

JAHRESBERICHT 2009



**JAHRESBERICHT DES
FRAUNHOFER-INSTITUTS
FÜR LASERTECHNIK ILT
2009**



»Eine Chance zu sehen, ist keine Kunst. Die Kunst ist, eine Chance als Erster zu sehen.« Was Benjamin Franklin bereits im 18. Jahrhundert als persönliche Herausforderung formulierte, zählt zu den wesentlichen treibenden Kräften der Ingenieure und Naturwissenschaftler des Fraunhofer ILT. Seit rund 25 Jahren setzen unsere industriellen Auftraggeber auf die innovativen Impulse, die aus unserem Hause kommen. Ob es um die Entwicklung neuer Laserstrahlquellen geht oder um die Einführung wegweisender Laserverfahren in bestehende oder neue Produktionsprozesse, am Anfang einer jeden Kooperation steht eine Vision, an die sowohl das ILT-Projektteam als auch unser Auftraggeber festhalten. Chancen erkennen, Zusammenhänge verstehen, Erkenntnisse gewinnen, Wissen zusammentragen, Lösungen erarbeiten, Ergebnisse umsetzen, das sind die notwendigen Schritte, damit die Vision nicht zur Illusion mutiert. Dabei ist der Anteil der Transpiration weit größer als der Teil der Inspiration. Auch die über 20 Ausgründungen ehemaliger Mitarbeiter des Fraunhofer ILT folgen dieser Systematik. Auch sie haben meist als Erste die Chancen erkannt, die die neuen Technologien mit sich brachten und setzten diese mit dem erlernten Durchhaltevermögen in die Tat um.

Welche Lehren können wir denn aus den genutzten Chancen der letzten 25 Jahre ziehen?

1. Jede Idee - auch wenn sie noch so exotisch klingt - ist es wert, sich mit ihr intensiv auseinanderzusetzen. Hätten Sie jemals gedacht, dass mit einem Laserstrahl Zahnersatz generiert oder Werkzeuge poliert werden?
2. Nicht jede Idee - wenn sie technisch auch noch so plausibel erscheint - führt zum gesetzten Ziel. Erfolgreiche Ingenieure müssen die Bereitschaft mitbringen, ständig neue Wege einzuschlagen und das kontinuierlich wachsende Wissen in ihre Entwicklungsprozesse einfließen zu lassen.
»Ideen-Management« ist gefragt und will erlernt werden.

3. Ideen werden umso schneller umgesetzt, je enger die Kooperation zwischen Technologielieferant und Technologieabnehmer ist. Diese Erkenntnis führte schon kurz nach der Gründung des Fraunhofer ILT zur Ansiedlung von Entwicklungs- und Forschergruppen der industriellen Kooperationspartner in den Gebäuden des Instituts. Diese Gastfirmen entwickelten gemeinsam mit den ILT Experten innovative Lösungen zu sehr anspruchsvollen oder risikoreichen Aufgabenstellungen. Die enge Zusammenarbeit vor Ort sorgte für kurze Kommunikationswege und schnelle Entscheidungen bei hoher Flexibilität.
4. Vertrauen ist die Basis für risikoreiche Entwicklungen in FuE-Partnerschaften. Forschungsergebnisse sind nicht vorhersehbar und daher schwer planbar. Auftraggeber und Auftragnehmer legen großen Wert darauf, Aufwand und Ergebnis immer angemessen zu gestalten und möglichst genau zu quantifizieren. Das setzt sowohl Vertrauen in die technologische Kompetenz der Beteiligten als auch in ein stringentes Projektmanagement voraus.

Mit dem Erfahrungsschatz einiger Tausend Projekte im Laserbereich und den daraus gezogenen Lehren blicken wir mit großem Vertrauen in die Zukunft und hoffen, dass auch Sie aus dem vorliegenden Jahresbericht Ideen schöpfen und Chancen erkennen. Sprechen Sie uns einfach an. Wir freuen uns, mit Ihnen den ersten Schritt einer innovativen Entwicklung zu machen.

Ihr

Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe M.A.

INHALT

6	Das Institut im Profil
7	Leitbild
8	Geschäftsfelder
10	Kuratorium und Gremien
11	Ansprechpartner
12	Kernkompetenzen
16	Dienstleistungsangebot
18	Das Institut in Zahlen
21	Kundenreferenzen
22	Fraunhofer USA Center for Laser Technology CLT
24	Coopération Laser Franco-Allemande CLFA
26	Fraunhofer-Verbund Oberflächentechnik und Photonik VOP
28	Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick
30	Lasertechnik an der RWTH Aachen
33	Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«
34	RWTH Aachen Campus

Ausgewählte Forschungsergebnisse

37	Laserstrahlquellen und Plasmasysteme
61	Laserfertigungsverfahren
103	Lasieranlagen und Systemtechnik
115	Lasermess- und Prüftechnik
132	Patente
133	Dissertationen
134	Diplomarbeiten
135	Wissenschaftliche Veröffentlichungen
141	Vorträge
150	Kongresse und Seminare
154	Messebeteiligungen
156	European Laser Institute ELI
157	PhotonAix e.V. - Kompetenznetz Optische Technologien
158	Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.
159	CD-Rom »Lasertechnik«
160	Fachbuch »Lasertechnik für die Fertigung«
161	Informations-Service
162	Impressum

DAS INSTITUT IM PROFIL

KURZPORTRAIT

ILT - dieses Kürzel steht seit 1985 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 300 Mitarbeitern und 11.000 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 »Laserfertigungsverfahren« 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 ILT 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.



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



LEITBILD

Mission

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

Kunden

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

Chancen

Wir erweitern unser Wissen strategisch im Netzwerk.

Faszination Laser

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

Mitarbeiter

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

Stärken

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

Führungsstil

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

Position

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



GESCHÄFTSFELDER



LASERSTRAHLQUELLEN UND PLASMASYSTEME

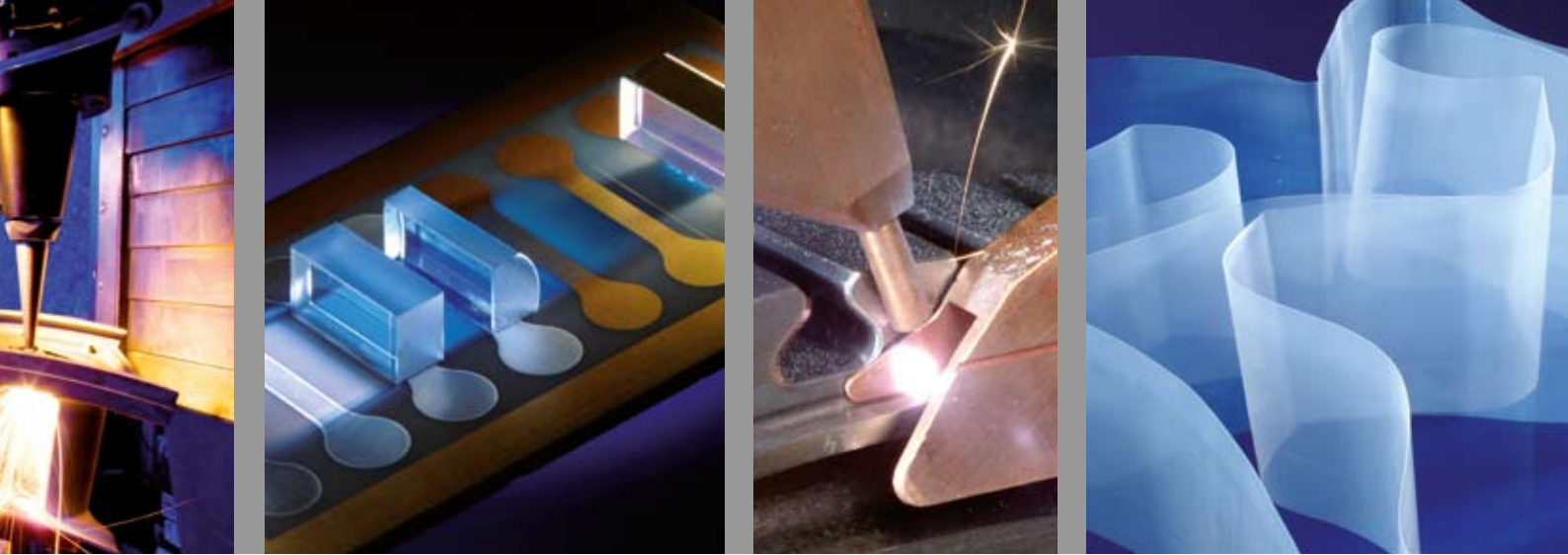
Das Geschäftsfeld umfasst die Entwicklung von Diodenlasern, Stab-, Slab- und Faser basierten Festkörperlaser sowie nicht-linearen Optikanordnungen zur Frequenzkonversion, das Optikdesign für Strahlführungs- und Strahlformungssysteme, die Mikromontage von Diodenlasern, Festkörperlaser und optischen Komponenten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

LASERFERTIGUNGS- VERFAHREN

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 UND GREMIEN

Kuratorium

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

Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

- 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
- Dipl.-Ing. Volker Krause, Laserline GmbH
- 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
- Manfred Nettekoven, Kanzler der RWTH Aachen
- Dr. Joseph Pankert, Philips Lighting B.V.
- Prof. R. Salathé, Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne
- Dr. Dieter Steegmüller, Daimler AG
- Dr. Klaus Wallmeroth, TRUMPF Laser GmbH & Co. KG

Die 25. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 16. September 2009 im Fraunhofer ILT in Aachen statt.

Institutsleitungsausschuss ILA

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

Mitglieder des ILA sind: Dipl.-Betw. (FH) Vasvija Alagic MBA, Dipl.-Phys. A. Bauer, Dr. A. Gillner, 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.

ANSPRECHPARTNER



Prof. Dr. Reinhart Poprawe MA
Institutsleiter



Prof. Dr. Peter Loosen
Stellvertretender Institutsleiter



Dipl.-Betrw. Vasvija Alagic MBA
Verwaltung und Infrastruktur



Dipl.-Phys. Axel Bauer
Marketing und Kommunikation



Dr. Alexander Drenker
Qualitätsmanagement



Dr. Arnold Gillner
Mikrotechnik



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



Dr. Stefan Kaierle
Systemtechnik



Dr. Willi Neff
Plasmatechnologie



Dr. Reinhard Noll
Lasermess- und Prüftechnik



Dr. Dirk Petring
Trenn- und Fügeverfahren



Prof. Dr. Wolfgang Schulz
Modellierung und Simulation



Dr. Bruno Weikl
IT-Management



Dr. Konrad Wissenbach
Oberflächentechnik

KERNKOMPETENZEN

LASER UND LASEROPTIK

- 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 Optiksysteme
- 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

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

LASERMESS- UND PRÜFTECHNIK

- 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

Ansprechpartner

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

PLASMATECHNOLOGIE

- 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 ...)

Ansprechpartner

Dr. Willi Neff

Telefon +49 241 8906-142

willi.neff@ilt.fraunhofer.de

TRENN-UND FÜGEVERFAHREN

- Schneiden, Perforieren, Bohren, Tiefengravur
- Schweißen, Lötten
- 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

Ansprechpartner

Dr. Dirk Petring

Telefon +49 241 8906-210

dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

OBERFLÄCHENTECHNIK

- 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 Aufräumen durch Umschmelzen von Metallen, Glas und Kunststoffen
- Funktionalisierung dünner Schichten
- Erzeugung strukturierter Schichten aus der schmelzflüssigen Phase
- Reinigung von Oberflächen

Ansprechpartner

Dr. Konrad Wissenbach

Telefon +49 241 8906-147

konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de

MIKROTECHNIK

- 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 interferenz-basierten 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

Ansprechpartner

Dr. Arnold Gillner

Telefon +49 241 8906-148

arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

MODELLIERUNG UND SIMULATION

- 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

Ansprechpartner

Prof. Wolfgang Schulz

Telefon +49 241 8906-204

wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

SYSTEMTECHNIK

- 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

Ansprechpartner

Dr. Stefan Kaierle

Telefon +49 241 8906-212

stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de

Dienstleistungsangebot

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

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 ILT auch bei fachübergreifenden Aufgabenstellungen Problemlösungen aus einer Hand. Ein besonderer Vorteil ist in diesem Zusammenhang der direkte Zugriff auf die umfangreichen Ressourcen der Fraunhofer-Gesellschaft.

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

Fraunhofer ILT im Ausland

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

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



AUSSTATTUNG

Die Nutzflächen des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT betragen über 11.000 m².

Technische Infrastruktur

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

Wissenschaftliche Infrastruktur

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

Geräteausstattung

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

- CO₂-Laser bis 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

- Fünfachsig 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

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

MITARBEITER

Mitarbeiter am Fraunhofer ILT 2009	Anzahl
Stammpersonal	171
- Wissenschaftler und Ingenieure	109
- Mitarbeiter der technischen Infrastruktur	40
- Verwaltungsangestellte	22
Weitere Mitarbeiter	123
- wissenschaftliche Hilfskräfte	112
- externe Mitarbeiter	6
- Auszubildende	5
Mitarbeiter am Fraunhofer ILT, gesamt	294

- 7 Mitarbeiter haben ihre Promotion abgeschlossen.
- 30 Studenten haben ihre Diplomarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt

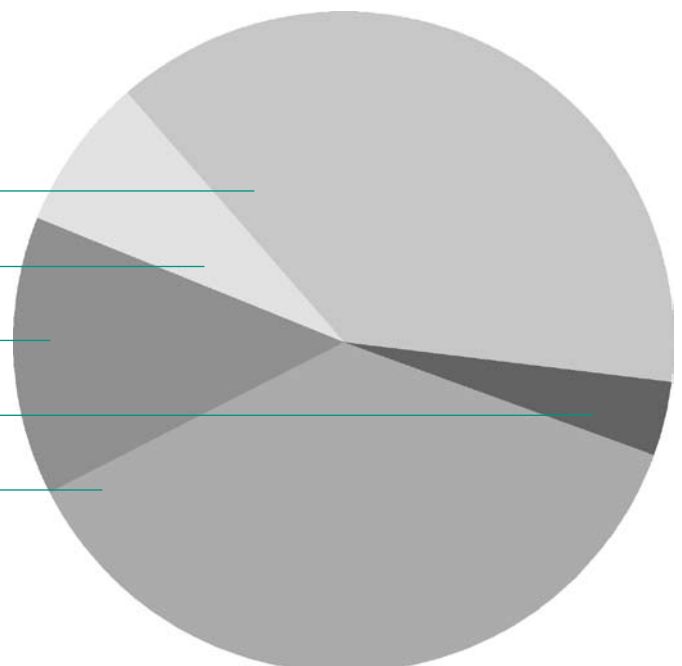
38 % wissenschaftliche Hilfskräfte

7 % Verwaltungsangestellte

14 % technische Infrastruktur

4 % Auszubildende / externe Mitarbeiter

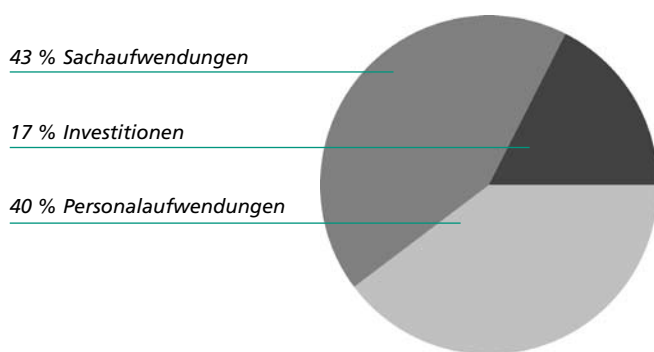
37 % Wissenschaftler und Ingenieure



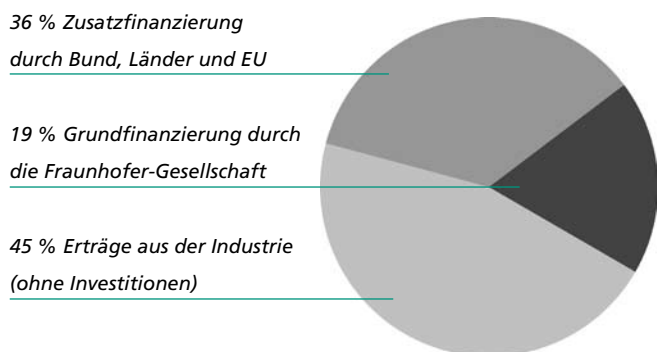
AUFWENDUNGEN UND ERTRÄGE

Aufwendungen 2009	Mio €
- Personalaufwendungen	10,4
- Sachaufwendungen	11,2
Aufwendungen Betriebshaushalt	21,6
Investitionen	4,6

Erträge 2009	Mio €
- Erträge aus der Industrie	9,9
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	7,7
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	4,0
Erträge Betriebshaushalt	21,6
- davon entfallen auf Auslandsprojekte	1,8
Investitionserträge aus der Industrie	0,5
Fraunhofer Industrie ρ_{Ind}	47,9 %



(100% Betriebshaushalt und Investitionen)

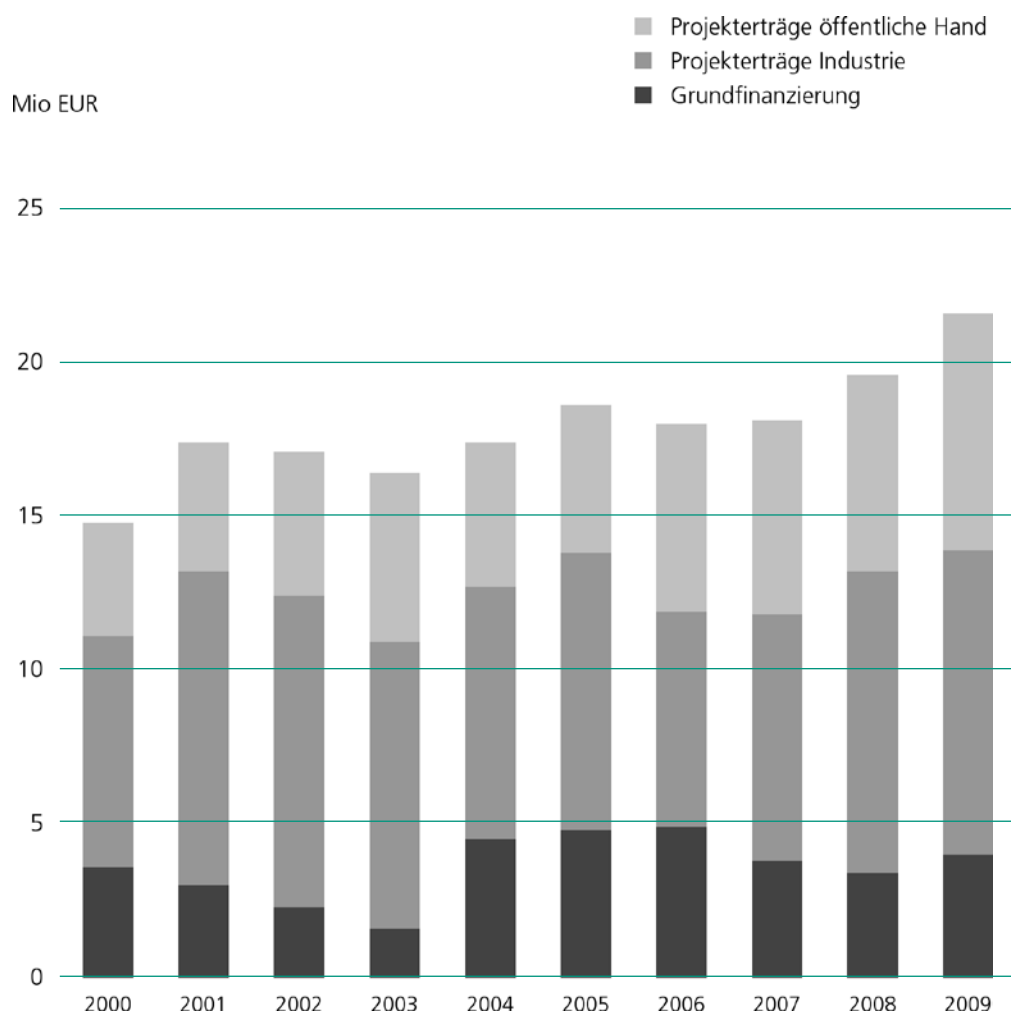


(100% Betriebshaushalt)

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

BETRIEBSHAUSHALT

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



KUNDENREFERENZEN

ABB ALSTOM
POWER

Bartels mikrotechnik



BOSCH

BRAUN



DILAS
The diode laser company.

DILLINGER HÜTTE



EVONIK
INDUSTRIES



HEIDELBERG INSTRUMENTS

Heraeus

Huf Tools

INOVAN



LAMBDA PHYSIK.

LASAG
INDUSTRIAL-LASERS
A COMPANY OF THE REMATCH GROUP



MARQUARDT

MESSER
Igni Steigerwald

MicroLaserTec GmbH

Mubea
ENGINEERING FOR MOBILITY

MULTEK



PHILIPS



PROMETEC

Radium
Die Lichtmarke

Raufoss

REIS
REIS ROBOTICS

rofin
BAASEL LASERTECH-

rofin
ROFIN-SINAR LASER

Rolls-Royce



Sempell

Siemens Automotive

STORK
Gears & Services

Techspace Aero
SAFRAN Group



VYCON
Kompetenz für Medical Produkte

WILDEN

Zinser

ZUMTOBEL STAFF
DAS LICHT

ZWIESEL KRISTALLGLAS AG

Stand März 2010

Mit freundlicher Genehmigung der Kooperationspartner.

