10.2008 - R. Wester
Java program for steel grade classification
RAMSCI Semetrial Meeting, Dillingen
- 17.10.2008 - K. Walther
Influence of process gas sort and pressure on laser percussion drilling
ICALEO® 2008, Temecula, CA, USA
- 19.10.2008 - J. Gedicke
Weld depth control in fiber laser welding of thin metal sheets
ICALEO® 2008, Temecula, CA, USA
- 20.10.2008 - D. Petring
The relevance of brightness for high power laser cutting and welding
ICALEO® 2008, Temecula, CA, USA
- 20.10.2008 - K. Walther
Measurement of plasma and shock-wave dynamics and properties inside holes during lasers drilling of metals
ICALEO® 2008, Temecula, CA, USA
- 21.10.2008 - P. Abels
Various process monitoring approaches of transparent thermoplastics laser beam welding
ICALEO® 2008, Temecula, CA, USA
- 21.10.2008 - R. Poprawe
New branches of the laser tree from the bill steen roots
ICALEO® 2008, Temecula, CA, USA
- 21.10.2008 - A. Roesner
Absorber free laser beam welding of transparent thermoplastics
ICALEO® 08, Temecula, CA, USA
- 22.10.2008 - F. Schneider
Flexible 3-D-laser cutting and welding with the combi-head
ICALEO® 2008, Temecula, CA, USA
- 22.10.2008 - C. Vedder
Production technology for transparent and conducting nano-layers
ICALEO® 2008, Temecula, USA
- 22.10.2008 - W. Schulz
Laserstrahlschweissen - Diagnose und Simulation
ANSYS Conference & 26. CADFEM User Meeting 2008, Darmstadt
- 23.10.2008 - S. Hoeges
Technology behind computer aided manufacturing
Seminar CUSTOM-FIT, Maastricht, Niederlande
- 27.10.2008 - P. Loosen
High-power diode lasers and laser systems for industrial applications
Denis Hall Seminar at Herriot-Watt-University, Edinburgh, Schottland, UK
- 31.10.2008 - K. Wissenbach
Laser in der Oberflächentechnik
Technologietag des ILT bei MAN Turbo, Oberhausen

04.11.2008 - R. Noll
Grundlagen und Methoden der Lasermesstechnik - Stand der Technik und neue Entwicklungen
Aachener Laser Seminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme für die Automobil- und Stahlindustrie«, Aachen

04.11.2008 - A. Gillner
Laser in der Kunststofftechnik
Aachener Laserseminar »Laserstrahlschweißen von Kunststoffen mit Faserlasern und prozessangepassten Wellenlängen«, Fraunhofer ILT, Aachen

04.11.2008 - P. Abels
Prozessüberwachung zum Schweißen von Kunststoffen mit Laserstrahlung
Aachener-Laser-Seminar »Laserstrahlschweißen von Kunststoffen mit Faserlasern und prozessangepassten Wellenlängen«, Fraunhofer ILT, Aachen

04.11.2008 - A. Roesner
Laserschweißen von Kunststoffen
Aachener Laserseminar »Laserstrahlschweißen von Kunststoffen mit Faserlasern und prozessangepassten Wellenlängen«, Fraunhofer ILT, Aachen

04.11.2008 - A. L. Boglea
Miniaturisierung in der Kunststofffügetechnik
Aachener Laserseminar »Laserstrahlschweißen von Kunststoffen mit Faserlasern und prozessangepassten Wellenlängen«, Fraunhofer ILT, Aachen

04.11.2008 - J. Holtkamp
Laserstrahlfügen von Metall mit Kunststoff
Aachener Laserseminar »Laserstrahlschweißen von Kunststoffen mit Faserlasern und prozessangepassten Wellenlängen«, Fraunhofer ILT, Aachen

05.11.2008 - W. Wawers
Systemtechnik zum Mikrobohren mit Laserstrahlung
Aachener-Laser-Seminar »Mikrobohren mit Laserstrahlung«, Fraunhofer ILT, Aachen

05.11.2008 - C. Hartmann
Prozessstrategien zum Hochrate-Mikrobohren mit Laserstrahlung
Aachener-Laser-Seminar »Mikrobohren mit Laserstrahlung«, Fraunhofer ILT, Aachen

05.11.2008 - W. Schulz
Prozessverständnis von Laserbohrverfahren
Aachener-Laser-Seminar »Mikrobohren mit Laserstrahlung«, Fraunhofer ILT, Aachen

05.11.2008 - A. Gillner
Vom Mikrometer zum Millimeter
Aachener-Laser-Seminar »Mikrobohren mit Laserstrahlung«, Fraunhofer ILT, Aachen

10.11.2008 - R. Noll
Lasermessverfahren für Online-Prüfungen in der industriellen Produktion
Seminar der DGzFP, »Optische Prüf- und Messverfahren«, Dortmund

16.11.2008 - M. Dahmen
Environmental impact of laser beam welding techniques
8th Welding Symposium of the Japan Welding Society, Kyoto, Japan

16.11.2008 - M. Dahmen
Hybrid laser beam welding of structural parts
8th Welding Symposium of the Japan Welding Society, Kyoto, Japan

17.11.2008 - A. Gillner
Licht, Laser, Optik und biofunktionale Oberflächen
Workshop »Biofunktionale Oberflächen«, Stuttgart

24.11.2008 - S. Hoeges
Manufacturing of bioresorbable bone substitute implants using selective laser melting
eMBEC Antwerpen, Antwerpen, Belgien

18.12.2008 - H.-D. Hoffmann
Neue Entwicklungen im Bereich Dioden- und Festkörperlaser im Fraunhofer ILT
Aix-Laser-People Seminar, Aachen

14.02.2008
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Priv.-Doz. Dr. M. Merklein, Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Fertigungstechnologie, Erlangen
»Laserunterstütztes Rührschweißen von Stahl und Aluminium im Stumpfstoß«

21.02.2008
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Prof. Dr. M. Kneissl, Technische Universität Berlin, Berlin
»Von ultravioletten Leuchtdioden bis zu grünen Lasern - Herausforderungen und Fortschritte bei der Entwicklung GaN-basierter Lichtemitter«