Die aufgelisteten Firmen sind ein repräsentativer Ausschnitt aus der umfangreichen Kundenliste des Fraunhofer ILT.

FRAUNHOFER USA CENTER FOR LASER TECHNOLOGY CLT

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.

Die 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

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. 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 einzigartiger Brillanz und Leistung entwickelt. Die Grundlagen und Konzepte neuer Fasergeometrien zur Erzielung hoher (Puls-)Leistungen mit beugungsbegrenzter Strahlqualität werden an der Universität entwickelt, während

Fraunhofer die Entwicklung brillanter Pumpquellen, Systemintegration, Prototypenbau und Applikationsuntersuchungen übernimmt. Das CLT hat in diesem Rahmen neue Technologien und Fertigungsmethoden für Multi-Single-Emitter Diodenlaser entwickelt, welche die Leistungsfähigkeit von Diodenlasern mit der von Festkörperlasern vergleichbar machen. Gemeinsam werden entsprechende Forschungsprojekte bearbeitet.

Kostengünstige Fertigungsverfahren für alternative Energieerzeugung und -speicherung werden in Kooperation mit der Wayne State University entwickelt. Der Schwerpunkt liegt auf Li-Ionen Batterien und auf Solarzellen. Laser induzierte Trenn- und Fügeverfahren, auch ungleicher Werkstoffe wie Metall / Kunststoff, bilden die technologische Grundlage. Die Forschungsergebnisse werden derzeit in bilateralen Projekten in die Industrie überführt.

Eine Allianz zur Erforschung erneuerbarer Energien im Transportwesen wurde gemeinsam von der University of Michigan und der Fraunhofer Gesellschaft ins Leben gerufen. Eine zweijährige Pilotphase bringt Professoren der University und Fraunhofer Wissenschaftler im Bereich erneuerbare Energien zusammen. 5 Projekte wurden in einer ersten Runde ausgewählt, welche sich durch wissenschaftliche Neuartigkeit und hohes Marktpotenzial auszeichnen. So sollen beispielsweise Li-Ionen Batterien kostengünstig hergestellt werden. Weitere Schwerpunkte sind Redox Batterien sowie die dynamische 3-D-Diagnostik von Verbrennungsprozessen.

Aufwendungen 2009

	Mio US \$
Betriebshaushalt	2,6
- Personalaufwendungen	1,3
- Sachaufwendungen	1,3



Dienstleistungen

Das CLT bietet Dienstleistungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung sowie 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 Ausstattung des CLT umfasst eine Vielzahl von Lasern für die Mikromaterialbearbeitung und einige Hochleistungslaser. Faserlaser beugungsbegrenzter Strahlqualität mit bis zu 500 W cw und 25 kW Pulsleistung mit flexiblen Pulsparametern, frequenzverdreifachte Nd:YAG-, CO₂- und Excimer-Laser sowie Diodenlaser mit 50 W/100 mm bis zu 600 W/200 mm stehen für Prozessentwicklungen in der Mikrotechnik zur Verfügung. Darüber hinaus können mehrere Scanner u. a. für Remote Schneiden und Schweißen und Bewegungssysteme mit hoher Dynamik sowie eine Vielzahl von Prozessoptiken mit online Prozessüberwachung genutzt werden.

Kundenreferenzen

Öffentliche Förderung:

- DARPA
- Department of Energy
- U.S. Air Force Research Laboratories
- Office of Naval Research
- Michigan Life Science Corridor

Industrie:

- Dow
- Ford
- General Motors
- Magna
- Medtronic
- Praxair
- Procter & Gamble
- Roche

Ansprechpartner



Dr. Stefan Heinemann
Direktor

Telefon +1 734 354-6300

Durchwahl: -210

Fax +1 734 354-3335

sheinemann@clt.fraunhofer.com

www.clt.fraunhofer.com

46025 Port Street
Plymouth, Michigan 48170, USA

COOPÉRATION LASER FRANCO-ALLEMANDE CLFA

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 die Hochschule MINES ParisTech, ARMINES und das Institut CAROT Mines in Paris, die Hochschule für Mechanik und Mikrotechnik ENSMM in Besançon, die Ingenieurhochschule ECAM Rennes Louis de Broglie sowie weitere 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 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 Fournier 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, MINES ParisTech.

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

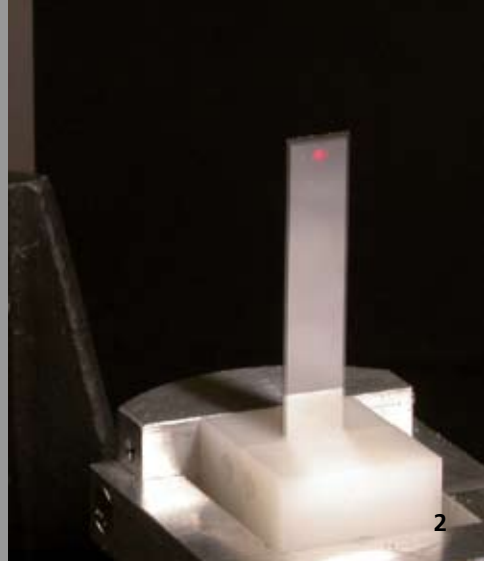
Ansprechpartner



Dr. Wolfgang Knapp
Direktor

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

CLFA c/o Armines MINES ParisTech
60 Boulevard Saint-Michel
75272 PARIS Cedex 6, Frankreich



FRAUNHOFER-VERBUND OBERFLÄCHENTECHNIK UND PHOTONIK VOP

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.

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.

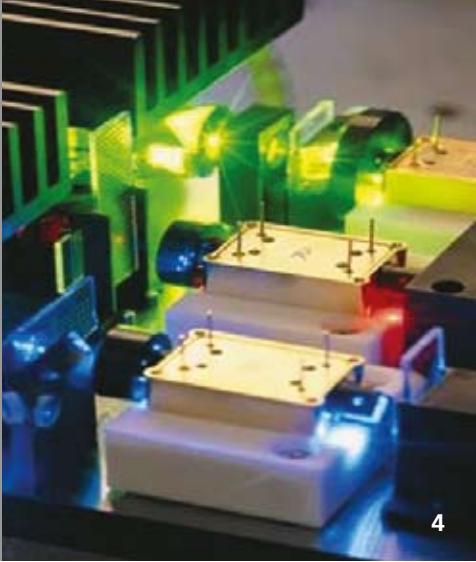
Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

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.

1 Fraunhofer FEP

2 Fraunhofer IPM

3 Fraunhofer ILT



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

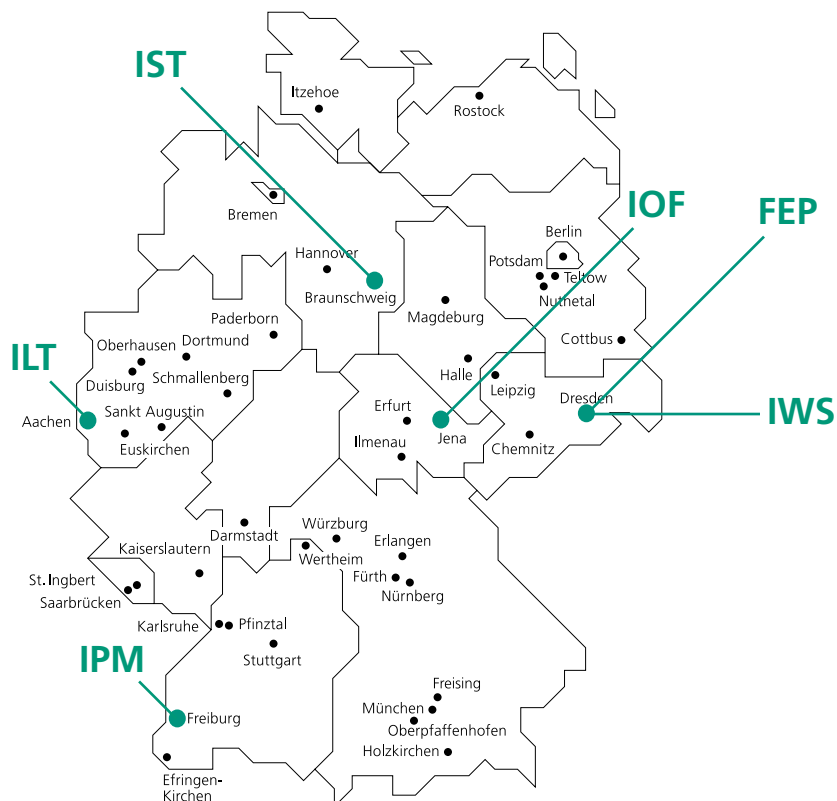
Das Fraunhofer IWS forscht auf den Gebieten der Lasertechnik (z. B. Laserschweißen, Laserschneiden, Laserhärten), der Oberflächentechnik (z. B. Auftragschweißen), der Mikrobearbeitung sowie der Dünnschicht- und Nanotechnologie. Die in die Forschung und Entwicklung integrierte Werkstoffprüfung und -charakterisierung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

Kontakt

Prof. Dr. Eckhard Beyer (Sprecher des Verbundes)
Udo Klotzbach (Koordinator)
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



4 Fraunhofer IOF

5 Fraunhofer IWS

6 Fraunhofer IST

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT AUF EINEN BLICK

Die Fraunhofer-Gesellschaft

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 59 Institute. 17 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,6 Milliarden Euro. Davon fallen 1,3 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 Standorte der Forschungseinrichtungen



LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN

GEMEINSAM ZUKUNFT GESTALTEN

Die RWTH Aachen bietet mit den Lehrstühlen für Lasertechnik LLT und für Technologie Optischer Systeme TOS sowie dem Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD und dem Lehr- und Forschungsgebiet Experimentalphysik »Nano-Optik und Metamaterialien« 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 vier 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 Aufbauraten, 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@ilt.rwth-aachen.de

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



Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS

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

Hochkorrigierte Fokussiersysteme für hohe Laserleistungen, Einrichtungen zur Strahlhomogenisierung oder innovative Systeme zur Strahlumformung spielen bei Laseranlagen in der Fertigungstechnik eine bedeutende Rolle. Die Leistungsfähigkeit von Faserlasern und diodengepumpten Festkörperlaser wird beispielsweise durch Koppeloptiken und Homogenisatoren für das Pumplicht bestimmt. Ein weiteres Forschungsthema sind 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

LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN

Lehr- und Forschungsgebiet Experimentalphysik: »Nano-Optik und Metamaterialien«

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

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

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

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

Kontakt

Prof. Dr. Thomas Taubner
Nano-Optik und Metamaterialien
Telefon +49 241 80-20260
Fax +49 241 80-620260
taubner@physik.rwth-aachen.de

EXZELLENZCLUSTER

Exzellenzcluster

»Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«

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

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

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

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

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

Die Produktionstechnik von morgen benötigt daher ein grundlegend neues Verständnis dieser elementaren Zusammenhänge.

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



RWTH AACHEN CAMPUS

RWTH Aachen Campus

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

Forschungskatalysator und Innovationsgenerator

Durch das in Deutschland einzigartige Angebot der »Immatrikulation« von 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 Transfereinrichtungen ein hohes Maß an Lebensqualität bieten.

Entwicklung und Zeitplan

Der RWTH Aachen Campus entsteht in drei Etappen. Die erste Etappe beginnt 2010 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 19 Cluster in Melaten und Westbahnhof sowie die Erweiterung der Infrastruktur beispielsweise durch den Bau von Kongresshalle, Bibliothek und Hotels.



Cluster

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

Das Rektorat hat am 15. Dezember 2009 die Erfüllung der Startbedingungen für die erste Phase festgestellt. 92 Unternehmen, davon 18 internationale Key-Player, haben sich zusammen mit 31 Lehrstühlen der RWTH und einem Lehrgebiet der FH Aachen zur langfristigen Kooperation und zur Ansiedlung auf dem RWTH Campus in Melaten verpflichtet. Davon sollen in der ersten Phase von 2010 bis 2012 acht bis zehn Gebäudekomplexe mit insgesamt 60.000 m² Bruttogrundfläche in folgenden sechs Clustern entstehen:

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

Clusterleiter des Clusters Optische Technologien ist Prof. Dr. Reinhart Poprawe M.A. vom Fraunhofer ILT bzw. vom Lehrstuhl für Lasertechnik LLT.

Quelle:

Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen,
Projektplanung RWTH Aachen Campus.



Ansprechpartner

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

- 1 RWTH Aachen Campus I - Westbahnhof,
Skizze: RKW Rhode Kellermann Wawrowsky,
Düsseldorf.
- 2 RWTH Aachen Campus II - Melaten,
Skizze: rha reicher haase + assoziierte, Aachen.

FORSCHUNGSERGEBNISSE 2009

Ausgewählte Forschungsergebnisse aus den Geschäftsfeldern des Fraunhofer ILT

• Laserstrahlquellen und Plasmasysteme	37 - 60
• Laserfertigungsverfahren	61 - 102
• Laseranlagen und Systemtechnik	103 - 114
• Lasermess- und Prüftechnik	115 - 131

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.

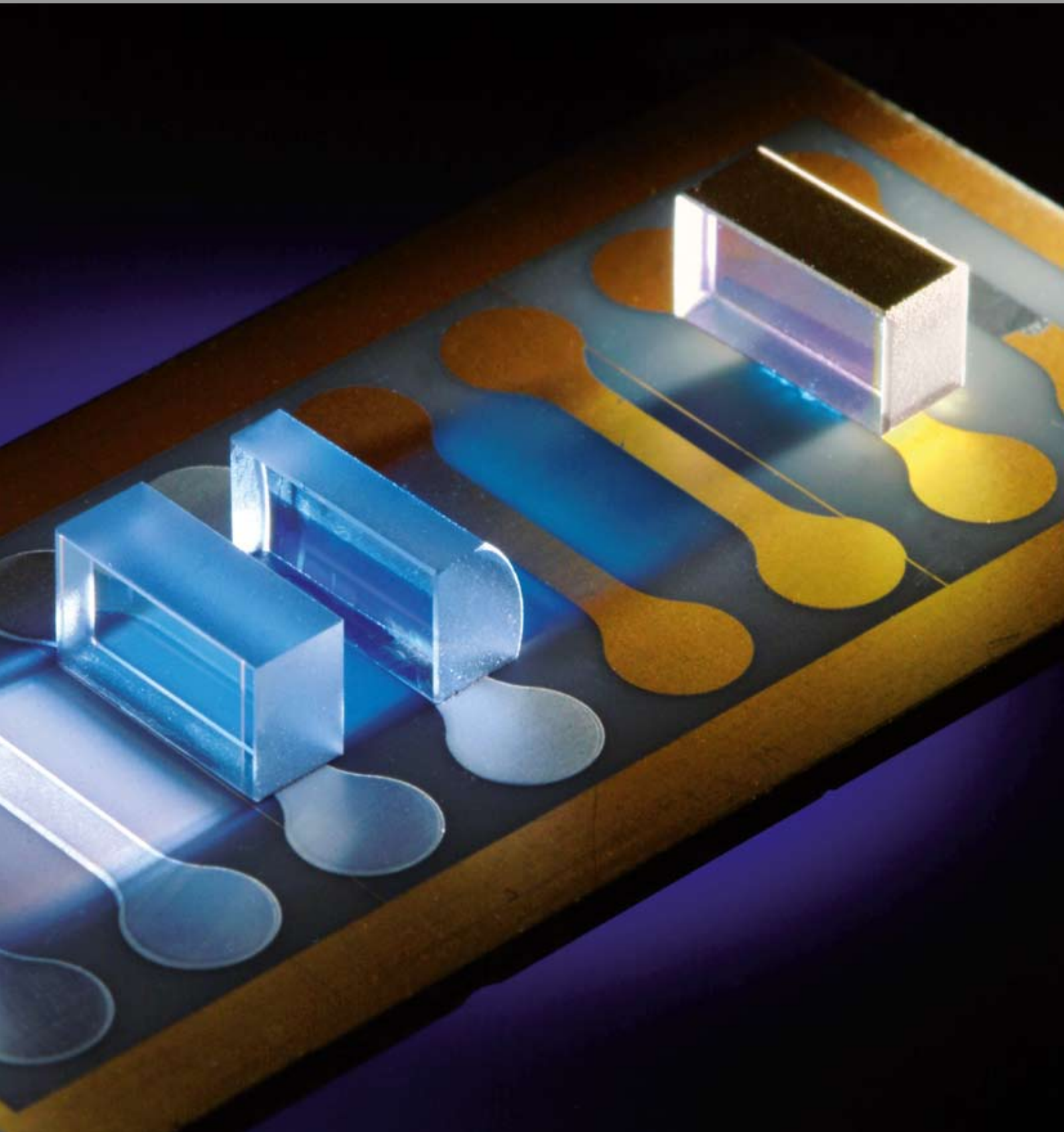
GESCHÄFTSFELD LASERSTRAHLQUELLEN UND PLASMASYSTEME

Das Geschäftsfeld umfasst die Entwicklung von Diodenlasern, Stab-, Slab- und Faser basierten Festkörperlasern sowie nicht-linearen 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.

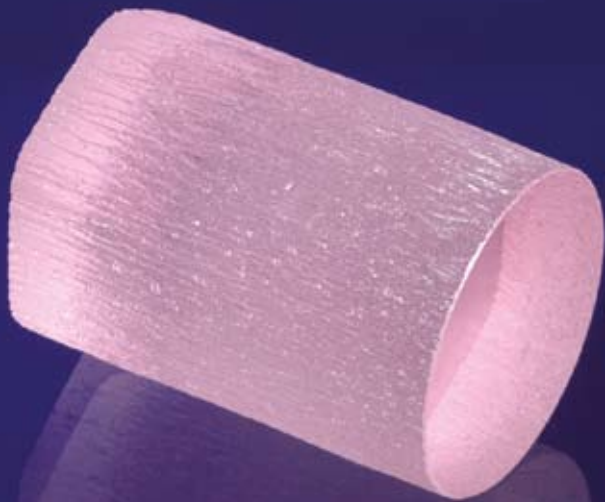
Zu den Alleinstellungsmerkmalen des Geschäftsfelds zählt neben der Montage von Hochleistungs-, Dioden- und Festkörperlasern die Realisierung automatisierter Montage- und Testanlagen. Im Bereich Plasmatechnik liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung von EUV-Strahlquellen für die Halbleiterlithographie.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

LASERSTRAHLQUELLEN & PLASMASYSTEME



INHALT

Nd:YLuGG-Laser für zukünftige satellitenbasierte Wasserdampf-Dial-Systeme	40	Toleranzanalyse optischer Systeme	53
Leistungsskalierung eines diodengeseedeten regenerativen Verstärkers mit einstellbarer Pulsdauer	41	Laseroptik zum sicheren Entschärfen von Landminen	54
280 W INNOSLAB-Verstärker für sub-ns-Laserpulse mit multi 100 mW Pulsleistung	42	Freiformoptiken für Beleuchtungsanwendungen	55
Diodenlaser-Modul mit Emission im grünen Spektralbereich	43	Messplatz zur Bestimmung der laserinduzierten Zerstörschwelle optischer Schichten	56
Frequenz-Verdopplung von Laserstrahlung großer spektraler Bandbreite	44	Simulation und Analyse holographischer Gitter	57
Hochleistungs-Ultrakurzpulsstrahlquelle bei 515 nm	45	Charakterisierung von Laserstrahlung - Simulation und Diagnose	58
Monolithischer Faserverstärker mit variabler Pulsdauer und Repetitionsrate	46	Nanostrukturierung mittels XUV-Lithographie	59
Regenerativer Faserverstärker	47	Ortsauflösender Detektor für das extreme Ultraviolett	60
Micro Laser - Beschriftet im Miniaturformat	48		
Montageanlage zum sukzessiven Aufbau eines miniaturisierten grünen Lasers	49		
Miniaturisierter Güteschalter für die Planarmontage	50		
Prüfung der mechanischen Festigkeit von gelöteten Laserkomponenten im Falltest	51		
Verfahrensentwicklung zum Fügen optischer Komponenten mittels Löttechnik	52	Verfahrensentwicklung zum Fügen optischer Komponenten mittels Löttechnik.	



ND:YLUGG-LASER FÜR ZUKÜNFTIGE SATELLITEN- BASIERTE WASSERDAMPF- DIAL-SYSTEME

Aufgabenstellung

Die globale präzise Vermessung der Wasserdampfverteilung in der Atmosphäre soll in Zukunft eine deutliche Verbesserung der Genauigkeit bei der numerischen Wettervorhersage und bei globalen Zirkulationsmodellen für die Klimaforschung erbringen. Dazu sollen satellitenbasierte DIAL-Systeme (Differential Absorption LIDAR) bei 935 nm eingesetzt werden. Die Anforderungen an diese Systeme wurden im Rahmen des Projekts WALES von der ESA untersucht. Bislang verwendete OPOs und Ti:Sapphire-Laser sind vergleichsweise komplex und hinsichtlich ihrer elektrooptischen Effizienz von etwa 1,5 Prozent nur eingeschränkt für den Satelliteneinsatz geeignet. In stöchiometrisch angepassten Nd-dotierten gemischten Granatkristallen kann die Wellenlänge durch Diodenpumpen direkt erzeugt werden. Für den Satelliteneinsatz werden etwa 70 mJ bei 100 Hz Repetitionsrate, Pulsdauern kleiner 100 ns bei einer Linienbreite von < 160 MHz und einer spektralen Reinheit von > 99,90 Prozent benötigt. Die prinzipielle Erreichbarkeit dieser Werte soll demonstriert werden.

Vorgehensweise

Es wurde ein Nd:YGG-basierter MOPA auf INNOSLAB-Verstärkertechnologie aufgebaut und bei Messungen von atmosphärischem Wasserdampf charakterisiert. Für das Einstellen unterschiedlicher Wellenlängen im Bereich von 935 - 936 nm (vac.) wurden Nd:Y_xLu_{3-x}Ga₅O₁₂-Kristalle (Nd:YLuGG) mit angepasster Stöchiometrie x untersucht.

Ergebnis

Es konnte erstmals in Zusammenarbeit mit dem Institut für Physik der Atmosphäre des DLR atmosphärischer Wasserdampf mit einem Nd:YGG-System gemessen werden. Der Laser liefert 30 mJ bei 100 Hz und ist über 0,45 nm um 935,31 nm (vac.) abstimbar. Um die für ein WALES-System relevanten Wellenlängen um 935,73 nm (vac.) zu erreichen, wurde ein Nd:Y_xLu_{3-x}Ga₅O₁₂-Kristall identifiziert. Die Eigenschaften dieser spektral angepassten Laser sind Gegenstand aktueller Arbeiten.

Anwendungsfelder

Neben dem Einsatz eines Nd:YLuGG-basierten Systems im Rahmen von WALES lassen sich allgemein durch angepasste Laserkristalle anwendungsspezifische Wellenlängen adressieren. Dies verlangt jeweils eine präzise Analyse der Kristalleigenschaften sowie ein angepasstes Design des Lasers.

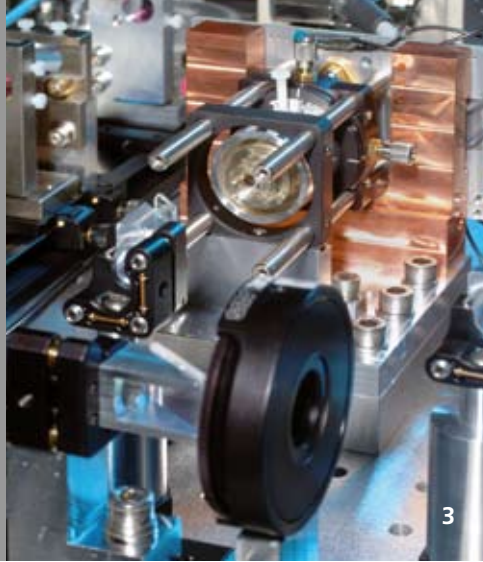
Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

1 Nd:YGG-Kristallboule.

2 Nd:YGG-INNOSLAB-Verstärker.



LEISTUNGSSKALIERUNG EINES DIODENGESSEEDETEN REGENERATIVEN VERSTÄR- KERS MIT EINSTELLBARER PULSDAUER

Aufgabenstellung

Zum Aufbau einer Laserplasmaquelle zur Erzeugung von XUV-Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 2,3 nm und 4,4 nm (Wasserfenster) sind Laserpulse im sub-ns-Regime mit einer Energie > 100 mJ erforderlich. Im Rahmen eines Industrieprojekts soll ein in dem öffentlich geförderten Verbundprojekt L-TXM: Labor-Röntgenmikroskop (BMBF-Förderkennzeichen 13N8914) entwickelter Laser (100 mJ bei 1 kHz Pulswiederholrate) auf 150 mJ bei 2 kHz Pulswiederholrate skaliert werden. An dieser Stelle wird die Erzeugung und Vorverstärkung der zeitlich modulierbaren Laserpulse auf ca. 3 mJ Pulsenergie vorgestellt.

Vorgehensweise

Die benötigten Pulse werden mit einem laserdiodenbasierten optischen Pulsgenerator erzeugt und mit einem stabbasierten regenerativen Verstärker auf die erforderliche Pulsenergie verstärkt.

Pulsdauer, -form und -energie der Seeddiode sind über Gain- und Biasstrom sowie einen chipinternen Modulator mit einer karteikartengroßen elektrischen Schaltung variierbar. Um die mittlere Leistung von 6 W zu erreichen, wurden sowohl der Resonator als auch das aktive Medium des regenerativen Verstärkers an den neuen Arbeitspunkt angepasst.

Ergebnis

Mit dem auf Nd:YAG basierenden regenerativen Verstärker werden Pulsenergien $> 3,5$ mJ bei 2 kHz Pulswiederholrate und beugungsbegrenzter Strahlqualität erreicht. Die Pulsdauer ist zwischen 250 ps und 1,5 ns frei einstellbar.

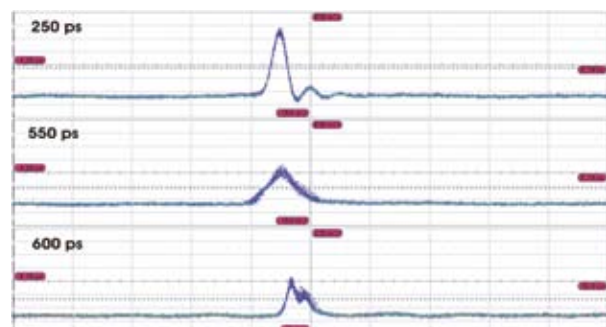
Anwendungsfelder

Mit dem diodengeseedeten regenerativen Verstärker eröffnet sich eine Vielzahl von weiteren Anwendungsmöglichkeiten in der Mikromaterialbearbeitung. Derzeit wird angestrebt, die untere Grenze der Pulsdauer auf < 100 ps zu verschieben.

Ansprechpartner

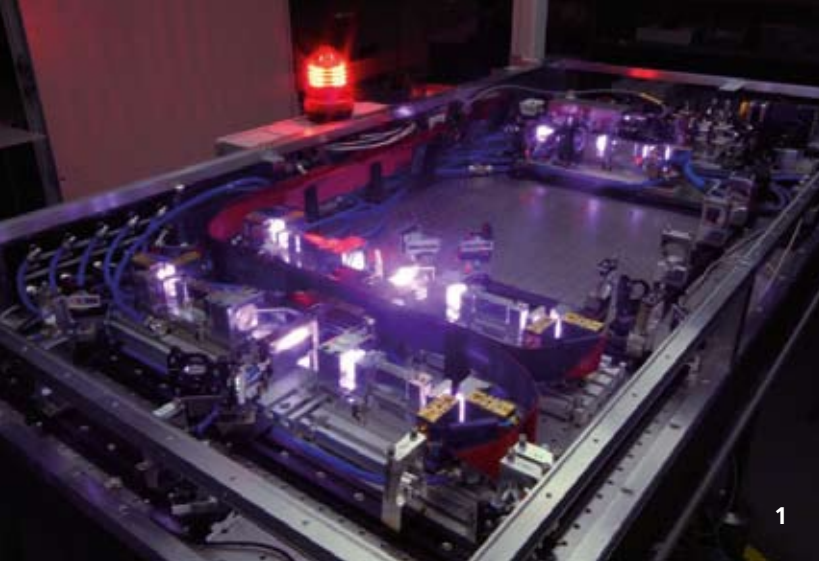
Dipl.-Phys. Dominik Esser
Telefon +49 241 8906-437
dominik.esser@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



3 Elektrisch gepulste Laserdiode mit Strahlformungsoptik.

4 Pulsformen des diodengeseedeten regenerativen Verstärkers.



280 W INNOSLAB- VERSTÄRKER FÜR SUB-NS- LASERPULSE MIT MULTI 100 MW PULSLEISTUNG

Aufgabenstellung

Zum Aufbau einer Laserplasmaquelle zur Erzeugung von XUV-Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 2,3 nm und 4,4 nm (Wasserfenster) sind Laserpulse im sub-ns-Regime mit einer Energie > 100 mJ erforderlich. Im Rahmen eines Industrieprojekts soll ein in dem öffentlich geförderten Verbundprojekt L-TXM: Labor-Röntgenmikroskop (BMBF-Förderkennzeichen 13N8914) entwickelter Laser mit 100 mJ bei 1 kHz Pulswiederholrate auf 150 mJ bei 2 kHz Pulswiederholrate skaliert werden.

Die mit einem diodengeseedeten regenerativen Verstärker erzeugten Seedpulse mit einer Energie < 3 mJ und einer variablen Dauer zwischen ca. 250 ps und 1,5 ns müssen dazu auf die angestrebten Energie- und Leistungswerte verstärkt werden. Die Anwendung erfordert eine Strahlqualität $M^2 < 4$.

Vorgehensweise

Die angestrebten Parameter können mit einer mehrstufigen Kette aus INNOSLAB-Verstärkern erreicht werden. Hinter einem Vor- und einem Leistungsverstärker werden die Pulse

per Polarisation auf zwei parallele Endverstärker aufgeteilt und danach per Polarisationsüberlagerung wieder zusammengeführt. Durch diese Intensitätshalbierung in den Endverstärkern werden nichtlineare Effekte und die Belastungen der optischen Flächen verringert.

Den Seedpulsen gehen zahlreiche Vorpulse mit einem Kontrastverhältnis zum Hauptpuls von $< 1:500$ voraus. Da die Vorpulse aufgrund der nichtlinearen Verstärkung überproportional verstärkt werden, wird ein zusätzlicher Pulspicker eingesetzt, um ein Kontrastverhältnis $> 300:1$ zu erreichen.

Ergebnis

Bei Pulslängen zwischen ca. 250 ps und 1,5 ns wird ohne Polarisationsüberlagerung mit einem Endverstärker eine Leistung > 240 W, mit zwei polarisations-überlagerten Endverstärkern eine Leistung > 280 W zuverlässig erreicht. Dies entspricht einer Pulsenergie von 140 mJ @ 2 kHz und einer Pulsleistung von > 400 MW. Das Kontrastverhältnis ist besser als 300:1. Die erreichte Strahlqualität ist: $M^2_y < 1,5$ und $M^2_x < 3,5$. Bei der Frequenzverdopplung eines Endverstärkers konnten Leistungen > 120 W @ 532 nm erreicht werden.

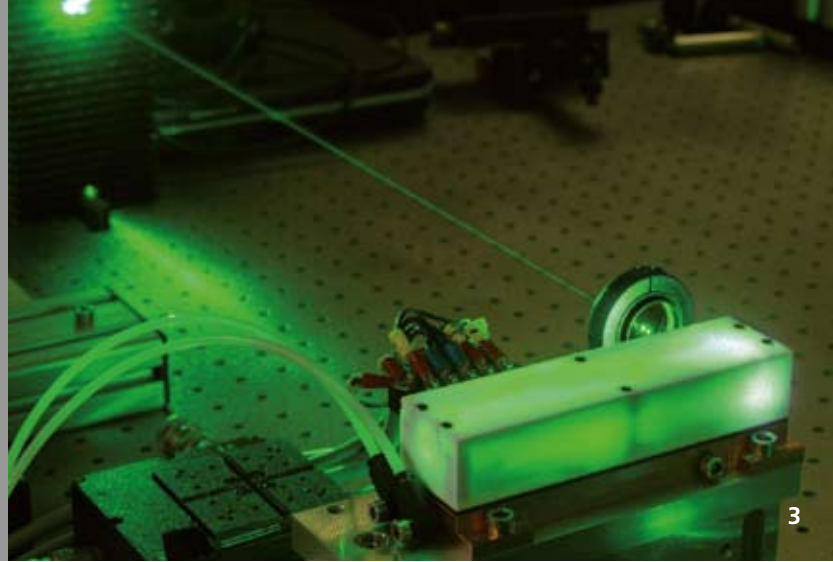
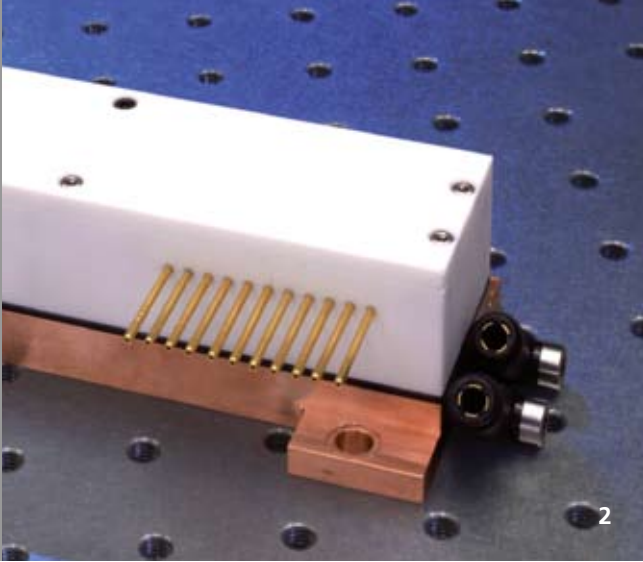
Parameter wie z. B. Leistung, Pulslänge und Pulsform sind komfortabel per Software einstellbar. Zwei vom Fraunhofer ILT gelieferte Laser werden derzeit von Kunden in Plasmaquellen für Röntgenmikroskope integriert.

Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

¹ Gepulster Hochleistungslaser mit regenerativem Verstärker im Hintergrund und INNOSLAB-Leistungsverstärker im Vordergrund.



DIODENLASER-MODUL MIT EMISSION IM GRÜNEN SPEKTRALBEREICH

Aufgabenstellung

Während es sowohl im roten Spektralbereich als auch im blauen Halbleitermaterialien gibt, die eine direkte Emission von Laserlicht ermöglichen, sind Laserdioden bei Wellenlängen um 532 nm derzeit nach wie vor nicht kommerziell erhältlich. Ein vielversprechender Ansatz zur Erschließung dieses Wellenlängenbereichs stellt die Frequenzverdoppelung von Diodenlasern im nahen Infrarot mit periodisch gepolten Kristallen dar.

Vorgehensweise

Mit numerischen Rechnungen wurde zunächst der Konversionsprozess simuliert. Unter Berücksichtigung von spektraler Bandbreite, Strahlqualität und thermischen Effekten wurden die optimalen Werte für Kristalllänge und Fokussierung ermittelt. Des Weiteren wurden Simulationen zur Temperaturverteilung im nichtlinearen Kristall durchgeführt, um eine hohe Temperaturstabilität sowie -homogenität zu erreichen. Aufbauend auf den Ergebnissen der numerischen Simulation wurde ein entsprechendes Design der Abbildungsoptik und des mechanischen Aufbaus entwickelt.

Ergebnis

Als Laserquelle standen DFB-Laserdioden zur Verfügung. Diese Laserdioden bestehen aus einem Ridge-Waveguide mit passiver DBR Sektion und einem getaperten Verstärker. Dadurch wird eine hohe Ausgangsleistung bei nahezu beugungsbegrenzter Strahlqualität und geringer spektraler Bandbreite ($< 0,02 \text{ nm}$) erreicht. Der PPLN-Kristall kann im Kristallofen bis auf $0,01 \text{ }^{\circ}\text{C}$ genau und zeitlich konstant temperiert werden. Die Phasenanpassungstemperatur liegt bei $81 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Bei einer Eingangsleistung von $3,8 \text{ W}$ bei 1064 nm wurde eine Ausgangsleistung von mehr als 500 mW erreicht. Dies entspricht einer Konversionseffizienz von mehr als 13 Prozent bzw. $3,6 \text{ Prozent/W}$. Die Strahlqualität ist auch hinter der Konversionsstufe mit $M^2 = 1.3$ in slow- und fast-Richtung nahezu beugungsbegrenzt. Die Leistungsschwankungen liegen auch über Stunden weit unter einem Prozent.

Anwendungsfelder

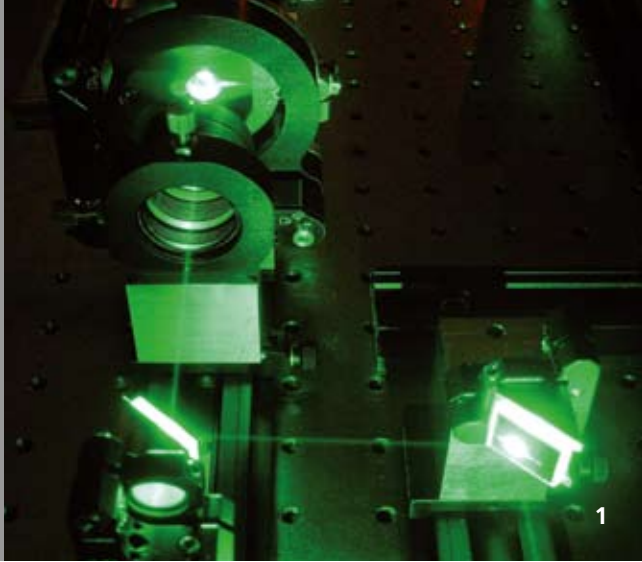
Die Verwendung von Lasern als Lichtquellen in der Displaytechnik eröffnet neue Möglichkeiten hinsichtlich Brillanz und Kontrast der Bilder sowie effizienter und kompakter Projektoren.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Jochen Wueppen
Telefon +49 241 8906-303
jochen.wueppen@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

*2,3 Kompaktes Diodenlaser-Modul
für den grünen Spektralbereich.*



FREQUENZ-VERDOPPLUNG VON LASERSTRAHLUNG GROSSER SPEKTRALER BANDBREITE

Aufgabenstellung

Im Rahmen des Projekts »Komponenten für gepulste Faserlaser mit erweitertem zeitlichen und spektralen Parameterbereich« wird am Fraunhofer ILT die Frequenzkonversion gepulster Faserlaser untersucht (BMBF-Förderkennzeichen 13N9671). Ein Hauptziel der Untersuchung ist die Realisierung größtmöglicher Konversionseffizienz beim Einsatz von Faserlasern mit großer spektraler Bandbreite.

Vorgehensweise

Für die experimentellen Untersuchungen wird ein dreistufiger Faserlaser-MOPA verwendet. Das am Fraunhofer ILT entwickelte Labormuster liefert im Grundmodebetrieb linear polarisierte Strahlung mit einer mittleren Ausgangsleistung von 10 W bei 100 kHz bzw. 100 W bei 1 MHz. Die Pulsdauer beträgt 800 ps. Die spektrale Emissionscharakteristik zeigt eine nahezu lorentzförmige Verteilung. Durch Variation der Pumpleistung des Faserlasers kann die Bandbreite der Strahlung gezielt zwischen 2 nm und 6 nm eingestellt werden. Die Untersuchungen zur Frequenzverdopplung werden mit LBO als nichtlinearem Medium durchgeführt.

Ergebnis

Alle Ergebnisse werden mit moderater Belastung der nichtlinearen Kristalle, d. h. mit Intensitäten kleiner 150 MW/cm^2 erzielt. Ohne Kompensation der spektralen Phasenfehlanpassung wird bei einer Eingangsleistung von 1 W, einer Wiederholrate von 100 kHz, einer Bandbreite von 2,2 nm und optimaler Fokussierung eine Konversionseffizienz von 19 Prozent erreicht. Die Effizienz sinkt mit zunehmender Bandbreite und liegt bei 5,8 nm unter 10 Prozent. Mit einer neu entwickelten Kompensationsoptik kann die Effizienz bei 5 W Eingangsleistung und 4,4 nm Bandbreite von 15 Prozent auf 45 Prozent gesteigert werden. Bei einer Skalierung zu größeren Wiederholraten bleibt die Konversionseffizienz konstant. Im Betrieb bei 1 MHz und einer Eingangsleistung von 60 W werden 27 W Ausgangsleistung bei 532 nm erreicht.

Anwendungsfelder

Die effiziente Frequenzkonversion in den grünen Spektralbereich erschließt gepulsten Faserlasern neue Einsatzgebiete bei Beschriftungs- oder Markieranwendungen.

Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

1 Laboraufbau eines breitbandig konvertierenden
Moduls für die Frequenzverdopplung.



HOCHLEISTUNGS-ULTRA-KURZPULSSTRAHLQUELLE BEI 515 NM

Aufgabenstellung

Für die Mikromaterialbearbeitung sind Ultrakurzpulslaser das Werkzeug der Wahl, weil sie eine effiziente Bearbeitung bei gleichzeitig minimiertem Wärmeeintrag ermöglichen. Die Wellenlänge von 515 nm ermöglicht darüber hinaus im Vergleich zum Infraroten eine bessere Fokussierbarkeit des Strahls. Bislang waren derartige Strahlquellen nur mit Ausgangsleistungen im Bereich von ca. 20 W verfügbar. Um den Durchsatz in der Materialbearbeitung zu erhöhen, werden Strahlquellen hoher Brillanz, Pulsenergie und Repetitionsrate benötigt, die hier erstmals realisiert wurden.

Vorgehensweise

Die Strahlung eines auf INNOSLAB-Technologie basierenden, modengekoppelten Yb:YAG-MOPAs (Master Oscillator Power Amplifier) wird in einem LBO-Kristall frequenzverdoppelt. Der MOPA stellt bei 1030 nm eine mittlere Ausgangsleistung von 360 W zur Verfügung. Bei einer Repetitionsrate von 76 MHz und Pulsdauern von 680 fs beträgt die Strahlqualität $M^2 < 1,2/1,5$ in stabiler/instabiler Richtung. Zum Erreichen einer hohen Konversionseffizienz wird der Konversionsprozess unter Verwendung der gemessenen infraroten Strahlparameter numerisch simuliert. Insbesondere werden Gruppenlaufzeiteffekte und Auswirkungen der inhomogenen Kristallerwärmung von dem am Fraunhofer ILT entwickelten Softwarepaket berücksichtigt.