22.02.2008, Aachen
Unihits für Kids
Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Geschwister-Scholl-Gymnasiums in Pulheim zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

28.02.2008, Aachen
Unihits für Kids
Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler der Bischöflichen Maria-Montessori Gesamtschule in Krefeld zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

11.04.2008, Aachen
Start des Fraunhofer-Innovationsclusters »TurPro«
Zum Start des Fraunhofer-Innovationsclusters »Integrative Produktionstechnik für energieeffiziente Turbomaschinen - TurPro« fand am Freitag, 11. April 2008 im Fraunhofer IPT eine Festveranstaltung mit anschließender Pressekonferenz statt. Der Innovationscluster »TurPro« wird von den beiden Instituten Fraunhofer ILT und IPT koordiniert. Nach der Begrüßung der Gäste durch Prof. Fritz Klocke, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT, hielt Prof. Andreas Pinkwart, Minister für Innovation, Wissenschaft, Forschung und Technologie NRW, eine Rede zum Thema »NRW - Standort für innovative Produktion«. Prof. Hans-Jörg Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, stellte das Konzept der Fraunhofer-Innovationscluster

vor. Es folgten Vorträge von Prof. Reinhart Poprawe, Prorektor der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT, Dr. Hans-Otto Jeske, Vorstandsmitglied der MAN Turbo AG und Dr. Norbert Arndt, Managing Director Engineering, Purchasing & Logistics der Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG. Zum Abschluss besichtigten die Teilnehmer die Maschinenhallen und Labore von Fraunhofer IPT und ILT.

07. - 09.05.2008, Aachen
International Laser Technology Congress AKL'08
 Mit 57 Vorträgen, über 30 Ausstellern und 80 live Präsentationen zum Einsatz von Lasern in der Materialbearbeitung bot der International Laser Technology Congress AKL'08 Laserherstellern und Anwendern unterschiedlicher Branchen ein zentrales Forum für den intensiven Erfahrungsaustausch.

Der AKL'08 stand unter der ideellen Trägerschaft der Industrieverbände EUROM, SPECTARIS, VDA, VDI, VDMA sowie des Arbeitskreises Lasertechnik e.V., des European Laser Institutes ELI und der Europäischen Kommission. Der Veranstalter, das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, verzeichnete im Eurogress Aachen rund 500 Teilnehmer.

Um dem Bedarf der unterschiedlichen Zielgruppen Rechnung zu tragen, wurde der AKL'08 in mehrere Veranstaltungsmodule gegliedert. Der technologische Programmteil des AKL'08 (08. und 09. Mai 2008) richtete sich an Anbieter und Abnehmer lasertechnischer Verfahren und Systeme für den fertigungstechnischen Einsatz. Angesprochen wurden sowohl Laserhersteller und Systemanbieter als auch Laseranwender aus unterschiedlichen Branchen der produzierenden Industrie.

Das Einsteiger Seminar Lasertechnik (07. Mai 2008) vermittelte Unternehmen, die bisher nicht in der Lasertechnik tätig waren - weder als Anbieter noch als Anwender - einen ersten praxisorientierten Überblick.

Der Technologie Business Tag (07. Mai 2008) richtete sich an Geschäftsführer, Marketing-Verantwortliche, Vertriebsleiter und sonstige Führungskräfte, die sich gezielt über den Stand und die Perspektiven der Lasermärkte informieren wollten.

Im EU Innovation Forum »Laser material processing in Aeronautics« (07. Mai 2008) berichteten Teilnehmer von EU-Verbundprojekten über die Ergebnisse ihrer FuE-Arbeiten.

07.05.2008, Aachen
Technologie Business Tag TBT'08
 Im Technologie Business Tag gaben Experten einen Überblick über den Stand und die Entwicklung der europäischen (Dr. Arnold Mayer, Optech Consulting), amerikanischen (David Belforte, Belforte Associates) und japanischen (Prof. Dr. Isamu Miyamoto, Osaka) Lasermärkte. Darüber hinaus erläuterten erfahrene Laseranwender am Beispiel ausgewählter Branchen, welchen produktionstechnischen Herausforderungen sich die Lasertechnik in Europa stellen muss. Dr. Michael Zürn (Daimler AG), Dipl.-Ing. Stefan Wischmann (Thyssen Steel) und Dr. Arnold Gillner (Fraunhofer ILT) beleuchteten die Automobilindustrie, die metallverarbeitende Industrie und die Mikroelektronik.

07.05.2008, Aachen
EU Innovation Forum »Laser material processing in Aeronautics«
 Im EU Innovation Forum berichteten Teilnehmer von EU-Verbundprojekten über die Ergebnisse ihrer FuE-Arbeiten. Inhaltlich konzentrierte sich das EU Innovation Forum auf die Laserfertigungstechnik in der Flugzeugindustrie. Für die Einführungsvorträge konnten Dr. Andrzej Podsadowski, Referat »Aeronautics« der Generaldirektion XII der Europäischen Kommission und Prof. Stewart Williams von der Cranfield University gewonnen werden.

In den drei anschließenden Parallel-Sessions wurden die technologischen Aspekte und Einsatzbereiche generierender und verbindender Verfahren sowie Laserverfahren zur Vorbehandlung von Oberflächen diskutiert. Die Anwendungsfelder waren die Herstellung von Flugzeugbauteilen sowie Instandsetzung und Reparatur. In den Diskussionsrunden wurden Anregungen für neue Verbundprojekte erarbeitet, um sich den noch offenen technologischen Herausforderungen der Branche zu stellen.

Zum Abschluss des EU Innovation Forums konnten sich die Teilnehmer von den erfolgreichen Ergebnissen durchgeführter FuE Arbeiten bei den live Präsentationen im Applikationszentrum des Fraunhofer ILT überzeugen.