Ergebnis

Nach der Konversion wurde eine mittlere Leistung von 190 W bei 515 nm gemessen. Dies entspricht einer Pulsenergie von 2,5 μ J. Bei einer Konversionseffizienz von 53 Prozent wurde eine Strahlqualität von $M^2 = 1,19/1,24$ in stabiler/instabiler Richtung erzielt. Vergleiche zwischen numerischer Simulation und Experiment zeigen eine gute Übereinstimmung, wobei zur systematischen Trennung von thermischen Effekten, Gruppenlaufzeiteffekten und Auswirkungen von Materialfehlern weitere Experimente nötig sind.

Anwendungsfelder

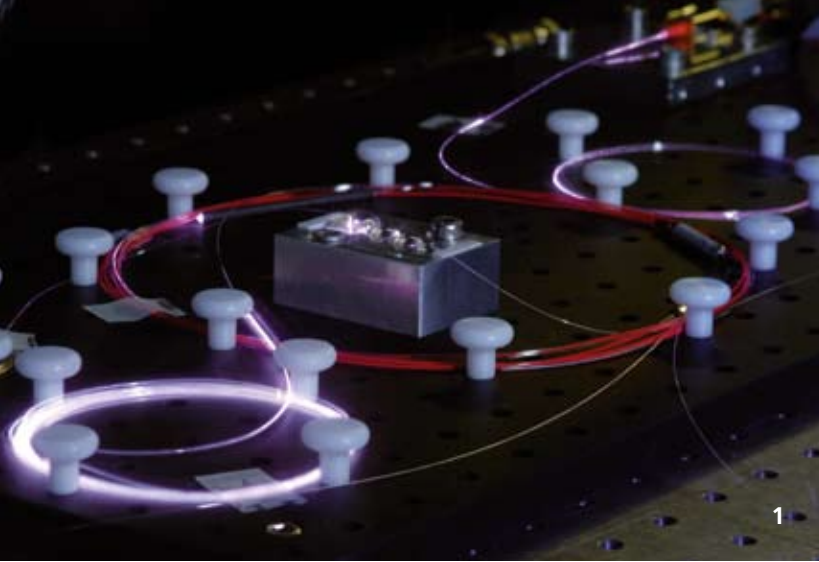
Potentielle Anwendungsbereiche der innovativen Strahlquelle umfassen den Einsatz im Bereich der Mikromaterialbearbeitung, die Dotierung von Silizium, das Schneiden von Kupfer sowie die Bearbeitung von Gläsern und Keramikwerkstoffen. Für den effizienten Einsatz in der Mikromaterialbearbeitung ist aufgrund der großen Pulsfrequenz die Entwicklung einer neuartigen schnellen Strahlablenkung erforderlich.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Bastian Gronloh
Telefon +49 241 8906-224
bastian.gronloh@ilt.fraunhofer.de

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



MONOLITHISCHER FASERVERSTÄRKER MIT VARIABLER PULSDAUER UND REPTITIONSRATE

Aufgabenstellung

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsprojekts FAZIT werden gepulste Faserverstärkersysteme in unterschiedlichen Pulsdauerregimen von einigen Pikosekunden bis hin zu Mikrosekunden untersucht. Dabei soll als Seedquelle für einen Hochleistungsfaserverstärker am Fraunhofer ILT ein vollständig faserintegrierter Vorverstärker mit Grundmode-Strahlqualität, einem guten Signal-zu-Rausch-Verhältnis und möglichst geringer Neigung zu stimulierter Raman-Streuung und stimulierter Brillouin-Streuung aufgebaut werden.

Vorgehensweise

Das Eingangssignal bei 1064 nm liefert eine gepulste Grundmode-Laserdiode, bei der Repetitionsrate und Pulsdauer über einen weiten Bereich frei einstellbar sind. Der monolithische Faserverstärker besteht aus einer 13 m langen, aktiven Grundmode-Faser und einem In-Fiber-Isolator und -Bandpassfilter zum Schutz der Signaldiode. Das Pumplicht wird über einen Multimode-Pump-Combiner in die aktive Faser gekoppelt.

Ergebnis

Mit dem oben beschriebenen Aufbau kann ein Signal mit einer variablen Pulsdauer zwischen 1 ns und 1000 ns und einer variablen Repetitionsrate zwischen 1 kHz und 500 kHz erzeugt und verstärkt werden. Die maximale Verstärkung von über 35 dB mit einem sehr guten Signal-zu-Rausch-Verhältnis von größer 20 dB wurde bei 2 ns und 500 kHz erreicht. Die maximale Spitzenleistung des Systems beträgt ca. 1 kW.

Anwendungsfelder

Der aufgebaute Faserverstärker soll als Vorverstärker für einen Hochleistungsverstärker genutzt werden. Durch den sehr flexiblen Bereich der Pulsdauer und Repetitionsrate sind die Anwendungen dieses Verstärkersystems sehr breit gefächert und reichen von der Materialbearbeitung über messtechnische Anwendungen bis hin zur Medizintechnik.

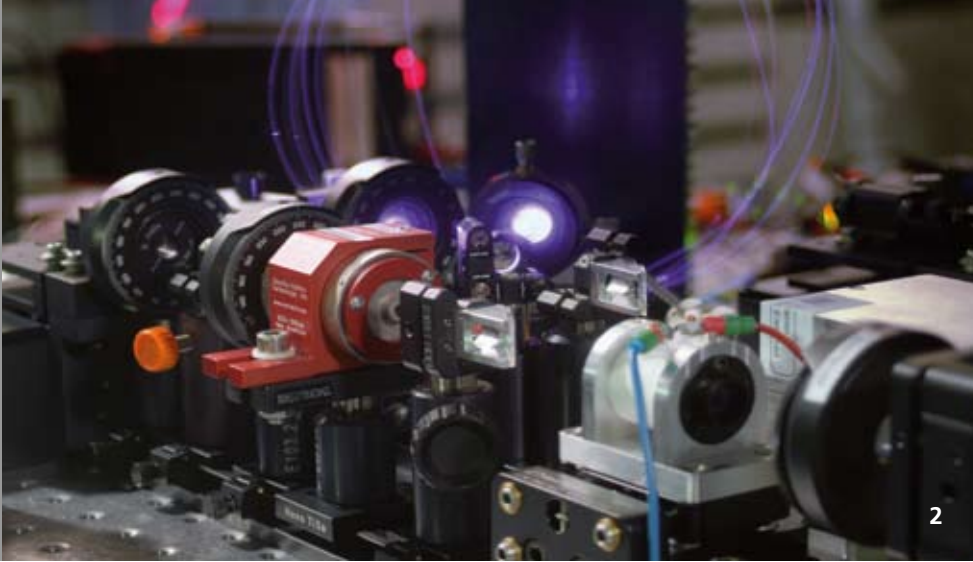
Diese Arbeiten wurden durch das BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N9671 gefördert.

Ansprechpartner

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

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



REGENERATIVER FASERVERSTÄRKER

Aufgabenstellung

Um die Ausgangsleistung gepulster Grundmode-Laserdioden zu verstärken und gleichzeitig deren hohe Strahlqualität zu erhalten, bieten sich faserverintegrierte Verstärkeraufbauten an. Herkömmliche lineare Faserverstärker besitzen jedoch den Nachteil, dass sie aus mehreren voneinander getrennten Verstärkerstufen aufgebaut werden müssen, um eine hohe Verstärkung zu erreichen. Dies treibt die Kosten und die Komplexität eines solchen Verstärkersystems nach oben. Diese Nachteile sollen durch den Aufbau eines regenerativen Faserverstärkers umgangen werden.

Vorgehensweise

Im Gegensatz zu linearen Faserverstärkersystemen besteht der regenerative Faserverstärker aus einer einzigen Verstärkerfaser, in der das eingekoppelte Signal in mehreren Umläufen hochverstärkt wird. Um die grundsätzliche Realisierbarkeit des regenerativen Faserverstärkers im Hinblick auf die zu erwartende Verstärkung und die Entwicklung der verstärkten spontanen Emission (=ASE) zu untersuchen, soll das System in analytischen Rechnungen modelliert werden. Auch das Auftreten nichtlinearer Effekte soll hierbei berücksichtigt werden. Ein Demonstrator/Prototyp soll aufgebaut werden, um die Ergebnisse der Berechnungen zu verifizieren.

Ergebnis

Das gepulste Signal einer Grundmode-Laserdiode mit variabler Repetitionsrate und Pulsdauer wurde in einer polarisations-erhaltenden Ytterbium-dotierten Faser verstärkt. Mit einer Kombination aus Pockelszelle und Faraday-Rotator wird die Ein- und Auskopplung in die Verstärkerfaser gesteuert, so dass die Anzahl der Umläufe variiert werden kann. Eine Verstärkung in der Größenordnung von 50 dB bei Pulsdauern von 1 – 15 ns und einer Pulsenergie von ca. 35 μ J konnte demonstriert werden. Entsprechend liegt die Spitzenleistung im kW-Bereich. Die erwartete erhebliche Verringerung der ASE bei Pulsrepetitionsraten unter 20 kHz gegenüber linearen Verstärkern und damit die wirksame Vermeidung eines cw Untergrundes wurde experimentell nachgewiesen.

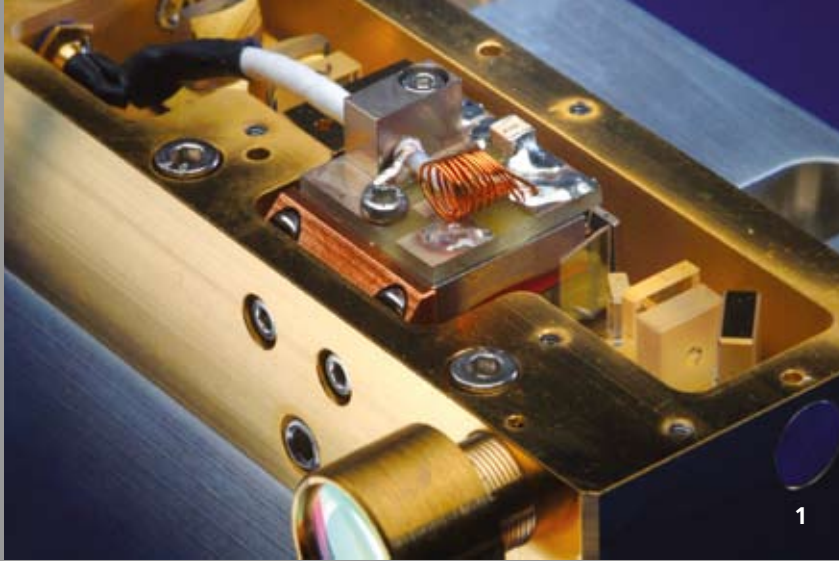
Anwendungsfelder

Gepulste Faserlaser finden dort Anwendung, wo Strahlung mit höchster Strahlqualität erforderlich ist, wie beim Beschriften, Markieren und in der Mikromaterialbearbeitung. Durch die Erweiterung des Pulsrepetitionsratenbereichs auf Frequenzen unter 20 kHz bis hin zum Einzelschussbetrieb erschließt sich der Faserlaser weitere Anwendungsfelder in der Materialbearbeitung, der Messtechnik und der Medizintechnik.

Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffman
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



MICRO LASER - BESCHRIFTER IM MINIATURFORMAT

Aufgabenstellung

Kompakte und kostengünstige Laser zum Beschriften weisen ein großes industrielles Anwendungsfeld auf. Dabei bestehen durchaus individuelle Anforderungen an die Eigenschaften und damit die Herstellung eines Lasersystems. Neue, automatisierbare Aufbau- und Montageverfahren für optische Komponenten sind erforderlich, um dieses Potential ausschöpfen und preisgünstige Systeme nach Maß anbieten zu können.

Vorgehensweise

Das entwickelte Konzept einer Planarmontage gestattet es, optische Komponenten mittels Löt- und Klebetechniken robotergesteuert mit Genauigkeiten von wenigen Mikrometern auf einem Substrat zu montieren. Hierzu sind eigene Fügetechnologien und ein für diese Art der Montage geeignetes Design entwickelt worden.

Ergebnis

Basierend auf der am Fraunhofer ILT entwickelten planaren Aufbautechnik auf einem Keramiksubstrat ist ein System aufgebaut worden, das gänzlich ohne mechanische Halter und Verstelleinrichtungen auskommt. Die optischen Komponenten werden aufgelötet oder aufgeklebt. Ein funktionsfähiger

Prototyp konnte der Öffentlichkeit auf der Laser Messe 2009 in München präsentiert werden. Das vorgestellte System liefert 1,5 W mittlere Ausgangsleistung und ist akustooptisch gütegeschaltet mit Pulslängen von 10 ns. Ein elektrooptisch gütegeschaltetes System befindet sich in der Entwicklungsphase.

Anwendungsfelder

Die planare Aufbautechnik erlaubt es, äußerst kompakte optische Systeme mit hohen Anforderungen an Präzision und Genauigkeit aufzubauen. Die Technologie ist flexibel anwendbar und gestattet den zeitnahen Aufbau von Prototypen. Die vorgestellten Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« gefördert.

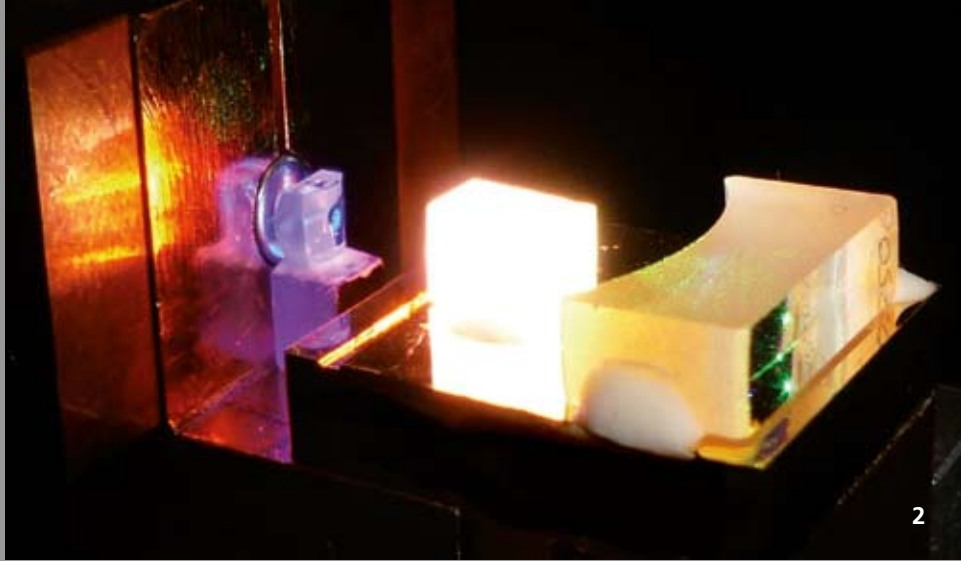
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Max Funck
Telefon +49 241 8906-351
max.funck@ilt.fraunhofer.de

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906 206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

1 Prototyp MicroLaser,
Abmessungen 90 x 35 x 30 mm³.



MONTAGEANLAGE ZUM SUKZESSIVEN AUFBAU EINES MINIATURISIERTEN GRÜNEN LASERS

Aufgabenstellung

Im Bereich digitaler Projektoren lassen sich durch die kleinere Bauform und höhere Energieeffizienz von Lasern gegenüber den gängigen Entladungslampen vollkommen neue Anwendungsfelder, wie z. B. tragbare Mikro-Projektoren, erschließen und damit das Marktvolumen deutlich vergrößern. Die Schlüsselkomponenten für ein solches RGB-Lasermodul sind ein hochintegrierter effizienter grüner Laser und ein Montagekonzept, das tauglich für die Massenproduktion ist. Neben der Einhaltung der engen Toleranzbereiche und dem begrenzten Bauraum stellt die Umsetzung eines wirtschaftlichen Justagekonzepts eine zentrale Aufgabe dar.

Vorgehensweise

Das gewählte Konzept sieht einen mit einer blauen Laserdiode gepumpten Pr:YLF-Laser vor, der aus den vier Komponenten Laserdiode, Mikrooptik, Laserkristall und Auskoppelspiegel besteht. Die Komponenten werden nacheinander justiert und mittels eines schrumpfarmen UV-Klebstoffs gefügt. Durch die sukzessive Montage ist nur eine einzige Justageeinheit mit sechs Freiheitsgraden nötig. Die Justage jeder Komponente basiert einzig auf einer online Strahlanalyse der aktiven Pumpdiode und ist somit bestens geeignet für eine spätere Automatisierung des Prozesses.

Ergebnis

Mit der am Fraunhofer ILT entwickelten Montageanlage wurde erfolgreich ein miniaturisierter grüner Laser mit einer Gesamtlänge von 20 mm aufgebaut.

Trotz des sukzessiven Aufbaus bietet das angewendete Montagekonzept eine Justagegenauigkeit, welche den Aufbau eines effizienten grünen Lasers mit ausreichender Leistung und bester Strahlqualität erlaubt.

Anwendungsfelder

Die aufgebaute Montageanlage dient mit ihren Freiheitsgraden und der hohen Genauigkeit als Grundlage für die Entwicklung automatisierter Montagekonzepte für die Fertigung im industriellen Maßstab.

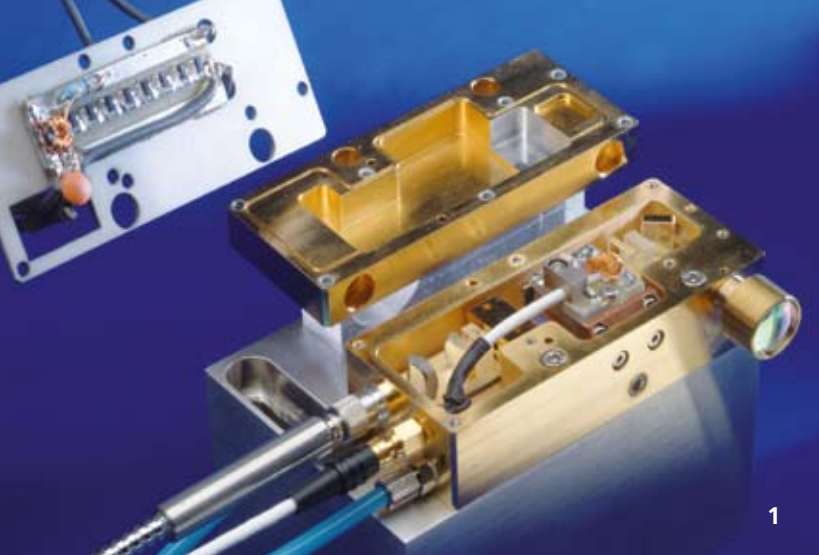
Ansprechpartner

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

Dipl.-Phys. Michael Strotkamp
Telefon +49 241 8906-132
michael.strotkamp@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

2 Mit der Montageanlage aufgebaute grüner Laser mit 20 mm Länge.



1



2

MINIATURISierter GÜTESCHALTER FÜR DIE PLANARMONTAGE

Aufgabenstellung

Die Herstellung von miniaturisierten Lasersystemen ist aktuell mit einem hohen Maß an manuellen Vorgängen bei der Montage verbunden. Im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« werden die Möglichkeiten untersucht, den damit verbundenen Wettbewerbsnachteil für Hochlohnländer durch selbstoptimierende Automatisierung des Montageprozesses zu kompensieren. Die Voraussetzung für die Automatisierbarkeit der Montage ist ein geeignetes Design des gesamten Lasers und seiner Einzelkomponenten.

Vorgehensweise

Schlüsselkonzept bei der Realisierung des Vorhabens ist das planare Laserdesign in Verbindung mit den entwickelten Fügeverfahren für eine langzeitstabile Oberflächenmontage. Um die Güteschaltung des planaren Lasers zu realisieren, ist die Entwicklung einer designangepassten Pockelszelle erforderlich. Die Anpassung der Kristallform an die linienförmige Strahlgeometrie trägt zur Miniaturisierung bei und hat eine deutliche Reduktion des Kristallvolumens sowie der zum Schalten erforderlichen Spannung zur Folge (Bild 2). Die zum Güteschalten erforderlichen Anstiegszeiten von wenigen

Nanosekunden bei Schaltspannungen um 2-3 kV führen zu der Forderung nach räumlicher Pockelszellennähe und damit nach Miniaturisierung beim Schalterdesign. Neben der Erfüllung dieser Forderung durch die extrem flache Bauweise trägt der in Durchbruchtechnik realisierte Hochspannungsschalter signifikant zur Kostenreduktion bei. Die Anordnung auf einer Keramikplatte ermöglicht zusätzlich zur elektrischen Isolation auch eine gute Wärmeableitung (Bild 1).

Ergebnis

Ein elektro-optischer Güteschalter, bestehend aus einer Pockelszelle und einem Hochspannungsschalter, für den Einsatz in einem automatisiert montierbaren Planarlaser wurde entwickelt. Der mit dem beschriebenen Konzept aufgebaute Miniaturbeschriftungslaser (Bild 1) ist auf der LASER 2009 in München der Öffentlichkeit vorgeführt worden.

Anwendungsfelder

Mit den im Projekt gewonnenen Erkenntnissen können in Zukunft geschlossene kundenspezifische Lösungen eines elektro-optischen Güteschalters realisiert werden. Die vorgestellten Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« gefördert.

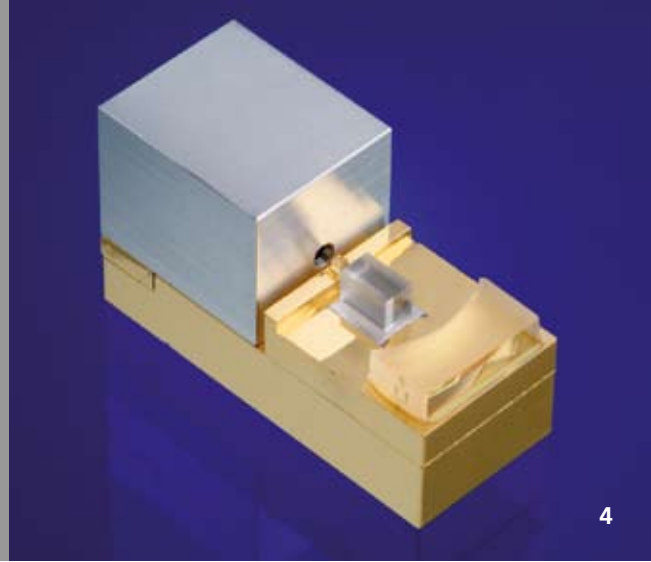
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Valentin Morasch
Telefon +49 241 8906-224
valentin.morasch@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

1 Miniaturbeschrifteter und Hochspannungsschalter.

2 Pockelszelle im planaren Design.



PRÜFUNG DER MECHANISCHEN FESTIGKEIT VON GELÖTETEN LASERKOMPONENTEN IM FALLTEST

Aufgabenstellung

Der Einsatz eines miniaturisierten Projektors in Mobiltelefonen erfordert unter anderem das Vorhandensein stabiler und kostengünstiger Laserquellen. Neben der optischen Auslegung müssen beim Design des Lasers die im späteren Einsatz auftretenden mechanischen Belastungen berücksichtigt und die Fügetechnologie darauf angepasst werden. Als Grundlage für die Prüfung der mechanischen Festigkeit dient die in ISO 9022-3 definierte Beanspruchungsart 33: »Frei Fallen«. Lösungsansatz am Fraunhofer ILT ist das Löten aller im Laser benötigten Komponenten auf einen Grundträger. Vor und nach dem Falltest werden die elektro-optischen Eigenschaften überprüft und verglichen. Diese dürfen keine nennenswerte Veränderung aufweisen.

Vorgehensweise

In ISO 9022-3 ist definiert, dass der zu prüfende Körper zweimal einen freien Fall aus 1 m Höhe auf eine Stahlunterlage unbeschadet überstehen muss. Zur Montage werden die Laserkomponenten passiv justiert und mittels Reflowlötung gefügt. Im Anschluss folgt der Einbau in den Prüfkörper. Dieser bietet für die Laserkomponenten einen Schutz für den Sekundäraufschlag, der den Test verfälschen könnte.

Ergebnis

Der Falltestaufbau vereinfacht die Durchführung der Prüfung gelöteter optischer Komponenten. Durch den Einsatz unterschiedlicher Prüfkörper können verschiedene Module innerhalb kurzer Zeit geprüft werden. Die gelöteten Laserkomponenten wie Spiegel, Kristall und Diode zeigen nach einer Vielzahl von Versuchen (> 50) im freien Fall keinerlei Ermüdungserscheinungen. Die mechanischen Verbindungen sind stabil und die optischen Eigenschaften weisen z. B. bei der Analyse der Polarisation keine Veränderung auf. Die so gefügten Komponenten sind für die Verwendung z. B. in Mobiltelefonen ausreichend geeignet.

Anwendungsfelder

Das Anwendungsfeld mittels Reflowlötung gefügter optischer Komponenten ist vielfältig. Neben dem möglichen Einsatz in einem Projektor für Mobiltelefone oder in anderen Konsumerprodukten müssen Laserkomponenten insbesondere bei Weltraumapplikationen ähnliche mechanische Stabilitäten aufweisen. Die durch den Falltest qualifizierten Lötungen decken somit ein weites Spektrum an Einsatzfeldern ab.

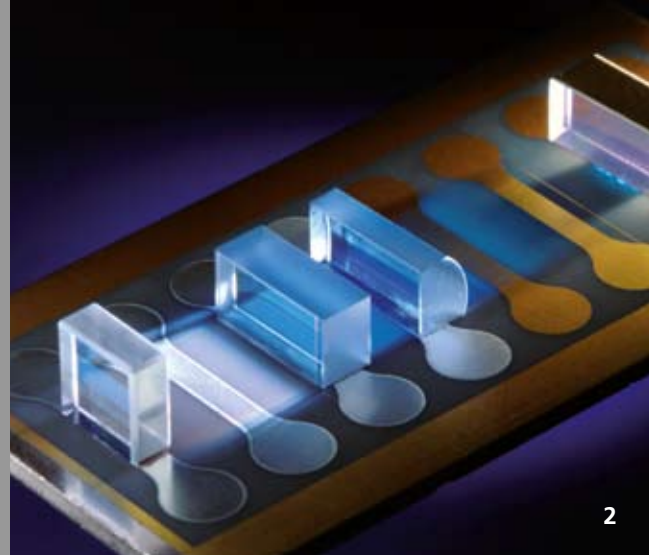
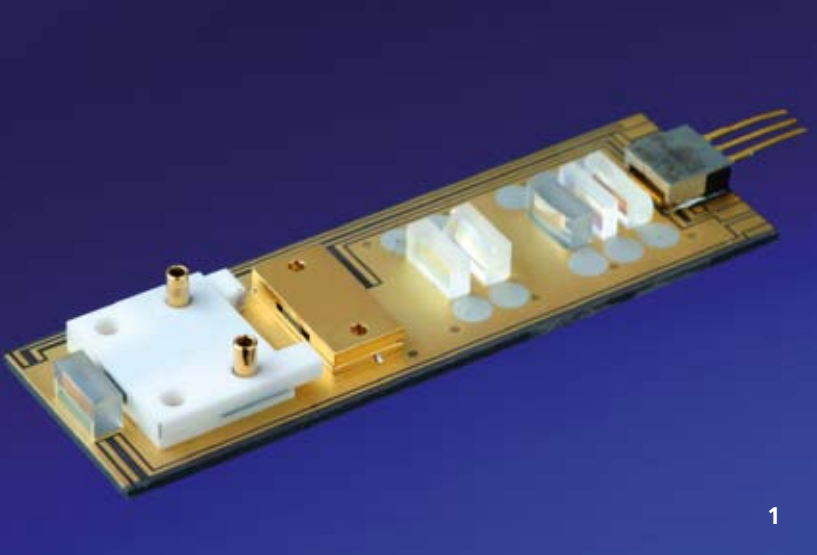
Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

3 Auf dem Fallkörper befestigtes
Lasermodul.

4 Laserdemonstrator mit Pumpoptik.



VERFAHRESENTWICKLUNG ZUM FÜGEN OPTISCHER KOMPONENTEN MITTELS LÖTTECHNIK

Aufgabenstellung

Löttechniken zum Fügen optischer Komponenten ermöglichen grundsätzlich eine kompakte, robuste und kontaminationsarme Befestigung optischer Komponenten. Insbesondere die Umgebungsbedingungen in Weltraumapplikationen mit hoher thermischer und mechanischer Belastung verlangen speziell angepasste Lötverfahren und abgestimmte Materialkombinationen. Die mittels Löttechnik gefügten Laseroptiken werden hinsichtlich Qualität und Reproduzierbarkeit untersucht. Weiterhin werden die angewendeten Lötverfahren hinsichtlich der Genauigkeitsanforderungen der optischen Komponenten kategorisiert und ausgelegt.

Vorgehensweise

Um optische Komponenten unterschiedlicher Eigenschaften zuverlässig zu löten, werden im Wesentlichen vier verschiedene Lötverfahren eingesetzt. Dazu wird das bereits am Fraunhofer ILT bestehende Widerstandslötverfahren weiterentwickelt und modifiziert. Zusätzliche Lötverfahren entstehen durch die Kombination vom Widerstandslötverfahren mit bewährten Reflowlöttechniken. Für stark wechselnde Temperaturbelastungen kommen ausdehnungsangepasste Materialien als Fügepartner zum Einsatz. Dabei müssen Werkstoffe

wie Quarz, Aluminiumnitrid und Invar ausschließlich mittels Löttechnik miteinander stoffschlüssig verbunden werden. Zur Gewährleistung stabiler und reproduzierbarer Lötverbindungen werden sowohl zerstörungsfreie als auch zerstörende Analyseverfahren wie mikroskopische Untersuchungen bzw. Schertests zur Untersuchung des Verbundsystems herangezogen.

Ergebnis

Die bereits bestehenden Lötverfahren wurden unter den Begriffen Reflowlöten, Widerstandslöten, Pick&Join und Pick&Align konkretisiert. In umfangreichen Untersuchungen von Festigkeit, Lotgeometrie, Schichtdicke und Metallisierungen der zu fügenden Flächen wurde das Widerstandslöten optimiert. Die hier erzielten Kenntnisse können auf die anderen Lötverfahren übertragen werden.

Anwendungsfelder

Mit den vorgestellten Lötverfahren können sowohl Strahlformungsoptiken als auch Resonatorspiegel sowie thermisch hoch belastete Laserkomponenten sukzessive aufgebaut werden.

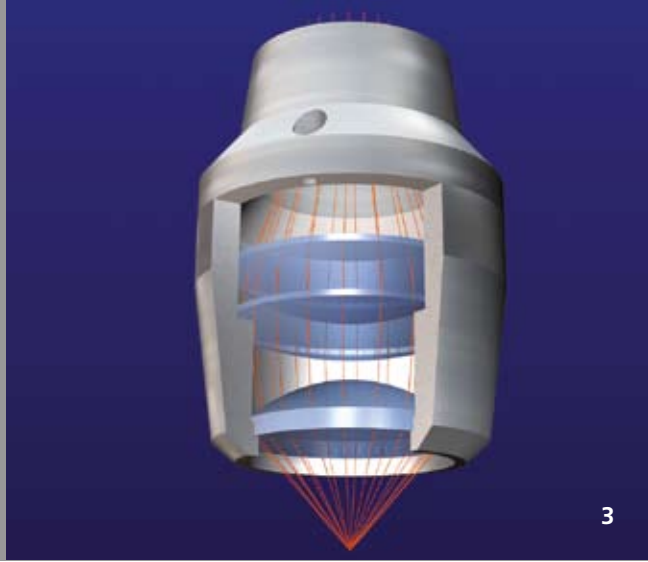
Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

1 Microslab.

2 Widerstandslötung.



TOLERANZANALYSE OPTISCHER SYSTEME

Aufgabenstellung

Anspruchsvolle optische Systeme erfordern eine eingehende Betrachtung der Auswirkungen von Toleranzen, um die Leistungsfähigkeit des Systems zu gewährleisten. Bei der kombinatorisch selektiven Montage von Systemen werden Einzelkomponenten passend zueinander ausgewählt und montiert, um die optimale Qualität zu erzielen. Dies muss in der Toleranzanalyse zur Bestimmung der Systemqualität berücksichtigt werden.

Vorgehensweise

Angelehnt an statistische Analysemethoden für montierte und justierte optische Systeme sollen Algorithmen entwickelt werden, die, basierend auf Ray-Tracing Simulationen, auch die Beurteilung der Toleranzauswirkungen bei Anwendung einer kombinatorisch selektiven Montage erlauben und den Qualitätsgewinn bewertbar machen.

Ergebnis

Es wurde ein Analysetool geschaffen, das eine einfache Definition von Baugruppen und Komponenten sowie Systemspezifikationen erlaubt. Integriert in die Designumgebung eines Ray-Tracing Programms können so Qualität und Ausbeute für beliebig große Serien berechnet und die Systemspezifikationen einzeln ausgewertet werden.

Anwendungsfelder

Analysiert werden können Auswirkungen von Toleranzen auf sämtliche Systemspezifikationen, sowohl für eine selektive als auch für eine klassische Montage. Damit lassen sich Komponententoleranzen für die klassische und selektive Montage vergeben und die sowohl kosten- als auch qualitätsoptimale Vorgehensweise auswählen.

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

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Max Funck
Telefon +49 241 8906-351
max.funck@ilt.fraunhofer.de

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



LASEROPTIK ZUM SICHEREN ENTSCHÄRFEN VON LANDMINEN

Aufgabenstellung

Landminen stellen in vielen Gebieten der Erde eine große Bedrohung für die Zivilbevölkerung und humanitäres Hilfspersonal dar. Häufig werden diese Minen massenhaft ausgebracht, so dass deren genaue Lage unbekannt ist. Somit ist das Räumen der Minen mit konventionellen Mitteln, das in der Regel von Hand erfolgt, extrem zeitaufwändig und gefährlich. Ziel des Gesamtvorhabens ist es daher, ein Räumsystem zu entwickeln, bei dem mit Hilfe eines fokussierten Laserstrahls die Mine aus sicherer Entfernung zum kontrollierten Abbrand gebracht werden soll. Bei dem Abbrand wird die Mine unschädlich gemacht, ohne dass eine unerwünschte Detonation auftritt. Die physikalisch-optischen Berechnungen zur Entwicklung der benötigten Laseroptik wurden am Fraunhofer ILT im Auftrag des LBBZ durchgeführt.

Vorgehensweise

Die Optik ist geeignet, den Laserstrahl mit einer Leistung von mehreren Kilowatt auf einen Durchmesser von einigen Millimetern bei einem Abstand bis zu 200 m zu fokussieren. Da bei diesen extremen Anforderungen eine Erwärmung der Linsen sowohl zu einer Brennweitenänderung als auch zu einer Zunahme unerwünschter Aberrationen führt, wurde

dieser Aspekt bei der Auslegung der Optik besonders berücksichtigt. So ist die Optik aus hochtransparentem Quarzglas gefertigt, und die verwendeten Entspiegelungen weisen eine äußerst geringe Absorption bei der Laserwellenlänge auf. Um eine laterale Feinpositionierung des Fokus zu ermöglichen, ist in die Optik ein Verstellelement integriert. Ein Kompensationselement erlaubt die schnelle und genaue Fokussierung des Laserstrahls.

Ergebnis

Die entwickelte Optik wurde am Laser Bearbeitungs- und Beratungszentrum (LBBZ) aufgebaut und charakterisiert. Bei einer Demonstration des Gesamtsystems im Zentrum für Sicherheits- und Katastrophenschutz konnte das System erfolgreich eingesetzt werden. Hierbei wurden aus einer Entfernung von 25 m Landminenattrappen zerstört.

Anwendungsfelder

Bei der mechanischen Konstruktion der Optikhalterung durch das LBBZ stand die Robustheit des Systems im Vordergrund. Damit ist es möglich, den Laser und die Optik auf ein geländegängiges Fahrzeug zu montieren, um auch in schwer erreichbaren Gebieten liegende Minen sicher zu entschärfen.

Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



FREIFORMOPTIKEN FÜR BELEUCHTUNGS- ANWENDUNGEN

Aufgabenstellung

Die LED entwickelt sich zu einer bedeutsamen Lichtquelle, die durch ihre kleine räumliche Ausdehnung eine gezielte Strahlformung erlaubt. Durch die besonderen Anforderungen an die zu erzeugende Intensitätsverteilung und den hohen optischen Wirkungsgrad verlässt man die Prinzipien des klassischen Optikdesigns und es müssen neue Konzepte zur Auslegung der zugehörigen Optik-Systeme entwickelt werden.

Vorgehensweise

Anstelle klassischer Linsen-Geometrien werden allgemein geformte brechende oder reflektierende Oberflächen (Freiformoptiken) verwendet. Die Oberflächenform wird mithilfe komplexer mathematischer Algorithmen ermittelt, die am Fraunhofer ILT entwickelt werden.

Ergebnis

Es wurden Optiken zur homogenen Ausleuchtung von quadratischen und rechteckigen Bereichen ausgelegt und in Simulationstools verifiziert. Anhand von Prototypen wurde ein experimenteller Funktionsnachweis durchgeführt.

Anwendungsfelder

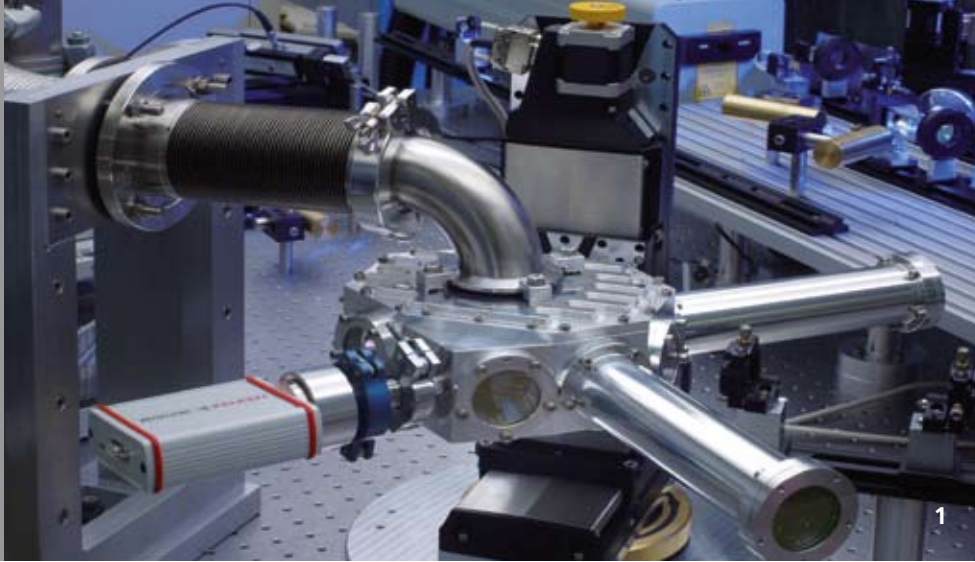
Nach Ansicht vieler Marktbeobachter werden LED-Beleuchtungslösungen wegen ihrer Kompaktheit, Modularität und den erwarteten Effizienzsteigerungen die bisherigen Lichtquellen in vielen Anwendungsbereichen ablösen, insbesondere in der Automobil- und Allgemeinbeleuchtung. Die vom Fraunhofer ILT betrachteten Anwendungsfelder sind insbesondere die Straßen- und Architekturbeleuchtung. Erste Arbeiten wurden zur Entwicklung von automobilen Beleuchtungssystemen durchgeführt.

Ansprechpartner

Axel Bäuerle, MSc
Telefon +49 241 8906-597
axel.baeuerle@ilt.fraunhofer.de

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

2 Prototyp einer Kombination
aus LED und Freiformoptik für
Beleuchtungsanwendungen.



MESSPLATZ ZUR BESTIMMUNG DER LASERINDUZIERTEN ZERSTÖRSCHWELLE OPTISCHER SCHICHTEN

Aufgabenstellung

Die Zerstörung optischer Komponenten durch Laserstrahlung begrenzt die Effizienz und Lebensdauer vieler Lasersysteme. Daher sind die laserinduzierten Zerstörschwellen (LIDT von engl. »laser-induced damage threshold«) optischer Schichten wesentliches Designkriterium für Lasersysteme. Aktuell werden für Beschichtungen in der Regel LIDT-Richtwerte für Standardbedingungen (Laboratmosphäre, 10 ns, 1064 nm, 10 Hz) genannt. Tatsächlich hängen die LIDT-Werte aber von den spezifischen Parametern der Laserquelle, den Umgebungsbedingungen und der Chargenqualität ab.

Vorgehensweise

Es wird ein Messplatz entwickelt, der mit der Norm ISO 11254-2 konform ist und bei dem die Umgebungsbedingungen für die Proben definierbar sind. Der Aufbau wird so gestaltet, dass er mobil und mit verschiedenen Testlasern kombinierbar ist.

Ergebnis

Ein Messplatz wurde aufgebaut und erfolgreich bei 1064 nm getestet, lässt sich aber für andere Wellenlängen anpassen. Die Proben befinden sich in einer Testkammer, die auf $p < 10^{-5}$ mbar evakuiert oder mit definierter Gasatmosphäre befüllt werden kann. Ein zentrales Steuerprogramm kontrolliert den Messplatz. Während der Messung erfolgen die Detektion einer Zerstörung und das Anfahren neuer Prüfpunkte auf der Probe automatisch, sodass nach einmaliger Einjustage der Probe die LIDT-Messung autark abläuft. Dadurch können ohne großen Aufwand für den Operator statistische Untersuchungen durchgeführt werden.