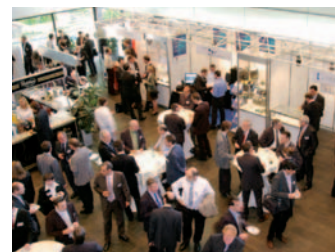
07.05.2008, Aachen
Einsteiger Seminar Lasertechnik
 Hier erfuhren Einsteiger in klar strukturierter Form wie Laserbearbeitungsverfahren funktionieren, welche Laser für welche Anwendungen eingesetzt werden, welche Optiken für die Lasermaterialbearbeitung verwendet werden, wie Laserfertigungsprozesse online überwacht und geregelt werden, welche industriellen Einsatzbereiche es gibt und welche Entwicklungstrends sich in der Lasertechnik abzeichnen.

08. - 09.05.2008, Aachen
Lasertechnische Fachkonferenz AKL'08

Für die Gerd-Herziger Session am 8. Mai 2008 konnten folgende Referenten gewonnen werden: Dr. Michael Martin, Vorstandsvorsitzender der Jenoptik AG (Laser und Optik im System), Dr. Joseph Pankert, CTO Business Unit Special Lighting Applications der Philips Lighting B.V. (Hochleistungs EUV Quellen für die nächste Generation Mikrochips), Dr. Eberhard Kroth, Technischer Geschäftsführer der Reis Robotics (Stand und Perspektiven der robotergestützten Lasersystemtechnik), Dr. Tony Hoult, Leiter des Anwendungszentrums der SPI Lasers (Faserlaser: Quellen und Anwendungen) sowie Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt (Exzellenzcluster der RWTH Aachen: Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer).

Im Anschluss wurden über zwei Tage Parallel-Sessions mit Vorträgen zu innovativen lasertechnischen Entwicklungen einerseits in der Mikrobearbeitung und andererseits in der Makrobearbeitung angeboten. Die Session-Themen reichten vom Laserstrahl-Schneiden, Schweißen, Polieren, Strukturieren und Generieren bis hin zu Präzisionsfügen und -trennen, Funktionalisieren, Bohren und Abtragen.

Zum Abschluss der lasertechnischen Fachkonferenz konnten die Teilnehmer ihren Erfahrungsaustausch in den Applikationslabors des Fraunhofer ILT fortsetzen. Im Rahmen von »Lasertechnik Live« zeigten die Ingenieure des Fraunhofer ILT die Ergebnisse ihrer FuE-Aktivitäten in 80 Präsentationen.



AKL'08 - International Laser Technology Congress in Aachen.

08.05.2008, Aachen
Verleihung des Innovation Award Laser Technology 2008
 Preisträger des mit 10.000 Euro dotierten Innovation Award Laser Technology 2008, der seitens des Arbeitskreises Lasertechnik e.V. und des European Laser Institute ELI am 08. Mai 2008 im Rathaus zu Aachen verliehen wurde, war Dipl.-Ing. Bertold Hopf, Daimler AG, Sindelfingen. Bertold Hopf hatte sich als Sprecher des RobScan Projekt-Teams bei der offenen Ausschreibung beworben. Über 300 Teilnehmer des International Laser Technology Congress AKL'08 wohnten der Preisverleihung im historischen Ambiente des Krönungssaales bei.



Preisverleihung des Innovation Award Laser Technology 2008 am 08.05.2008 im Rathaus zu Aachen.

Prof. Reinhart Poprawe, stellvertretender Vorsitzender des Arbeitskreises Lasertechnik AKL e.V. und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT, hob die engagierte Arbeit des RobScan Projekt-Teams und die herausragende Innovation auf dem Gebiet der Lasertechnik hervor. RobScan - Robot-guided remote Scanner for laser beam welding - ist ein neuer Laserschweißprozess, der für den Fahrzeugbau durch Dipl.-Ing. Bertold Hopf und Dr. Klaus Debschütz und deren Projekt-Team bei der Daimler AG entwickelt wurde. Dipl.-Ing. Bertold Hopf ist Leiter Werkstoff- und Fertigungstechnik im Center Produktions- und Werkstofftechnik der Daimler AG in Sindelfingen. Dr. Klaus D. Debschütz ist Leiter Materials, Manufacturing, Concepts - Body der Konzernforschung & MBC Entwicklung der Daimler AG in Ulm.

Die internationale Jury, bestehend aus 10 Vertretern aus Industrie und Wissenschaft, wählte nach dem Prinzip der Bestenauslese und auf der Grundlage der veröffentlichten Beurteilungskriterien (siehe www.innovation-award-laser.org) 3 Innovations-Teams als Finalisten aus 15 eingereichten Bewerbungen aus:

- RobScan - Robot-guided Remote Scanner for Laser Beam Welding (Team-Sprecher: Dipl.-Ing. Bertold Hopf, Leiter Werkstoff- und Fertigungstechnik im Center Produktions- und Werkstofftechnik der Daimler AG in Sindelfingen)
- RAPID: High-power, high-repetition-rate picosecond (ps) laser for industrial high-end micro-machining (Team-Sprecher: Dr. Achim Nebel, Geschäftsführer, LUMERA LASER GmbH, Kaiserslautern)
- Ultrafast Laser for Efficient Industrial Micromachining (Team-Sprecher: Dr. Dirk Sutter, Senior Scientist, Advanced R&D and Product Development Manager, TRUMPF Laser GmbH + Co. KG, Schramberg)

Alle 3 Projekte haben zu einer herausragenden Innovation im Bereich der Lasertechnik geführt und werden ausführlich unter www.innovation-award-laser.org vorgestellt. Alle 3 Finalisten waren für den Innovation Award Laser Technology 2008 nominiert. Die Trophäe für den Preisträger sowie die Urkunden für alle Finalisten überreichten Dipl.-Ing. Ulrich Berners, Vorstandsvorsitzender des Arbeitskreises Lasertechnik AKL e.V., Dr. Stefan Kaierle, Vorstandsvorsitzender des European Laser Institute ELI und Ric Parker, Director Research and Technology der Rolls-Royce plc und Festredner der Preisverleihung. Der Preisträger Bertold Hopf wurde weiterhin zum »AKL Fellow« and »ELI Fellow« ernannt.

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.

09.05.2008, Aachen
31. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
 des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit 80 live-Vorführungen im Laser-Anwenderzentrum des ILT im Umfeld des International Laser Technology Congress AKL'08 in Aachen.

29.05.2008
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Prof. Dr. E. P. Ippen, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA
 »Femtosecond Lasers: More than just really fast«

05.06.2008, Aachen
Unihits für Kids
 Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler der Katholischen Grundschule Zeppelinstraße in Mönchengladbach zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

23.06.2008, Aachen
Unihits für Kids
 Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Gymnasiums Baesweiler in Baesweiler zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

26.06.2008
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Prof. Dr. Peter R. Herman, Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto, Canada
 »Burst femtosecond laser proceeding of 3D photonic and optofluidic microsystems«

03.07.2008
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Prof. Dr. Friedrich Dausinger, Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW) der Universität Stuttgart, Stuttgart
 »Hochgeschwindigkeitsphotografie Schweißen mit Laserstrahlung«

10.07.2008

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik

Prof. Dr. Aravinda Kar, University of Central Florida CREOL, Florida, USA
»Laser doping of silicon carbide for white light-emitting diodes«

21.08.2008

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik

Dr. Andreas Ostendorf, LZH Laser Zentrum Hannover e. V., Hannover
»Stereolithographie - von Mikrobauteilen zu Nanostrukturen«

11.09.2008, Aachen

Unihits für Kids

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Franz-Meyers-Gymnasiums in Mönchengladbach zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

23.09.2008

Laser Zentrum Hannover

2. HANNOVER MESSE Herbstforum: Laser in der Produktion - Neue Möglichkeiten der Mikro- und Nanopräzisionsbearbeitung

Nach dem Start der Veranstaltungsreihe zum Thema »Laser in der Mikro- und Nanotechnik« im Herbst letzten Jahres im Fraunhofer ILT fand am 23. September 2008 das 2. HANNOVER MESSE Herbstforum im Laser Zentrum Hannover statt. Der Konferenztag stand unter dem Motto: »Laser in der Produktion - Neue Möglichkeiten der Mikro- und Nanopräzisionsbearbeitung«.

Experten gaben Einblicke in die Themenschwerpunkte Photovoltaik und Solarthermie, Halbleiterindustrie und Mikroelektronik sowie Rapid Prototyping. Neueste Entwicklungen, Anwendungen und Erfolgsgeschichten wurden vorgestellt.

Das Herbstforum wurde vom IVAM Fachverband für Mikrotechnik und von der Deutschen Messe organisiert. Inhaltlich unterstützt wurde die Veranstaltung vom Laser Zentrum Hannover e.V., vom Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT sowie von der LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH. Unternehmen wie

Rofin Baasel Lasertechnik, LPKF Laser & Electronics, Polytec, Lumera Laser und Ingeneric nahmen an dem Herbstforum teil.

Das HANNOVER MESSE Laser-Herbstforum gilt als Vorschau auf die Laser-Themen der Fachmesse Micro Technology innerhalb der HANNOVER MESSE. IVAM organisiert dort vom 20. bis 24. April 2009 zum zweiten Mal die Sonderchau »Laser für Mikromaterialbearbeitung und Mikroproduktion«.

16.10.2008

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik

Prof. Dr.-Ing. Michael Rethmeier, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM, Berlin
»Anwendung von Hochleistungsfaserlasern für das Schweißen von Rohren«

04.11.2008, Aachen

Aachener Laser Seminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme für die Automobil- und Stahlindustrie«

Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

04.11.2008, Aachen

Aachener Laser Seminar »Laserschweißen von Kunststoffen«

Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

05.11.2008, Aachen

Aachener Laser Seminar »Mikrobohren mit Laser«

Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

20.11.2008, Aachen

Unihits für Kids

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Geschwister-Scholl-Gymnasiums in Aachen zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

20.11.2008

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik

Prof. Dr. Karsten Danzmann, Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, Hannover
»Gravitationswellenexperiment mit Laserstrahlung«

27.11.2008

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik

Dr. Jens Rauschenberger, Max-Planck-Institut für Quantenoptik, München
»Generation of coherent intense XUV-radiation«

04.12.2008

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik

Prof. Dr. Alan Caldwell, Max-Planck-Institut für Physik, München
»HERA and the wee partons«

15.12.2008, Aachen

Unihits für Kids

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Otto-Hahn-Gymnasiums in Monheim am Rhein zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

18.12.2008, Aachen

32. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«

des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit Besichtigung der Solland Solar Cells GmbH im grenzüberschreitenden D/NL-Gewerbegebiet AVANTIS. Anschließend fanden im Fraunhofer ILT Vorträge von Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann über »Neue Entwicklungen im Bereich Dioden- und Festkörperlaser im Fraunhofer ILT« und Dr. Alexander Knitsch, TRUMPF Laser GmbH & Co. KG, Schramberg zum Thema »Neue Entwicklungen und Anwendungen von Scheiben- und Faserlaser bei TRUMPF« statt.



Eröffnungsveranstaltung des Fraunhofer-Innovationsclusters »TurPro« in den Fraunhofer-Instituten ILT und IPT am 11.04.2008 in Aachen mit Innovationsminister Prof. Dr. Andreas Pinkwart.

19.01. - 24.01.2008

San Jose, USA

Photonics West 2008

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik

Teilnahme des Fraunhofer ILT auf dem Stand des deutschen Pavillons. ILT/LLT-Themen: Diodenlaser-Packaging, Charakterisierung von Diodenlaserbarren (z. B. LIV, Wellenlänge, Polarisierung, Emittorauslösung), Laser basierend auf Laserbarren (z. B. fasergekoppelt, wellenlängenstabilisiert), Hochenergie-Diodenlasermodule für Raumfahrtanwendungen.

21.04. - 25.04.2008

Hannover

Hannover Messe 2008

Internationale Industriemesse
Teilnahme der Abteilung Mikrotechnik des Fraunhofer ILT am IVAM Gemeinschaftsstand.