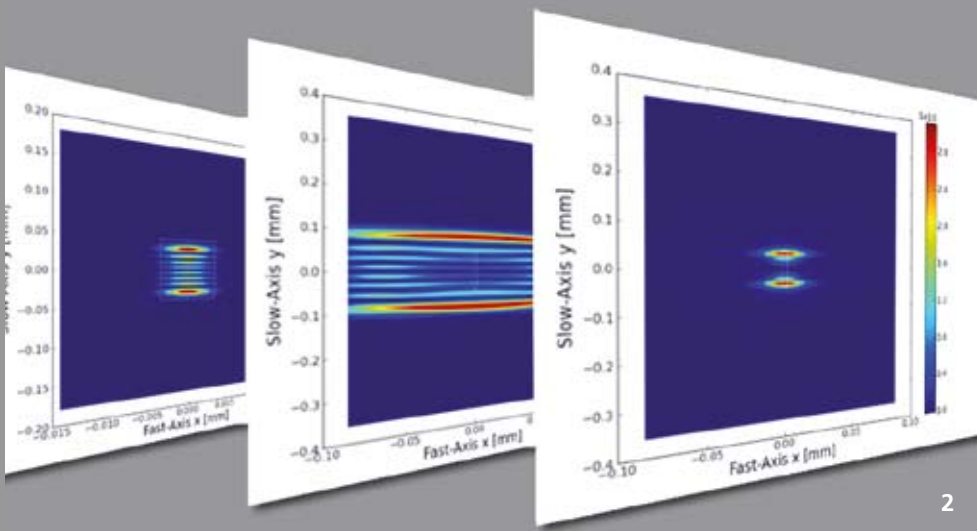
Anwendungsfelder

Zurzeit wird der Messplatz für die Komponentenqualifikation des BELA-Systems von Carl Zeiss Optronics für die BepiColombo-Mission zum Merkur eingesetzt. Weitere Anwendungsfelder liegen überall dort, wo die Zerstörung optischer Komponenten eine wesentliche Rolle spielt oder besondere Anforderungen an die Zuverlässigkeit eines optischen Systems bestehen - etwa bei Lasern für Luft- und Raumfahrtanwendungen. Außerdem können LIDT-Messungen an Laserquellen mit Parametern durchgeführt werden, für welche es derzeit noch keine LIDT-Werte gibt.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Ansgar Meissner
Telefon +49 241 8906-132
ansgar.meissner@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



2

SIMULATION UND ANALYSE HOLOGRAPHISCHER GITTER

Aufgabenstellung

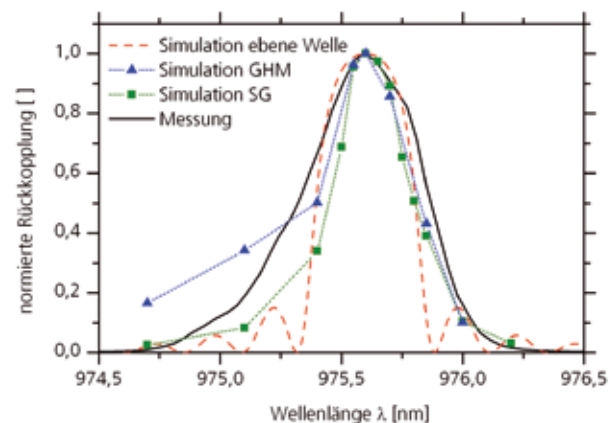
Holographische Gitter (auch Volumenbeugungsgitter genannt) ermöglichen insbesondere im Bereich der Diodenlaser vielseitige Anwendungen wie Leistungsskalierung durch inkohärente spektrale Überlagerung, Vergrößerung der Brillanz mittels Phasenkopplung mehrerer Strahlquellen und der Reduktion des Wellenlängenhubs durch Wellenlängenstabilisierung. Ein vielversprechendes Konzept zur Wellenlängenstabilisierung stellt die Integration der holographischen Gitter in mikrooptische Komponenten wie die zylindrischen Kollimationslinsen für Diodenlaser dar. Voraussetzung für die Auslegung und Optimierung dieser Komponenten ist die Berechnung der Beugung beliebiger Feldverteilungen.

Vorgehensweise

Die Simulation der Beugung divergenter Strahlung an den dispersiven Gittern wird durch Erweiterung der »Coupled-Mode Theory« durchgeführt. Das Modell wurde auf den dreidimensionalen Raum erweitert und um Grenzflächeneffekte, Polarisationsabhängigkeit und wellenoptische Propagation ergänzt.

Ergebnis

Erstmals konnte die asymmetrische spektrale Verteilung der wellenlängen- und winkelabhängigen Rückkopplung (s. Graph) und die Rückkoppelleffizienz hochdivergenter, an einem holographischen Gitter gebeugter Strahlung für



verschiedene Feldverteilungen berechnet und mit experimentellen Daten verglichen werden. Die Diodenlaserstrahlung wurde durch Gauß-Hermite-Moden (GHM) und Super-Gauß-Verteilungen (SG) modelliert.

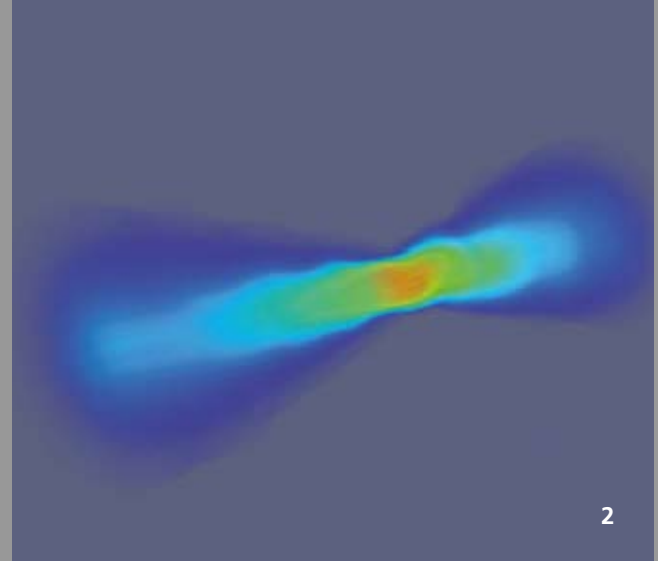
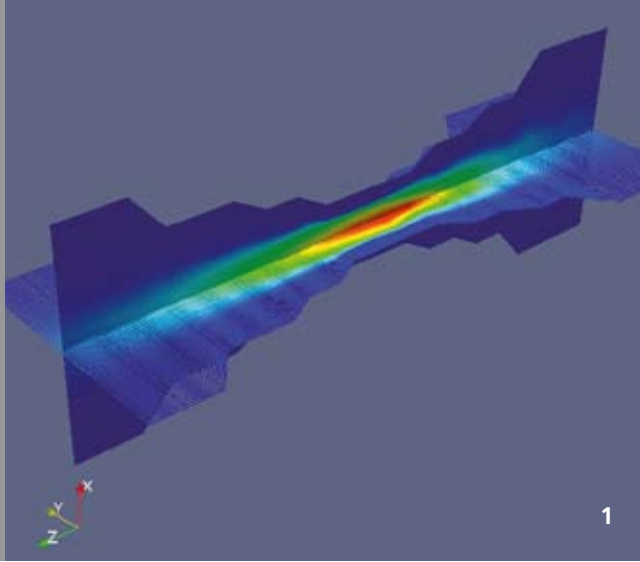
Anwendungsfelder

Die berechneten externen Resonatoren werden zur Auslegung der Wellenlängenstabilisierung von Diodenlasern und somit zur Effizienzsteigerung von Pumpapplikationen eingesetzt. Dichte Wellenlängenüberlagerung und Phasenkopplung zwischen Emittoren kann prinzipiell ebenfalls berechnet werden.

Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
 Telefon +49 241 8906-206
 hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



CHARAKTERISIERUNG VON LASERSTRAHLUNG - SIMULATION UND DIAGNOSE

Aufgabenstellung

Ein quantitativer Vergleich von Strahlverteilungen verschiedener Laserstrahlquellen bzw. verschiedener Maßnahmen zur Strahlformung ist mit verfügbaren Systemen zur Strahldiagnose bisher nicht möglich. Bisher werden die Strahlqualitäts-Kennzahl und die Intensitätsverteilung in ausgewählten Mess-Ebenen angegeben, die für verschiedene Messungen nicht unbedingt identisch sein müssen. Eine Erweiterung im Hinblick auf eine vergleichende Analyse und Aussagen zum Phasenfeld sind Gegenstand der Untersuchungen. Dazu sind die Auswertung der Messungen der Intensitätsverteilung aus mehreren Messebenen und die Anwendung von zusätzlichen Algorithmen wie z. B. der Radon-Transformation (Wigner-Funktion) notwendig.

Vorgehensweise

Ein erster Schritt in die Richtung eines quantitativen Vergleichs von zwei Laserstrahlen besteht darin, die Strahlverteilung kontinuierlich darstellen zu können. Außerdem sind Verfahren zur Zerlegung des Strahls nach Moden sinnvoll, um z. B. die aus strahlformenden Maßnahmen resultierenden Unterschiede im Strahl an globalen Maßzahlen erkennen und angeben zu können.

Ergebnis

Ein Visualisierungs-Tool (BeamViewer) wurde entwickelt, mit dem die Ergebnisse einer Strahldiagnose mit einem kommerziell verfügbaren Strahldiagnose-System drei-dimensional darstellbar sind. Das gleiche Tool wird auch dazu eingesetzt, die Simulationsergebnisse aus einer Berechnung einer kommerziellen Optik-Software darzustellen und somit mit der Strahldiagnose quantitativ zu vergleichen.

Des Weiteren werden Tools zur Zerlegung der Strahlverteilung nach Moden weiterentwickelt. Für eine Rekonstruktion der Strahlverteilung aus Messwerten ist wesentlich, dass mit der Strahldiagnose stets zeitliche Mittelwerte der Strahlung bestimmt werden. Neu an der Rekonstruktion ist der Ansatz, die Zerlegung partiell kohärent durchzuführen und damit eine zeitliche Dynamik des Strahls zu berücksichtigen.

Anwendungsfelder

Die Arbeiten finden ihre Anwendung bei der vergleichenden Analyse von Laserstrahlen z. B. zum Design bzw. Auslegung von Strahlformungsoptiken.

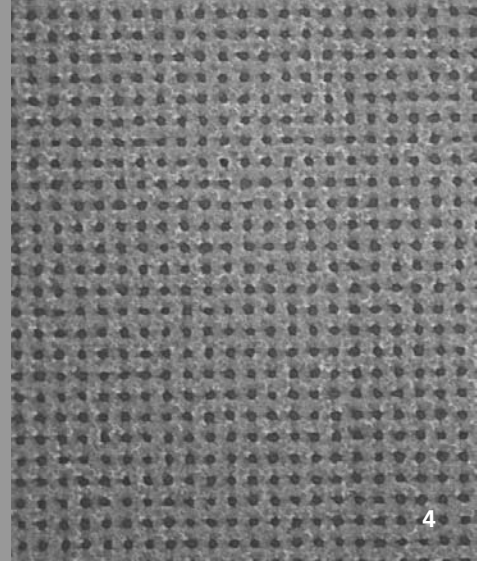
Ansprechpartner

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

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon +49 241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

1 Schnittebenen-Darstellung.

2 Volumen-Darstellung.



NANOSTRUKTURIERUNG MITTELS XUV-LITHOGRAPHIE

Aufgabenstellung

Für eine Reihe von Fragestellungen der zukünftigen Halbleiterelektronik und Sensorik besteht die Notwendigkeit, Bauelemente mit Strukturgrößen unterhalb von 10 nm in Kleinserien anfertigen zu können. Die aktuellen Arbeiten im Umfeld der EUV-Lithographie haben gezeigt, dass auf Basis von Interferenzlithographie bei einer Zentralwellenlänge um 13,5 nm Strukturen bis hinunter zu 12 nm geschrieben werden können. Die Zielsetzung dieses Projekts besteht in der Belichtung von Resists und der Strukturierung von Oberflächen auf Basis dieser vorhandenen Technologie mit dem Ausblick auf kompakte Geräte durch den Einsatz von Plasmastrahlungsquellen sowie im Zugang zu kleineren Strukturen durch die Verkleinerung der Wellenlänge und gegebenenfalls andere Verfahren der Lithographie.

Vorgehensweise

Als Strahlungsquellen werden im Fraunhofer ILT entwickelte Plasma-Entladungsquellen benutzt. Die Belichtung erfolgt mit Hilfe von diffraktiven optischen Elementen (Gittern), die mittels Elektronenstrahlolithographie hergestellt werden. Aufgrund der kleinen Strukturgrößen sind sehr geringe Abstände zwischen Gitter und Substrat erforderlich, die eine hohe Präzision der mechanischen Aufbauten erfordern. Außerdem wird die Anpassung, Auswahl und Charakterisierung geeigneter Resistmaterialien durchgeführt.

Ergebnis

Ein kompakter Laboraufbau basierend auf einer Gasentladungsquelle für Belichtungen von Wafern bis 2" Größe mit EUV-Strahlung ist realisiert worden. Dies ermöglicht die periodische Strukturierung von Proben mit hoher Auflösung und praktischer Belichtungsdauer. Eine neuartige hocheffiziente Transmissionsmasken-Technologie wurde entwickelt und realisiert.

Anwendungsfelder

Mit den Ergebnissen des Projekts können kompakte XUV-Belichtungsstationen für die Erzeugung von sub-10 nm Strukturen dimensioniert werden, die in verschiedenen Forschungsgebieten der Bio- und Halbleitertechnologie eingesetzt werden können.

Ansprechpartner

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

Prof. Peter Loosen
Telefon +49 241 8906-162
peter.loosen@ilt.fraunhofer.de

- 3 Kompakter Laboraufbau basierend auf einer Gasentladungsquelle für Belichtung der Wafer bis 2" Größe mit EUV-Strahlung.
- 4 Hergestellte hocheffiziente Transmissionsmaske für EUV-Lithographie mit sub-50 nm Strukturen.



ORTSAUFLÖSENDER DETEKTOR FÜR DAS EXTREME ULTRAVIOLETT

Aufgabenstellung

Der Spektralbereich des Extremen Ultraviolett und der weichen Röntgenstrahlung (1 - 40 nm) bietet vielfältige Möglichkeiten zur hochauflösenden Strukturierung (z. B. Mikrolithographie) und in der Messtechnik (z. B. Mikroskopie). Aufbau, Justage und Optimierung von Systemen für diesen Spektralbereich erfordern ortsauflösende Detektoren, die für Strahlungsflüsse im Beleuchtungsstrahlengang geeignet sind.

Vorgehensweise

Funktionsprinzip des Detektors ist die Konversion kurzweiliger Strahlung in sichtbares Licht durch einen Szintillatorkristall (Cer:YAG). Einfallende Strahlung wird von einer metallischen Beschichtung auf der Frontfläche des Kristalls auf den zu untersuchenden Spektralbereich eingegrenzt. Je nach Messaufgabe kommen einzelne absorbierende Schichten oder Mehrschichtsysteme zum Einsatz. Ein Teil der transmittierten Strahlungsenergie wird vom Szintillatorkristall proportional in sichtbares Licht umgewandelt. Durch optische Abbildung des Kristalls wird dieses Lumineszenzlicht auf einen CCD-Bildsensor transportiert. Messfeldgröße und laterales Auflösungsvermögen der Messanordnung sind durch den gewählten

Abbildungsmaßstab bestimmt. Aus dem Signal des Bildsensors wird die Intensität der einfallenden kurzweiligen Strahlung orts aufgelöst ermittelt.

Ergebnis

Die kurze Relaxationszeit des Szintillators erlaubt die Verwendung des Detektors an gepulsten Quellen mit Repetitionsraten von mehreren Kilohertz. Je nach Konfiguration wird ein laterales Auflösungsvermögen von 5 μm erreicht. Innerhalb des experimentell zugänglichen Dynamikbereichs ist das Ausgangssignal linear zur einfallenden kurzweiligen Strahlung mit einer Abweichung von 2 Prozent. Die Empfindlichkeit des Messfelds ist homogen mit einer Abweichung von ebenfalls 2 Prozent. Die realisierten Systeme sind kalibriert und werden für Absolutmessungen verwendet.

Anwendungsfelder

Der Detektor ist ausgelegt für die Einrichtung und Charakterisierung optischer Systeme bei Arbeitswellenlängen zwischen 1 nm und 40 nm. Anwendungsfelder neben Lithographiesystemen sind Mikroskope für kurzweilige Strahlung und Quelle-Kollektor Module für messtechnische Anwendungen wie z. B. Reflektometrie.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Markus Benk
Telefon +49 241 8906-302
markus.benk@ilt.fraunhofer.de

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

1 Ortsauflösender Detektor konfiguriert
zur Charakterisierung von Quelle-Kollektor
Modulen für die Lithographie bei 13,5 nm.

GESCHÄFTSFELD LASERFERTIGUNGS- VERFAHREN

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 Technologie-netzwerke 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.

LASERFERTIGUNGSVERFAHREN

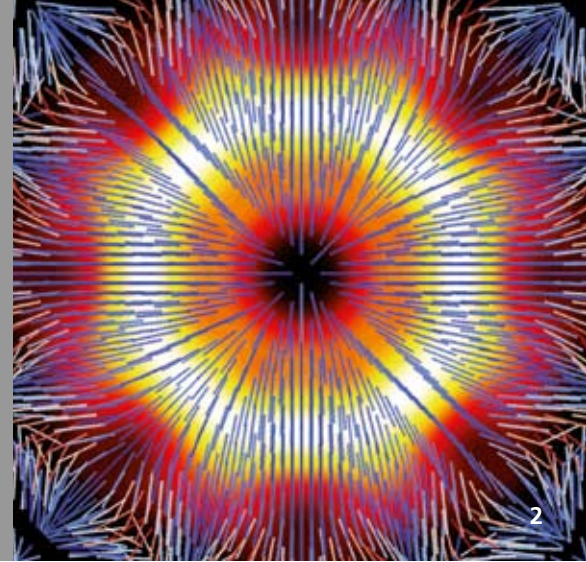
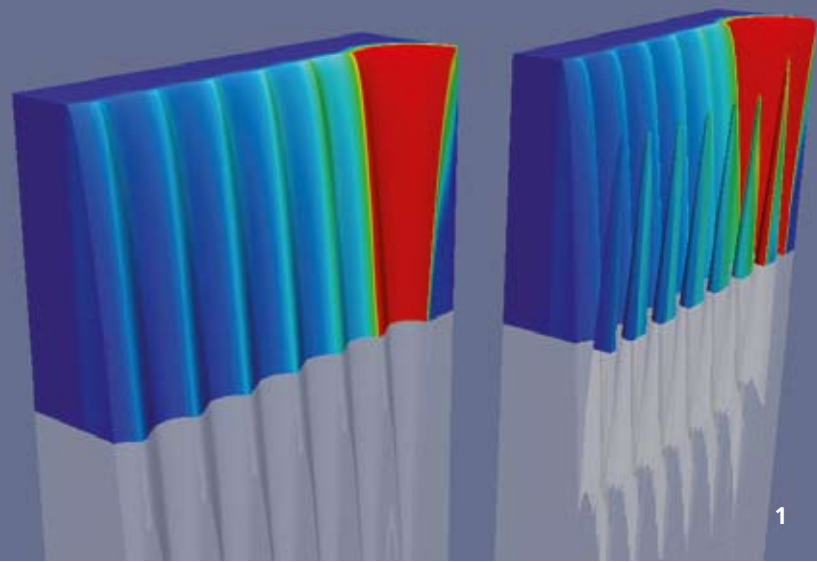


Bildunterschrift
Hier steht eine Bildunterschrift.

INHALT

Schneiden mit radialer Polarisation	64	Optische Eigenschaften von Polycarbonat	91
Diagnose und Prognose von Schneidprozessen mit CALCut	65	Laser-unterstütztes Heißprägen	92
Schlierendiagnose der Schneidgasströmung	66	Laserstrahl-Bohren von Instrumentation	
Gasströmung beim Schneiden	67	Holes in Leitschaufeln	93
Simulation und Diagnose Schneiden	68	Bohren von NIAL mittels Nanosekunden-Doppelpulsen	94
Riefenbildung beim Schneiden	69	Bohren von PMMA-Kugeln für Brustimplantate	95
Metamodellierung	70	Mikrobauteile aus Quarzglas durch selektives	
Tolerante Kombibearbeitung	71	laserinduziertes Ätzen	96
Laserstrahlschweißen von Nickelbasis Superlegierungen	72	Volumenwellenleiter in Gläsern und Kristallen	97
Hybrid-Schweißverfahren mit Scheibenlaser		Materialbearbeitung mit Fs-Laserstrahlung	
für den Schiffbau	73	großer mittlerer Leistung	98
Lokale Wärmebehandlung von hochfesten Stahlplatten	74	Herstellung von Graphen mittels ultrakurz	
Laserstrahl-Auftragschweißen mittels Zoom-Optik	75	gepulster Laserstrahlung	99
Steigerung der Auftragrate		Laserdotieren von Silizium für die Photovoltaik	100
für das Laserstrahl-Auftragschweißen	76	Großflächige Nanostrukturierung	101
Offline-Programmierung für das Laser-Auftragschweißen	77	Selektive Oberflächen-Funktionalisierung	
Verschleiß- und Oxidationsschutz von Y-TiAl-Legierungen		für gezieltes Zellwachstum	102
durch Laserstrahl-Auftragschweißen	78		
Herstellung neuer Hochleistungs-Zerspanwerkzeuge			
mit dem SLM-Verfahren	79		
Serienfertigung mittels High Power			
Selective Laser Melting - HP-SLM	80		
Optimierung von Werkzeugeinsätzen			
aus Kupferlegierungen	81		
Generative Fertigung in der Satellitentechnik	82		
Generative Fertigung von Kupferbauteilen	83		
Laserbasierte Erzeugung von metallischen Leiterbahnen	84		
Nanoschichten für den Verschleißschutz	85		
Selektives Laserpolieren	86		
Laserpolieren von Optiken aus Glas und Kunststoff	87		
Laserlöten für die flexible Kontaktierung			
von Kupferlackdrähten	88		
Laserstrahlschweißen von Kupferbauteilen	89		
Schweißen transparenter Kunststoffe ohne IR-Absorber	90		

*Laserstrahlbohren von Instrumentation
Holes in Leitschaufeln.*



SCHNEIDEN MIT RADIALER POLARISATION

Aufgabenstellung

Beim Schneiden mit Laserstrahlung ist der Polarisationszustand des Lichts wesentlich. Stand der Technik ist die Verwendung von zirkular polarisiertem Licht, um ein von der Schneidrichtung unabhängiges Schneidergebnis zu erzielen. Radial polarisiertes Licht erfüllt diese Anforderung ebenfalls, verspricht jedoch im Vergleich zur zirkularen Polarisation eine bis zu 100 Prozent größere Absorption und somit eine wesentlich verbesserte Schneideffizienz.