ILT Themen: Mikrobohren mit hoher Bohrungsdichte bei Bohrungsdurchmessern von 5 µm - 15 µm, Präzisions-Werkzeugtechnik mit Pikosekundenlasern für Anwendungen im Mikrospritzguss, Mikroschweißen von Folien und Drähten mit Geometrien < 50 Mikrometer für Anwendungen in Photovoltaik und Mikrokontaktierung.
Highlight: Remote Mikro-Laserschneiden mit Faserlasern und hohen Taktraten für die flexible Herstellung von Kleinserien in Feinwerktechnik und Mikrotechnik. Darüber hinaus wurde anhand ausgewählter Beispiele über das Gesamt-Portfolio des Fraunhofer ILT mit Anwendungen aus der Mikrotechnik informiert.

25.08. - 29.08.2009

Joinville, Brasilien

INTERPLAST

Kunststoffmesse

In 2008 hat das Fraunhofer ILT zum ersten Mal an der brasilianischen Kunststoffmesse INTERPLAST teilgenommen. Die INTERPLAST ist eine der wichtigsten Veranstaltungen dieser Art im Bereich von Kunststoffanwendungen und -verarbeitung in Brasilien. Die Messe fand in Joinville, Bundesstaat Santa Catarina statt, einer industriell sehr weit entwickelten Region in Brasilien. Zahlreiche deutsche Unternehmen sind in dieser Region vertreten. Das Fraunhofer ILT hat sich an einem Gemeinschaftsstand mit den brasilianischen Kooperationspartnern Precision Engineering Laboratory (LMP) der Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC/Florianopolis, Brazil) und dem Spin-Off dieses Labors, Fa. Welle Laser (Florianopolis, Brazil), beteiligt.

04.11. - 07.11.2008

Paris

MIDEST

Internationale Messe für Industrial Subcontracting/Zulieferer der Industrie

Teilnahme des CLFA gemeinsam mit der Firma Poly-Shape an der MIDEST in Paris. CLFA Themen: Generieren (Selective Laser Melting - SLM) und Kunststofffügen.

19.11. - 21.11.2008

Düsseldorf

COMPAMED

Internationale Fachmesse Komponenten, Vorprodukte + Rohstoffe für die medizinische Fertigung
Teilnahme der Abteilung Mikrotechnik des Fraunhofer ILT am IVAM Gemeinschaftsstand.

ILT Themen: Laserdurchstrahlungsschweißen von Kunststoffen ohne Zusatz von Absorbieren sowie Mikrostrukturierung von Werkzeugoberflächen für eine Funktionalisierung von abgeformten Polymerbauteilen.

03.12. - 06.12.2008

Frankfurt

EuroMold

Internationale Fachmesse für Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung
Teilnahme der Abteilung Oberflächentechnik des Fraunhofer ILT am Fraunhofer Gemeinschaftsstand. ILT Themen: Laserstrahl-Auftragschweißen zur Modifikation und Reparatur von Formeinsätzen sowie Erzeugung von Gradientenschichten auf Werkzeugeinsätzen. Das generative Fertigungsverfahren Selective Laser Melting (SLM), mit dem Werkzeugeinsätze mit integrierten konturnahen Kühlkanälen aus den Serienwerkstoffen 1.2343 oder 1.2083 aufgebaut werden können. Strukturieren und automatisches Polieren der Oberflächen von Formeinsätzen mit dem Laserstrahl. Highlight: Analyse der mechanischen Eigenschaften von generativ gefertigten Aluminiumbauteilen für die Serienproduktion durch Selective Laser Melting.

Zur Präsentation der Ergebnisse hat das Fraunhofer ILT für die EuroMold einen Videofilm zum Thema Oberflächentechnik in Zusammenarbeit mit den Firmen Rolls-Royce, Braun und Stork Gears and Services produziert. Folgende Themen werden behandelt: SLM, Auftragschweißen, Abtragen und Reinigen, Erzeugung mikroskaliger Leiterbahnen und nanopartikulärer Schichten sowie Polieren.



Oben: IVAM-Gemeinschaftsstand auf der COMPAMED 2008 in Düsseldorf.
Mitte: Dr. Arnold Gillner im Gespräch mit Nordrhein-Westfalens Wirtschaftsministerin Christa Thoben.
Unten: Fraunhofer-Gemeinschaftsstand auf der EUROMOLD 2008 in Frankfurt.



»Partner der Innovatoren« (deutsch/englisch)

Diese Broschüre vermittelt einen prägnanten Überblick über das Fraunhofer ILT. Die zusammenfassende Darstellung der am ILT durchgeführten FuE-Projekte ist ebenso Bestandteil wie ein Kurzprofil des Instituts und eine Kundenreferenzliste.

Jahresbericht 2008 (deutsch/englisch)

Der Jahresbericht stellt umfassend die FuE-Aktivitäten des Fraunhofer ILT für das jeweilige Geschäftsjahr dar. Listen wissenschaftlicher Publikationen und Vorträge sind ebenso enthalten wie die Aufstellungen von Patenten, Dissertationen, Tagungen und Messebeteiligungen. Die englische Version kann nur im Internet unter www.ilt.fraunhofer.de abgerufen werden.

Tagungsband - AKL'08 International Laser Technology Congress

Der englische Tagungsband besteht aus den Zusammenfassungen aller Vorträge inklusive CD-ROM mit den Vortragsfolien der Referenten des AKL'08. Diese CD-ROM besteht aus den 4 Modulen des Kongresses: Technologische Fachkonferenz AKL'08, Einsteiger Seminar Lasertechnik, Technologie Business Tag TBT und EU-Innovation Forum »Laser Applications in Aeronautics«

»Kompetenznetze.de«

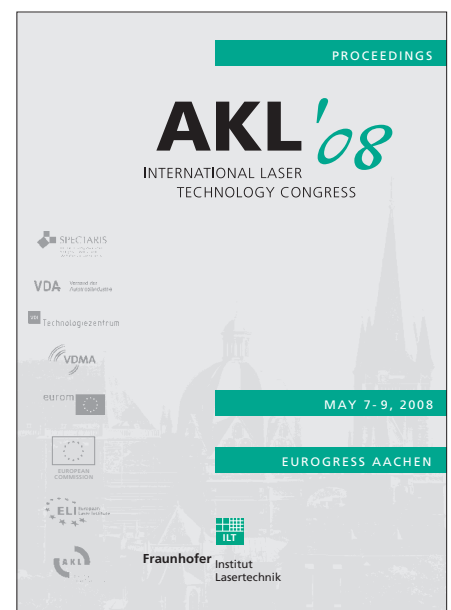
Kompetenznetze.de ist eine Initiative des BMWI und wird als Instrument für internationales Standortmarketing durch Präsentation der kompetentesten Technologie-Netze in Deutschland genutzt. Die Internet Plattform www.kompetenznetze.de, in der auch das Aachener Netzwerk PhotonAix e. V. vertreten ist, bietet eine attraktive Recherchenquelle und Kommunikationsplattform für Informations- und Kooperationsuchende im In- und Ausland.

»European Laser Institute ELI«

Die Informationsbroschüre stellt das vom Fraunhofer ILT koordinierte europäische Netzwerk anerkannter FuE Laserzentren vor. Diese haben sich zum Ziel gesetzt, das in Europa vorhandene Laser-Know-how Interessenten aus Industrie und Wissenschaft zur Verfügung zu stellen. Das Projekt wird von der Europäischen Kommission gefördert. Weitere Informationen hierzu sind unter www.europeanlaserinstitute.org zu finden.

Produkt- und Projekthandzettel

Die Projektdarstellungen aus den Jahresberichten des Fraunhofer ILT sowie gesonderte Produktinformationen können über die Internet-Seiten www.ilt.fraunhofer.de heruntergeladen werden.





Laser in der Kunststoff- und Papiertechnik

Fraunhofer
Institut
Lasertechnik

»Hochleistungsdiodenlaser«

Der Fachprospekt erläutert die unterschiedlichen Aktivitäten des Fraunhofer ILT in der Entwicklung von Hochleistungsdiodenlasern. Hierzu zählen die Auslegung spezieller Bauelemente zur Kühlung der Laser, die Konfektionierung der Diodenlaserbarren, die Charakterisierung in Burn-In-Plätzen, das optische Design und die Entwicklung kompletter Diodenlasermodule.

»Design of Diode Laser Heat Sinks«

Der Fachprospekt stellt den Aufbau von Diodenlaser-Wärmesenken und die Fertigung von Prototypen vor.

»Customized Services for Diode Lasers«

Der Fachprospekt vermittelt einen Einblick in Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten und stellt kundenspezifische Lösungen im Bereich Hochleistungsdiodenlaser vor.

»Lasermikroskopie«

Der Fachprospekt vermittelt einen Einblick in moderne Verfahren der Laser Scanning Mikroskopie, die am Fraunhofer ILT weiterentwickelt werden.

»Materialanalyse und Prozesskontrolle mit Laserstrahlung«

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über Systeme für die Materialanalyse und Anwendungsmöglichkeiten.

»Wärmebehandlung mit Laserstrahlung«

Der Fachprospekt vermittelt einen Einblick in das Härten, Entfestigen, Glühen und Umformen mit Laserstrahlung.

»Lasertechnik für die Oberflächenmodifikation und das Umformen«

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über den Einsatz des Lasers zum Umformen und zur Modifikation von Oberflächen. Hierzu zählen Verfahren wie das Entgraten und das formgebende Schmelzen, das Polieren, das Aufrauen, das Strukturieren und Aktivieren, das Rekristallisieren, das Glühen sowie das Feinperlitisieren.

»Lasertechnik für den Verschleiß- und Korrosionsschutz«

Verschleiß- und Korrosionsschutz kann durch unterschiedliche Laserverfahren erzeugt werden. Der Fachprospekt gibt einen Einblick in Verfahren wie martensitisches Randschichthärten, Umschmelzen, Auftragschweißen, Legieren und Dispergieren.

»Laserstrahlauftragschweißen«

Im Fachprospekt werden sowohl das Verfahren als auch die Systemtechnik zum Laserstrahlauftragschweißen vorgestellt. Auch die Unterschiede der hierzu einzusetzenden Pulverzufuhrdüsen werden erläutert.

»Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing«

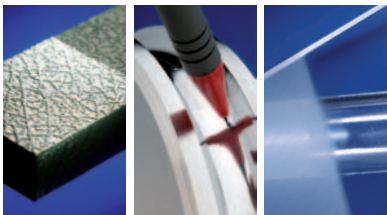
Der Fachprospekt erläutert das am Fraunhofer ILT entwickelte Verfahren des Selective Laser Melting, mit dem komplexe metallische Bauteile direkt aus 3-D-CAD Daten hergestellt werden. Auch die Anwendungsfelder des Laserstrahlgenerierens werden vorgestellt.

»Polieren mit Laserstrahlung«

Der Fachprospekt erläutert das Verfahren und die Anwendungsmöglichkeiten des Polierens mit Laserstrahlung.

»Abtragen, Reinigen und Markieren mit Laserstrahlung«

Der Fachprospekt stellt die Vorteile der unterschiedlichen Laserverfahren vor und beschreibt die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten.



Polieren mit Laserstrahlung

Fraunhofer
Institut
Lasertechnik

»Laser in der Kunststoff- und Papiertechnik«

Der Fachprospekt erläutert den Einsatz des Lasers zur Bearbeitung von Kunststoffen, Verbundwerkstoffen sowie von Papier und Glas.

»Laser in der Mikrostrukturierungstechnik«

Der Fachprospekt erläutert Verfahren wie das Laserabtragen, das Präzisionsschneiden, das Bohren und das laserunterstützte Mikroumformen.