Vorgehensweise

Im Rahmen des InnoNet-Projekts KOMET (Kompakter Festkörperlaser für effizienten Materialabtrag mit radial polarisiertem Licht) haben sich Forschungsinstitute, Strahlquellenentwickler und Anwender zusammengeschlossen, um bis 2012 einen Festkörperlaser zu entwickeln, der radial polarisiertes Licht erzeugt und diesen unter Produktionsbedingungen zu erproben. Der angestrebte Prototyp soll eine Leistung von 30 W bei einer Wellenlänge von 1064 nm aufweisen.

Ergebnis

In einem ersten Schritt wurden externe Polarisatoren entwickelt, mit denen die Strahlung herkömmlicher Laser radial polarisiert werden kann. Mit diesen wird am Fraunhofer ILT das Schneiden mit radialer Polarisation unter Industriebedingungen erprobt.

Anwendungsfelder

Konkrete Anwendungen sind das Feinschneiden von Siliziumwafern und Stents aus Formgedächtnislegierungen. Von den Ergebnissen können mittelfristig viele weitere Laserfertigungsverfahren wie das Schneiden, Schweißen und Bohren mit Laserstrahlung profitieren.

Das Projekt KOMET wird vom BMWi mit rund 1 Millionen € gefördert.

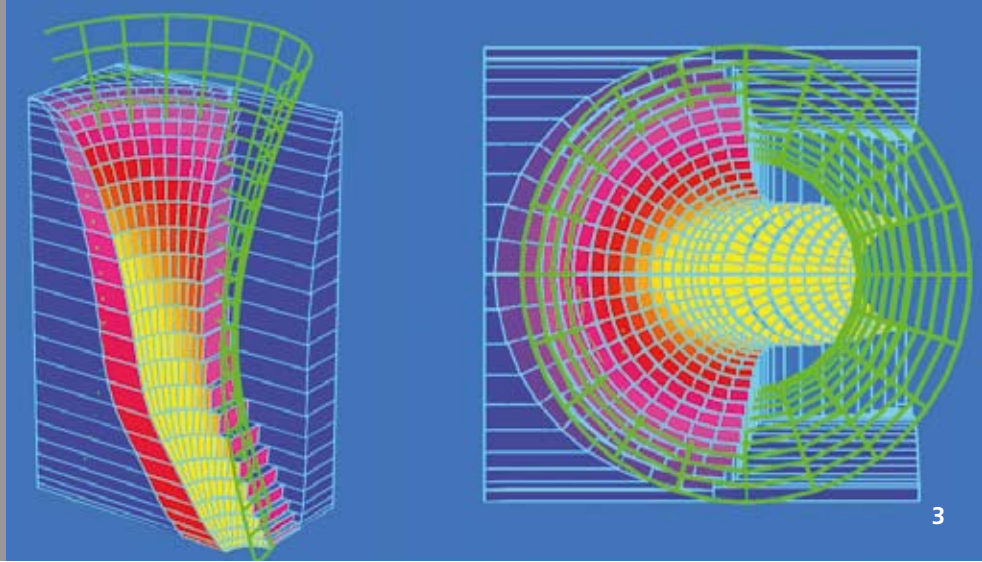
Ansprechpartner

Dr. Jens Schüttler
Telefon +49 241 8906-680
jens.schuettler@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon +49 241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

1 Simulation des Schneidens: zirkulare (links) und radiale Polarisation (rechts).

2 Simulation eines radial polarisierten Laserstrahls.



DIAGNOSE UND PROGNOSE VON SCHNEIDPROZESSEN MIT CALCUT

Aufgabenstellung

Der Markt für Laserschneidanlagen erlebt zurzeit eine dynamische Entwicklung. Inzwischen bieten nahezu alle Schneidmaschinenhersteller Systeme mit fasergekoppelten Laserquellen an. Im Dünnblechbereich ist der CO₂-Laser vielfach schon zweite Wahl. Beim Dickblechschneiden von Edelstählen bleibt er bisher jedoch unschlagbar. Nachhaltige Entwicklungsvorsprünge erfordern heute mehr als nur empirische Parametervariationen. Zur offline Diagnose und Prognose geeigneter Prozessregime nutzt das Fraunhofer ILT seit langem die wissensbasierte Simulationssoftware CALCut, um neue Prozesstechniken zu entwickeln und mit den Kunden erfolgreich umzusetzen.

Vorgehensweise

Der nach wie vor einzigartige Umfang der in CALCut berücksichtigten physikalischen Teilprozesse gestattet die Berechnung der dreidimensionalen stationären Schneidfrontgeometrie und der resultierenden Fugengeometrie unter Berücksichtigung von Werkstoff, Materialdicke, Laserwellenlänge, Strahlqualität, Strahlleistung und -verteilung, Polarisation, Rohstrahldurchmesser, Fokussieroptik, Brennweite, Fokusslage, Schneidgasart- und -druck sowie der Schneidgeschwindigkeit. CALCut identifiziert die räumliche Verteilung der absorbierten Laserleistungsdichte, der Temperatur, der Ausdehnung und Strömungsgeschwindigkeit des Schmelzfilms sowie der Abdampfraten und des Abdampfdrucks. Die maximale

Schneidgeschwindigkeit wird durch automatische Iteration ermittelt. Die Analyse der Schneidfrontgeometrie und der Verteilungsfunktionen gestattet zudem Rückschlüsse auf die erzielbare Schnittqualität.

Ergebnis

Die Bedeutung und Wirkung der Mehrfachreflexion beim Schneiden von Stahlwerkstoffen mit Scheiben- und Faserlasern wurden erstmalig durch CALCut-Rechnungen erkannt und erklärt. Die Möglichkeiten des Hochgeschwindigkeitsschneidens von Karosserieblechen mit 1µm-Lasern wurden mit CALCut prognostiziert und optimiert. Vergleichende Berechnungen des Remoteschneidprozesses zeigen dessen Grenzen in den aktuellen Parameterbereichen quantitativ auf. Die berechnete Schneidfrontprojektion in Richtung der optischen Achse liefert ausführliche Daten zur fundierten Auswertung ortsauflösender Prozesssensorik.

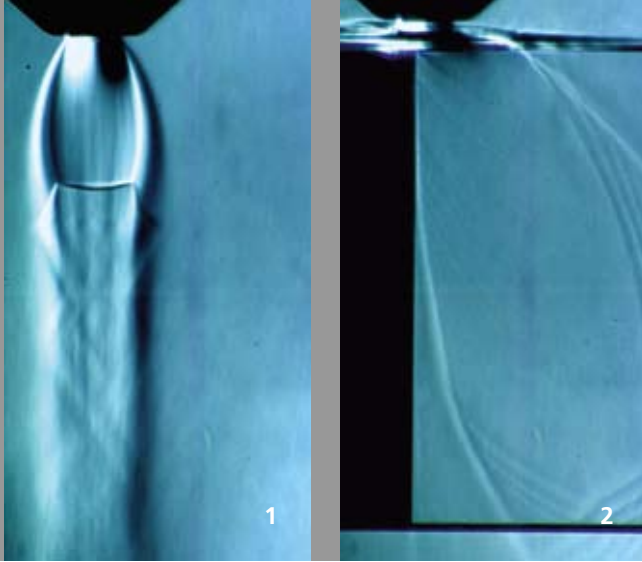
Anwendungsfelder

Wenn Fragen zur Effizienz, Robustheit und Qualität von Schneidprozessen mit neuen Strahlquellen, an neuen Werkstoffen oder in neuen Prozessregimen auftreten, liefert CALCut die physikalische Analyse zur Optimierung des Prozesses jenseits empirischer Erfahrungswerte.

Ansprechpartner

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

3 Schneidfront berechnet mit CALCut
(links), simulierter Blick durch den
Schneidkopf auf die Schneidfront (rechts).



SCHLIERENDIAGNOSE DER SCHNEIDGASSTRÖMUNG

Aufgabenstellung

Die Schneidgasströmung hat beim Laserstrahlschneiden einen entscheidenden Einfluss auf die Schnittqualität und die erreichbare Schneidgeschwindigkeit. Für die Anpassung der Strömung an die zu schneidende Materialart und -dicke, an die Schneidgeschwindigkeit und weitere Verfahrensparameter wie die Laserleistung und die Fokussierbedingungen liegen umfangreiche empirische Daten zur optimalen Wahl von Düsendurchmesser, Düsenabstand zum Werkstück und Schneidgasdruck vor. Auch ist die in der Schnittfuge vorliegende Strömung durch Schlierendiagnose und Strömungssimulationen grundsätzlich bekannt. Strömungseffekte wie Grenzschichtablösungen in der Fuge können mit charakteristischen Strukturen auf der Schnittfläche korreliert werden. Hier soll die Schlierendiagnose eingesetzt werden, um systematisch Düsendesign und Schneidgasparameter für eine optimierte Schnittqualität beim Laserstrahlschmelzschneiden zu entwickeln. Dazu soll insbesondere der Einfluss der Strömungsdynamik auf die Schnittqualität analysiert werden.

Vorgehensweise

In einem schlierendiagnostischen Aufbau wird eine High-Speed Kamera zur Aufzeichnung der im Schlierenbild sichtbaren Dichtegradienten eingesetzt. Mit Aufnahmeraten bis zu 10.000 Bildern pro Sekunde können auch die dynamischen

Strömungsvorgänge beobachtet werden. Die Analyse der Strömung erfolgt sowohl anhand des Freistrahls als auch in Schnittfugenmodellen mit Wänden aus Glas, durch die eine Beobachtung der Strömung auch in der Schnittfuge erfolgen kann.

Ergebnis

Die Schlierendiagnose macht die Unterschiede der Strömungen verschiedener Düsentypen wie konischen und zylindrischen Düsen, Lavaldüsen oder Ringspaltdüsen (»Autonome Düsen«) sichtbar. Selbst der Einfluss von Details der Düsen, z. B. der Oberflächenqualität der Düseninnenflächen, die Auswirkungen von Fertigungstoleranzen oder Verschleiß an der Düsenmündung kann beobachtet werden.

Anwendungsfelder

Über das hier untersuchte Hochdruckschneiden mit Drücken bis 25 bar hinaus kann das schlierendiagnostische Verfahren für die Analyse und Optimierung praktisch aller Prozessgasströmungen, auch mit geringen Drücken bzw. Durchflüssen, eingesetzt werden. Beispiele sind die Düsenströmungen beim Brennschneiden und Bohren sowie die Schutzgasströmung und Crossjets beim Schweißen.

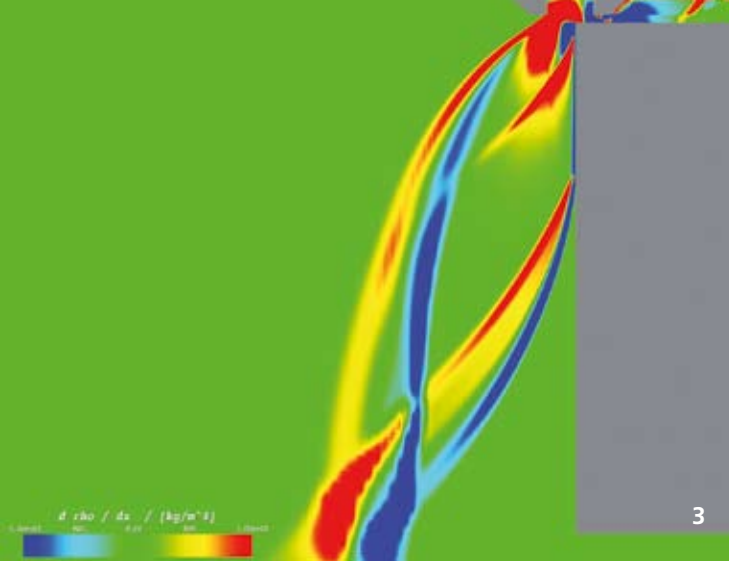
Ansprechpartner

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

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

1 Freistrahlsströmung einer Schneiddüse.

2 Schneidgasströmung im Schnittspaltmodell.



GASSTRÖMUNG BEIM SCHNEIDEN

Aufgabenstellung

Ungeachtet der bereits erreichten technischen Erfolge wird dem Laserschneiden ein großes, noch ungenutztes Potenzial zugeschrieben. Die Wechselwirkung der Schneidgasströmung mit der Metallschmelze ist von besonderer Bedeutung für die Qualität des Schneidens. Insbesondere der Zusammenhang zwischen Düsenparametern und Schnittqualität wird analysiert, um eine Optimierung der Schneidgasströmung durchzuführen.

Vorgehensweise

Zur Analyse werden zeitaufgelöste Schlierendiagnose und numerische Simulationen eingesetzt. Zur experimentellen Analyse der Gasströmung werden Modelle von Schneidfugen aus Glas verwendet. Die Dichtegradienten der Überschallströmung in den Schneidfugen werden mit numerischen Simulationen verglichen. Die numerische Lösung der Navier-Stokes Gleichungen ermöglicht die Berechnung von Strömungsgrößen, die für das Schneiden wesentlich sind: Massenstrom, Geschwindigkeit, Druck und Temperatur des Gases in der Schneidfuge sowie Gasdruck und Scherspannung entlang der Schneidfront.

Ergebnis

Insbesondere die Rückwirkung der Staupunktströmung in die Gasdüse, die Expansion in die Schneidfuge und eine mögliche Ablösung der Gasströmung von der Schneidfront weisen eine sensitive Abhängigkeit von den einstellbaren Parametern der

Gasströmung (Düsensdesign, Justage, Gasdruck, etc.) auf. Ein Vergleich von Simulationsergebnissen mit Schlierenaufnahmen zeigt, dass die Strömungsberechnungen wesentliche Eigenschaften richtig erfassen. Um zusätzlich den Einfluss thermischer Grenzschichten entlang der Schneidfront und die Auswirkung einer dynamischen Rückwirkung in die Gasdüse mit vertretbarem Zeitaufwand berechnen zu können, werden moderne effiziente numerische Verfahren implementiert (Discontinuous Galerkin Verfahren) und die Nutzung neuartiger massiv paralleler Rechnerarchitekturen (GPU's) vorbereitet.

Anwendungsfelder

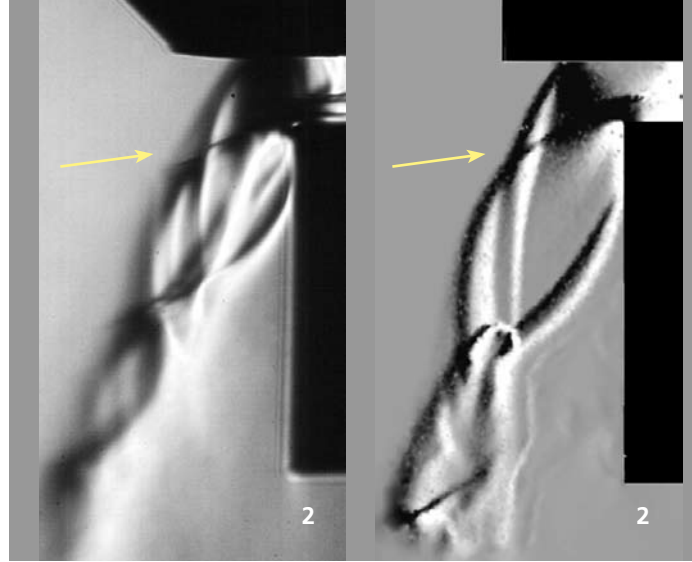
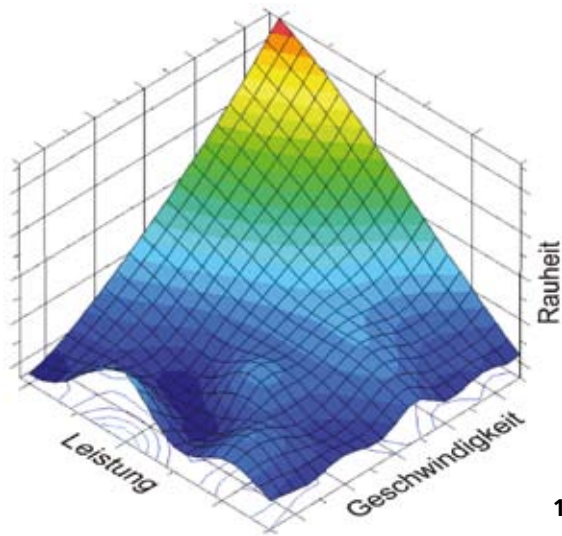
Die Auslegung der Schneiddüse unter Berücksichtigung der entstehenden Schneidfuge wird für unterschiedliche Strahlquellen, Materialien und Materialstärken angewandt. Die numerischen Methoden werden auf andere physikalische Prozesse wie z. B. auf den Wärmetransport übertragen und führen somit auch zu genaueren und effizienteren Berechnungen für weitere Fertigungsverfahren wie das Schweißen mit Laserstrahlung.

Ansprechpartner

Dr. Markus Nießen
Telefon +49 241 8906-307
markus.niessen@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 Simulation der Dichtegradienten in Düse und Fuge.
4 Schlierenaufnahme der Schneidgasströmung in der Fuge.



SIMULATION UND DIAGNOSE SCHNEIDEN

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. 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.

Ergebnis

Der Vergleich von Diagnose und Simulation mit dem Metamodell (Bild 1) 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 2).

Anwendungsfelder

Die Ergebnisse zur Metamodellierung lassen sich auf eine Vielzahl von Fertigungsverfahren übertragen. Die Anwendung auf das Schweißen mit Laserstrahlung wird durchgeführt.

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

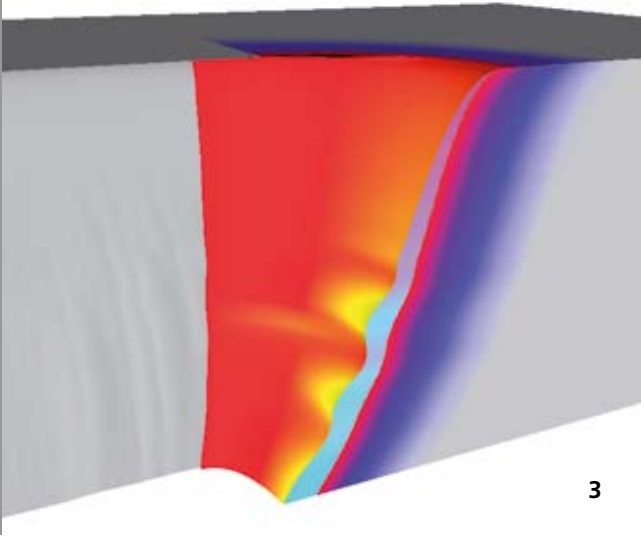
Ansprechpartner

Dr. Jens Schüttler
Telefon +49 241 8906-680
jens.schuetzler@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon +49 241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

1 Metamodell: Parameterabhängigkeiten.

2 Schlierendiagnose (links) und Simulation (rechts).



RIEFENBILDUNG BEIM SCHNEIDEN

Aufgabenstellung

Beim Laserstrahlschneiden von Blechen sind eine minimale Rauheit (Riefen) und das optische Erscheinungsbild der Schnittkante wesentliche Qualitätsmerkmale. Die optimalen Schneidparameter werden derzeit in umfangreichen Versuchsreihen experimentell ermittelt. Ziel ist die modellbasierte Vorhersage der Schnittkantenqualität, die Ermittlung der relevanten Einflussgrößen und die Bestimmung optimaler Schneidparameter.

Vorgehensweise

Mit Hilfe eines Schneidmodells werden die wesentlichen Einflussgrößen für die räumliche Verteilung der Riefen auf der Schnittkante berechnet. Mit einer Stabilitätsanalyse werden die Anfachung bzw. Dämpfung der Störung in Abhängigkeit der Schneidparameter berechnet. Mit dem mathematischen Verfahren wird eine Analyse der Stabilitätsgrenzen durchgeführt und die Prozessdomäne für das stabile Schneiden wird bestimmt.

Mit Hilfe von FEM-Simulationen des Schneidens und durch Vergleich mit experimentellen Daten werden die Vorhersagen der Stabilitätsanalyse validiert.

Ergebnis

Als Ursache der Riefenbildung wurden bislang Schwankungen der Verfahrensparameter wie z. B. der Laserleistung angesehen.

Als Ergebnis der Analyse ist ein neuer Mechanismus der Riefenbildung identifiziert worden, bei dem Schmelzwellen auch bei ideal konstanten Verfahrensparametern angefacht werden, die als Riefen auf der Schneidkante sichtbar werden. Eine neu entwickelte Software erlaubt die Berechnung der Anfachung in Abhängigkeit von den Schneidparametern und eine ortsauflösende Vorhersage von Riefenamplitude und -frequenz.

Anwendungsfelder

Von den Ergebnissen profitieren Anwender, Maschinen- und Anlagenhersteller aus dem Bereich des Laserstrahlschneidens.