»Laser in der Aufbau- und Verbindungstechnik«

Der Fachprospekt gibt einen Überblick über den Einsatz der Lasertechnik in der Aufbau- und Verbindungstechnik. So werden beispielsweise Mikrofügeverfahren, wie das Laserstrahlbünden und das Laserstrahllöten, erläutert.

»Laser in Life Science«

Der Fachprospekt verdeutlicht den Einsatz des Lasers in der Medizintechnik. Auch wird die Laserstrahlung als Werkzeug in der Mikroreaktionstechnik und der Biotechnologie vorgestellt.

»Systeme und Anlagen für die Lasermaterialbearbeitung«

Der Fachprospekt veranschaulicht die systemtechnischen Lösungen, die das Fraunhofer ILT ihren Kunden anbietet. Die Systemtechnik befasst sich am Fraunhofer ILT mit der Planung, Entwicklung und Installation von kompletten Laseranlagen sowie von Prozessüberwachungs- und Regelungssystemen. Machbarkeitsstudien, Beratung sowie Aus- und Weiterbildungsseminare ergänzen das Angebot.

»Qualitätssicherung in der Lasermaterialbearbeitung«

Der Fachprospekt verdeutlicht das Potenzial der Prozessüberwachung und -regelung in der Lasermaterialbearbeitung. Weiterhin werden die Leistungen des Fraunhofer ILT zur Entwicklung entsprechender Überwachungssysteme kurz vorgestellt.

»Modellierung und Simulation«

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über die Aktivitäten und Kernkompetenzen der Projektgruppe »Modellierung und Simulation«. Die Experten des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen simulieren sowohl Resonatorkonzepte und Strahlführungssysteme als auch Verfahrensprozesse beispielsweise zum Schneiden, Schweißen oder Bohren.

»Mach-Zehnder Interferenzmikroskopie«

Der Fachprospekt gibt einen Einblick in die Mach-Zehnder Interferenzmikroskopie. Anwendungsgebiete der Mikrointerferometrie sind die färbungsfreie Lebendzellbeobachtung sowie die Materialforschung und Analyse.

Bohren mit Laserstrahlung

Der Fachprospekt erläutert das Verfahren des Laserstrahlbohrens und seine Anwendungsmöglichkeiten. Anwendungen sind unter anderem die Herstellung von Kühlbohrungen in Turbinenkomponenten wie Brennkammer und Schaufeln, Bohrungen für Kraftstofffilter sowie Düsen- und Entlüftungsbohrungen in Spritzgussformen für den Werkzeug- und Anlagenbau.

Röntgensysteme

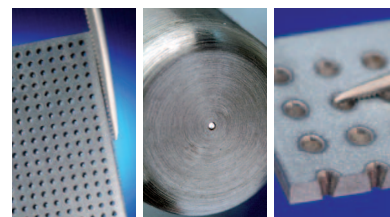
Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über die Technologie der Röntgensysteme und ihre Anwendungsgebiete in der Messtechnik sowie zur optischen Simulation und Design von Kollektroptiken.

Röntgenmikroskopie

Der Fachprospekt gibt einen Einblick in die Technologie der Röntgenmikroskopie und ihre Anwendungsgebiete.

XUV-Quellen

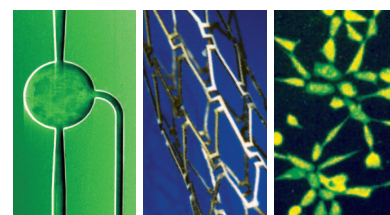
Der Fachprospekt erläutert die Technologie der XUV-Quellen sowie ihre Anwendungsmöglichkeiten im weichen Röntgenbereich und in der EUV-Lithografie.



Bohren mit Laserstrahlung

Fraunhofer
Institut
Lasertechnik

RWTH AACHEN
UNIVERSITY



Laser in Life Science

Fraunhofer
Institut
Lasertechnik

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 Ausbildungsstandes 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 über 90 Mitglieder an.

Das Aufgabenspektrum des AKL e.V. umfasst:

- 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. Dr. Reinhart Poprawe M. A.
(stellvertr. Vorsitzender)
Prof. Rolf Schloms (Kassenwart)
Dipl.-Phys. Axel Bauer (Geschäftsführer)

Kontakt

Steinbachstraße 15
52074 Aachen
Telefon +49 241 8906-109
Fax +49 241 8906-112
info@akl-ev.de
www.akl-ev.de



CD-Rom »Lasertechnik« (deutsch)

Die CD-Rom ist eine Sammlung von Grafiken, Bildern und Videos der Vorlesungen Lasertechnik I + II von Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe M.A. und wurde 2003 produziert.

Sie wurde vom Lehrstuhl für Lasertechnik LLT in der Fakultät Maschinenwesen der RWTH Aachen in enger Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT erstellt.

Inhalt sind die Grundlagen der Lasertechnik sowie die physikalischen und technischen Prozesse für moderne Fertigungsverfahren. Darüber hinaus wird an zahlreichen Beispielen zu Lasern und industriellen Anwendungen der heutige Stand der wirtschaftlichen Nutzung demonstriert.

Die Darstellungen können einzeln über das mitgelieferte Programm Acrobat Reader 5.0 auf handelsüblichen PCs aufgerufen werden. Systemvoraussetzungen sind: Microsoft Windows 95 OSR 2.0, Windows 98 SE, Windows Millenium Edition, Windows NT 4.0 mit Service Pack, Windows 2000, Windows XP und MacOSX (64 MB Ram Arbeitsspeicher sowie 30 MB freier Festplattenspeicher).

Das Ausdrucken und Verwerten der unveränderten Grafiken und Bilder ist ausschließlich zu Lehrzwecken gestattet.

Weitere Informationen und Bestellzettel zur CD-Rom »Lasertechnik« erhalten Sie über den Arbeitskreis Lasertechnik e.V., Steinbachstraße 15, 52074 Aachen.

Ansprechpartnerin

Diana Heinrichs

Telefon +49 241 8906-122

Fax +49 241 8906-112

diana.heinrichs@ilt.fraunhofer.de



**»Lasertechnik für die Fertigung«
von Reinhart Poprawe**

Grundlagen, Perspektiven und
Beispiele für den innovativen Ingenieur.

Die Anwendung von Lasertechnik ist ein sehr breites Thema, das nicht erschöpfend in einem Werk zusammengefasst sein kann. Daher wird hier der Fokus auf Anwendungen in der Fertigungstechnik gelegt, insbesondere die Bearbeitungsverfahren der heutigen Produktionstechnik. Für den ingenieurstwissenschaftlich oder physikalisch vorgebildeten Fachmann sind die bei der Werkstoffbearbeitung mit Laserstrahlung auftretenden Phänomene formelmäßig quantifiziert und in entsprechenden Modellen beschrieben.

Diese Grundlagen ermöglichen eine systematische Einordnung der unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren und ermöglichen es, die verschiedenen Anwendungen auf einer einheitlichen wissenschaftlichen Basis abzubilden. Von mehr praxisbezogener Bedeutung sind die zu Bearbeitungsverfahren beschriebenen Prozesse, die auf leicht verständlichem Niveau die Grundprinzipien und wesentlichen quantitativen Zusammenhänge von Prozessparametern erläutern. Zahlreiche Beispiele sollen die Phantasie des Lesers anregen und zu neuen Anwendungsideen verhelfen.

Inhalt

Einleitung, Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung an Grenzflächen, Absorption von Laserstrahlung, Energietransport und Wärmeleitung, Thermo-mechanik, Phasenumwandlungen, Schmelzbadströmung, Laserinduziertes Verdampfen, Plasmaphysik, Laserstrahlquellen, Oberflächentechnik, Umformen, Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Fügen, Abtragen und Bohren, Schneiden, Systemtechnik, Lasermesstechnik, Ergänzungen A: Optik, B: Kontinuumsmechanik, C: Laserinduziertes Verdampfen, D: Plasmaphysik, E: Bedeutung der verwendeten Symbole und Konstanten, F: Farbbildteil, Sachverzeichnis.

2005. XVII, 526 S. 353 Abb. (VDI-Buch)
ISBN 3-540-21406-2

Bestelladresse

Springer Kundenservice
Haberstraße 7
69126 Heidelberg
Telefon +49 6221 345-0
Fax +49 6221 345-4229
SDC-bookorder@springer-sbm.com
www.springer.de



Wenn Sie mehr Informationen über die Forschungs- und Entwicklungsleistungen des Fraunhofer ILT wünschen, nutzen Sie unseren Internet-Service unter www.ilt.fraunhofer.de.

Sie können das Informationsmaterial ebenfalls mithilfe des vorliegenden ausgefüllten Abschnitts anfordern.

- ☐ Imagebroschüre
»Partner der Innovatoren«
☐ deutsch
☐ englisch
- ☐ Jahresbericht 2008
(englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- ☐ Jahresbericht 2007
(englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- ☐ Jahresbericht 2006
(englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- ☐ Jahresbericht 2005
(englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- ☐ Tagungsband des International Laser Technology Congress AKL'08
- ☐ Programm »International Laser Technology Congress AKL'10«
05. - 07. Mai 2010 in Aachen
- ☐ Ausschreibungsunterlagen
»Innovation Award Laser Technology 2010«
- ☐ Informationsbroschüre
»Kompetenznetze.de« (deutsch/englisch)
- ☐ Informationsbroschüre »European Laser Institute ELI« (englisch)
- ☐ Informationsflyer »Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.«
- ☐ CD-Rom »Lasertechnik«
- ☐ Fachbuch »Lasertechnik für die Fertigung«

- ☐ Fachprospekt »Hochleistungsdiodenlaser«
- ☐ Fachprospekt »Design of Diode Laser Heat Sinks« (englisch)
- ☐ Fachprospekt »Customized Services for Diode Lasers« (englisch)
- ☐ Fachprospekt »Lasermikroskopie«
- ☐ Fachprospekt »Materialanalyse und Prozesskontrolle mit Laserstrahlung«
- ☐ Fachprospekt »Wärmebehandlung mit Laserstrahlung«
- ☐ Fachprospekt »Lasertechnik für die Oberflächenmodifikation und das Umformen«
- ☐ Fachprospekt »Lasertechnik für den Verschleiß- und Korrosionsschutz«
- ☐ Fachprospekt »Laserstrahlauftragsschweißen«
- ☐ Fachprospekt »Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing«
☐ deutsch
☐ englisch
- ☐ Fachprospekt »Polieren mit Laserstrahlung«
- ☐ Fachprospekt »Abtragen, Reinigen und Markieren mit Laserstrahlung«
- ☐ Fachprospekt »Laser in der Kunststoff- und Papiertechnik«
☐ deutsch
☐ englisch
- ☐ Fachprospekt »Laser in der Mikrostrukturierungstechnik«
☐ deutsch
☐ englisch
- ☐ Fachprospekt »Laser in der Aufbau- und Verbindungstechnik«
☐ deutsch
☐ englisch
- ☐ Fachprospekt »Laser in Life Science«
☐ deutsch
☐ englisch
- ☐ Fachprospekt »Systeme und Anlagen für die Lasermaterialbearbeitung«
- ☐ Fachprospekt »Qualitätssicherung in der Lasermaterialbearbeitung«
- ☐ Fachprospekt »Modellierung und Simulation«

- ☐ Fachprospekt »Mach-Zehnder Interferenzmikroskopie«
☐ deutsch
☐ englisch
- ☐ Fachprospekt »Bohren mit Laserstrahlung«
☐ deutsch
☐ englisch
- ☐ Fachprospekt »Röntgensysteme«
- ☐ Fachprospekt »Röntgenmikroskopie«
- ☐ Fachprospekt »XUV-Quellen«

Absender

Name, Vorname

Firma

Abteilung

Straße

PLZ/Ort

Telefon

Fax

E-mail

bitte faxen an:
Fraunhofer ILT
Stefanie Flock
Fax +49 241 8906-121

Redaktion

Dipl.-Phys. Axel Bauer (verantw.)
Stefanie Flock

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, da 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 2009

**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