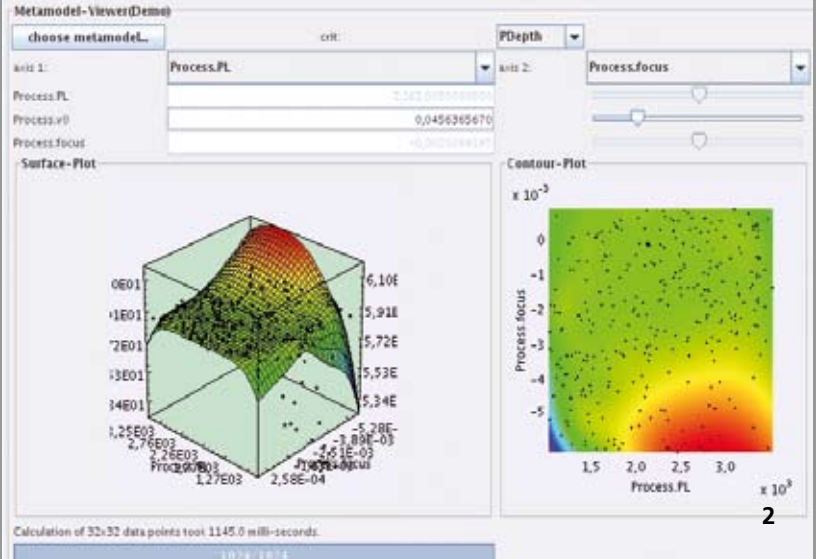
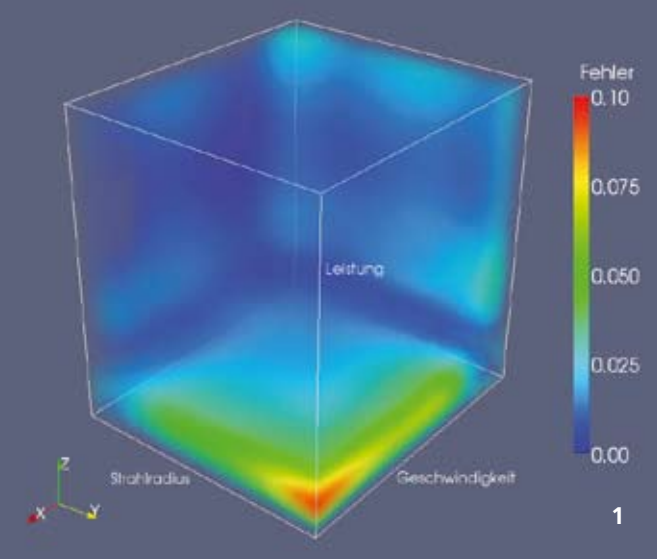
Ansprechpartner

Dr. Jens Schüttler
Telefon +49 241 8906-680
jens.schuettler@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon +49 241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

3 Simulation der Riefenbildung.

4 Riefenprofil einer Schnittkante.



METAMODELLIERUNG

Aufgabenstellung

Um dem Anwender ein fundiertes Verständnis über sein Verfahren zu ermöglichen, die Auswirkungen der entscheidenden Einflussgrößen zu erkennen und den dazu notwendigen Überblick über Prozessdomänen zu gewinnen, werden Tools zur »Metamodellierung« angewandt. Hierbei wird eine langjährige Erfahrung aus Simulation und Experiment in einem Metamodell aufgenommen, übersichtlich dargestellt sowie auswertbar und anwendbar zur Verfügung gestellt. Dieser Ansatz zur Darstellung und Analyse von System-Antworten (Response Surfaces) gibt den notwendigen Überblick über eine Vielzahl von Simulationen und Experimenten.

Vorgehensweise

Automatisierbare Verfahren zur Analyse und Optimierung von Laser-Fertigungsverfahren auf der Grundlage von vorhandenen Simulationen bzw. experimentellen Daten werden entwickelt. Um das zugrundeliegende Metamodell zu erzeugen, werden insbesondere Datenbank-Systeme eingesetzt.

Ergebnis

Verschiedene kommerziell verfügbare Software-Lösungen zur hochdimensionalen Funktions-Approximation wurden evaluiert. Eigene Tools zur Visualisierung der Response-Surfaces (MeMoViewer) sowie eigenentwickelte Datenbanken (»LTBORA« zum Bohren, »DAS« zum Schneiden, »ILTWELD« zum Schweißen) zur Aufnahme der Daten aus Experiment und Simulation wurden entwickelt. Ein geschlossener Workflow aus Datenbank, Simulation und Metamodellierung wurde demonstriert. Algorithmen zur Optimierung (Suche nach Pareto-optimalen Punkten auf der Response Surface) und zur lokalen Invertierung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Parameter und Kriterien (sogenanntes inverses Problem) werden aktuell implementiert.

Anwendungsfelder

Anwendbar ist die genannte Vorgehensweise bei jeder Art der Modellierung/Modellbildung zur Analyse und Optimierung eines statischen oder dynamischen Systems. Die vorgestellten Arbeiten werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« gefördert.

Ansprechpartner

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

Prof. Wolfgang Schulz
Telefon +49 241 8906-204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

- 1 Approximationsfehler des Metamodells (Volumen-Darstellung).
- 2 MeMoViewer-GUI.



TOLERANTE KOMBIBEARBEITUNG

Aufgabenstellung

Laserschneiden und Laserschweißen mit einem Bearbeitungskopf - die Kombibearbeitung - führt durch die gleichzeitige Verfügbarkeit beider Fertigungsverfahren zu einer höheren Flexibilität in der Anlagenbelegung, zur Optimierung der Fertigungsfolge oder zur Reduzierung von Umspann-, Lager- und Transportvorgängen. Weil für beide Verfahren der Tool Center Point (TCP), die Werkzeugspitze, identisch ist, werden eine erhöhte Bauteilgenauigkeit und größere Prozesssicherheit erreicht. Neben der exakten Kenntnis des TCP sind dafür die genaue Geometrie und Position des Bauteils erforderlich. Durch die Bauteilvermessung mit der zum Schneiden eingesetzten, kapazitiven Abstandssensorik sollen die Bahnen für Schweißungen dynamisch während der Bearbeitung festgelegt werden. Auch bei Bauteilen mit großen Toleranzen kann damit eine exakte Positionierung der Nähte erfolgen. Als Applikationsbeispiel werden U-Profile, die Toleranzen im Schenkelwinkel aufweisen, abgelängt und stirnseitig Platten im verdeckten T-Stoß angeschweißt.

Vorgehensweise

In der 2-D-Bearbeitung ist es durch den gemeinsamen TCP der Kombibearbeitung sehr einfach, die Bearbeitungsbahn relativ auf zuvor erledigte Bearbeitungsschritte zu beziehen, beispielsweise um nichtlineare TWB entlang einer zuvor geschnittenen Kante ohne Nahtverfolgungssystem zu verschweißen. In der 3-D-Bearbeitung sind für die exakte Positionierung des Schneidkopfs die Bauteilgeometrie, die Bauteillage und die Position der für die Abstandsregelung eingesetzten

z-Zusatzachse des Schneidkopfs entscheidend. Entlang der Bahn zum Ablängen des U-Profils werden diese Daten mit der Abstandssensorik erfasst und in der Robotersteuerung zur Korrektur der programmierten Schweißbahnen genutzt.

Ergebnis

Die Nähte der verdeckten T-Stöße können mittig in die stirnseitigen Kanten des U-Profils gelegt werden. Bohrungen in die Stirnplatte werden durch die Korrekturwerte exakt zu Bezugskanten des Profils positioniert und in der gleichen Aufspannung geschnitten.

Anwendungsfelder

Die Verbindung von Kombibearbeitung und kapazitiver Bauteilvermessung wird besonders bei Bauteilen mit großen Toleranzen, z. B. bei Biege- oder Tiefziehteilen, IHU-Teilen oder Rohren und bei Bauteilen, die sich nur aufwändig exakt spannen lassen, vorteilhaft eingesetzt. Derartige Aufgabenstellungen treten beispielsweise im Karosseriebau oder in der Rohr- bzw. Profilmontage auf.

Ansprechpartner

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

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

- 3 Der Kombikopf schneidet und vermisst das U-Profil, ...
- 4 ... schweißt die Stirnplatte an
- 5 ... und schneidet abschließend Bohrungen aus.



LASERSTRAHLSCHWEISSEN VON NICKELBASIS SUPERLEGIERUNGEN

Aufgabenstellung

Nickelbasis Superlegierungen gelten als schwer bzw. gar nicht schweißbar, wenn der Legierungsanteil 2 Al+Ti größer als 6 Prozent ist. Ein Grund hierfür ist zum Beispiel neben anderen Mechanismen (Phasen mit niedrigem Schmelzpunkt, geringer Duktilität, Korngrenzausbildung an der Schmelzlinie, etc.) die Rissbildung in den Legierungen, hervorgerufen durch hohe Aluminium- und Titananteile, die die Entstehung spröder Phasen fördern. Die hier untersuchten Legierungen liegen um ca. den Faktor 2 über dem o. g. kritischen Wert. Unter Verwendung von Scheiben- und Faserlasern soll die Möglichkeit des Verschweißens dieser Werkstoffe aufgezeigt werden.

Vorgehensweise

An einer ausgesuchten hochfesten einkristallin erstarrten Legierung (SX) sowie einer gerichtet erstarrten Legierung (DS) wurden mit einem 4 kW Faserlaser der Firma IPG Schweißuntersuchungen durchgeführt. Zum Schutz der Schmelze vor Oxidation fanden die Schweißungen unter einer Argonatmosphäre statt. Durch geeignete Parameter sollen riss- und porenfreie Schweißverbindungen als I-Naht am Stumpfstoß erstellt werden.

Stoßschweißung:

1 Legierung (SX).

2 Legierung (SX/DS).

*3 Blindschweißung: Legierung (SX),
3-fache Dicke der Stoßschweißung.*

Ergebnis

Der Einsatz eines Lasers mit hoher Strahlqualität und systematische Parameteranpassungen führen zu schlanken Schweißnahtgeometrien, die den Grundwerkstoff nur minimal beeinflussen. Bei der Legierung (SX) wurden hierdurch in der Regel auftretende Risse sicher vermieden. Die Legierung des Typs DS weist in der Schmelze, ausgehend von der Schmelzlinie, vereinzelt noch Querrissansätze auf. Verbindungen mit ungleicher Werkstoffpaarung (SX/DS) konnten bereits nahezu rissfrei verschweißt werden. Ein Kantenversatz der zu verbindenden Bleche kann trotz schlanker Schweißnahtgeometrien sicher ausgeglichen werden. Die Schweißungen sind porenfrei.

Anwendungsfelder

Das Haupteinsatzgebiet dieser hochtemperaturbeständigen Legierungen ist der Turbinenbau für Kraftwerke. Durch den Einsatz hochbrillanter Laserquellen konnten an der Legierung SX hervorragende Schweißqualitäten erzielt werden, so dass das Laserstrahlschweißen zu Reparaturzwecken sowie zur modularen Fertigung von Turbinen eingesetzt werden kann. Für die Erzeugung rissfreier Schweißverbindungen an der DS-Legierung sind noch weitere Untersuchungen erforderlich.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des öffentlich geförderten Programms COORETEC (BMW) für den Industriepartner Siemens Power Generation durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Norbert Wolf
Telefon +49 241 8906-448
norbert.wolf@ilt.fraunhofer.de

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

HYBRID-SCHWEISSVERFAHREN MIT SCHEIBENLASER FÜR DEN SCHIFFBAU

Aufgabenstellung

Nach den positiven Produktionserfahrungen mit dem CO₂-Laser-MAG-Hybridschweißen in der schiffbaulichen Paneelfertigung besteht ein aktueller Innovationsschritt in der Übertragung dieser Technologie auf fasergekoppelte Laserquellen.

Die wesentliche Aufgabe ist die Gewinnung von abgesicherten Prozessregeln für das Laser-MAG-Hybridschweißen mit Lasern der Wellenlänge 1 µm, die bisher im Vergleich zu CO₂-Lasern ein deutlich schmaleres Prozessfenster aufweisen. Die am Fraunhofer ILT mit einem Scheibenlaser TruDisk 10003 durchgeführten Untersuchungen betreffen den Dickblechbereich im einlagig geschweißten Stumpfstoß mit und ohne Spalt.

Vorgehensweise

Im Vordergrund der Untersuchungen steht insbesondere die Optimierung der MAG-Parameter für eine regelmäßige und stabile Nahtausbildung in Schweißposition PA.

Ergebnis

Durch die gezielte Anpassung der Einstellparameter der Schweißstromquelle konnte die Robustheit des Hybrid-schweißprozesses mit Lasern der Wellenlänge 1 µm, vor allem im Hinblick auf eine produktionssichere Vermeidung von tropfenförmigem Wurzeldurchhang, signifikant gesteigert werden.

Anwendungsfelder

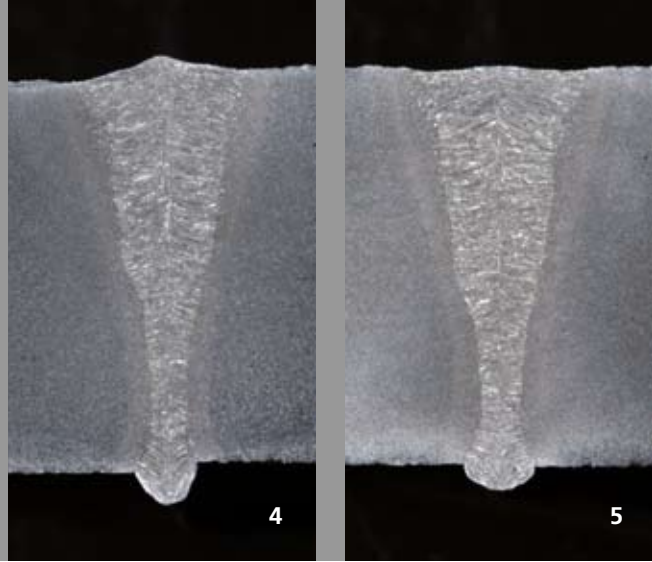
Neben dem Schiffbau sind die Ergebnisse beispielsweise auf Hybridschweißanwendungen im Behälterbau, in der Rohr- und Profilfertigung und im Pipelinebau übertragbar.

Ansprechpartner

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

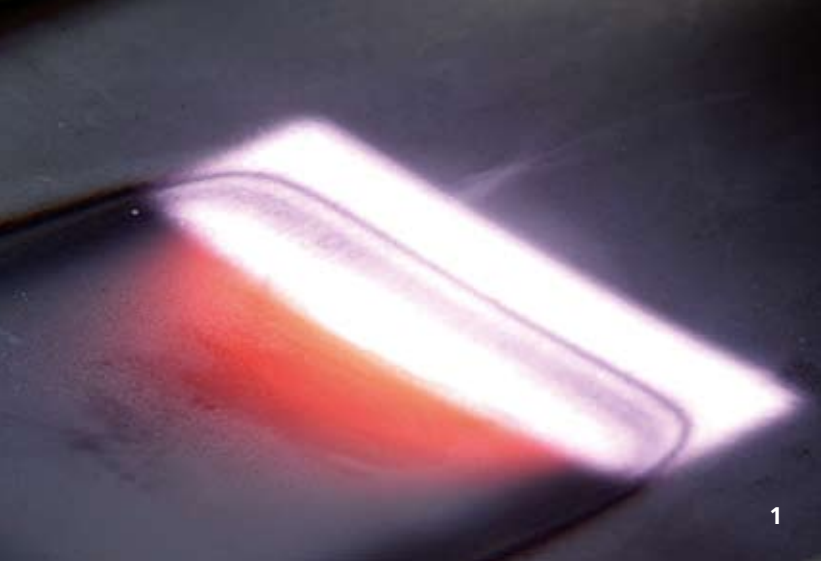
Dipl.-Ing. Norbert Wolf
Telefon +49 241 8906-448
norbert.wolf@ilt.fraunhofer.de

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



4 Laserhybridnaht, spaltfrei.

5 Laserhybridnaht, Spalt 0,3 mm.



1



2

LOKALE WÄRMEBEHAND- LUNG VON HOCHFESTEN STAHLPLATINEN

Aufgabenstellung

Hochfeste Stahlplatten weisen im Vergleich zu herkömmlichen Tiefziehstählen eine geringere Kaltumformbarkeit auf, was die geometrische Komplexität möglicher Anwendungen limitiert. Durch eine lokale Wärmebehandlung mit Laserstrahlung soll die Umformbarkeit von Stahlplatten in kritischen Bereichen verbessert werden. So können in einem anschließenden Kaltumformprozess komplexere Geometrien hergestellt werden.

Vorgehensweise

Bereiche von Platten werden dazu mit Laserstrahlung lokal wärmebehandelt. Durch den Einsatz eines fasergekoppelten 10 kW Hochleistungsdiodenlasers und einer Optik mit rechteckiger, homogener Leistungsdichteverteilung von bis zu 90 mm Breite wird eine gleichmäßige Wärmebehandlung erzielt. Die Eigenschaftsänderung des behandelten Bereichs wird dabei mit Härtemessungen, Gefügeschliffen und Zugversuchen analysiert und mit gemessenen Temperatur-Zeitverläufen und den Verfahrensparametern korreliert. Als weiterer Aspekt wird der Einfluss der Wärmebehandlung auf den Korrosionsschutz unterschiedlich beschichteter Bleche untersucht.

Ergebnis

In Zugversuchen wurde z. B. für den Dualphasenstahl Docol 1200 eine Verringerung der Zugfestigkeit von 1158 auf 603 MPa bei einer Erhöhung der Gleichmaßdehnung von 4,6 Prozent auf 17,1 Prozent ermittelt. Durch die Wahl geeigneter Verfahrensparameter können mechanische Eigenschaften innerhalb des oben genannten Bereichs eingestellt werden. Nach der Wärmebehandlung wurde für eine Korrosionsschutzschicht aus Zink die Korrosionsbeständigkeit nach PV 3.17.1/PV 1210 (Anforderungen der Automobilindustrie) nachgewiesen.

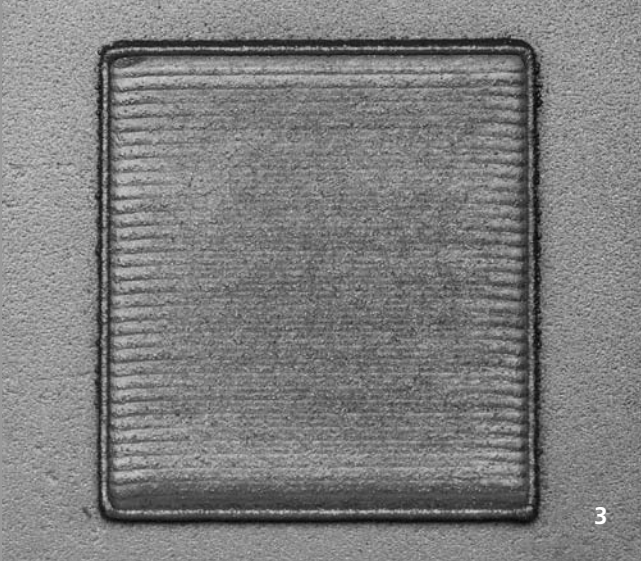
Anwendungsfelder

Hauptanwendungsfeld der lokalen Wärmebehandlung ist die Automobilindustrie. Hochfeste Stähle werden hier zunehmend zur Reduzierung des Fahrzeuggewichts oder zur Verbesserung des Crashverhaltens eingesetzt. Das Verfahren ermöglicht es, das Bauteilspektrum für diese Stähle erheblich zu erweitern und somit das Leichtbaupotenzial hochfester Stähle besser zu nutzen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Georg Bergweiler
Telefon +49 241 8906-602
georg.bergweiler@ilt.fraunhofer.de

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



LASERSTRAHL-AUFTRAGSCHWEISSEN MITTELS ZOOM-OPTIK

Aufgabenstellung

Das Laserstrahl-Auftragschweißen mit pulverförmigen Zusatzwerkstoffen wird für die Instandsetzung, den Verschleiß- und Korrosionsschutz in den Bereichen des Werkzeug-, des Formen-, des Triebwerk- und des Maschinenbaus eingesetzt. Die Variation der Spurbreite erfolgte bisher durch Verstellen der relativen Position der Optik zur Oberfläche (»Defokussieren«). Bei einer 3-D-Bearbeitung bedeutet dies, dass der Tool Center Point (TCP) des Werkzeugs »Laserstrahlung« und die Pulverzufuhrdüse an die neue Arbeitsposition angepasst werden müssen. Für die industrielle Anwendung besteht ein großer Bedarf, die Spurbreite und somit die Auftragsbreite flexibel und schnell verändern zu können. Aufwendiges manuelles Nachjustieren soll vermieden werden.

Vorgehensweise

Für das Laserstrahl-Auftragschweißen wird eine Zoom-Optik entwickelt, in der durch das motorisch ansteuerbare Verschieben von Linsen ein variabler Laserstrahldurchmesser in einer definierten Arbeitsebene erzeugt wird. Der Laserstrahldurchmesser kann dadurch beliebig in einer Arbeitsposition zwischen $d = 0,6 \text{ mm}$ und $d = 2,4 \text{ mm}$ variiert werden.

Ergebnis

In einer ersten Anwendung konnte die Produktivität bei einer flächigen Beschichtung mit dem Zusatzwerkstoff Inconel 625 bei gleicher Konturgenauigkeit von $1,5 \text{ cm}^3/\text{h}$ auf $12 \text{ cm}^3/\text{h}$ um das 8-fache gesteigert werden. Durch die Wahl geeigneter

Verfahrensparameter wird mit einem kleinen Laserstrahldurchmesser von $d = 0,6 \text{ mm}$ eine Rahmenstruktur mit großer Präzision auftraggeschweißt. Anschließend wird die Rahmenstruktur mit einem breiteren Laserstrahl von $d = 2,4 \text{ mm}$ und mit einer größeren Auftragsrate gefüllt. In den nächsten Entwicklungsschritten werden die drei Verfahrensparameter Laserstrahldurchmesser, Pulvermassenstrom und Laserleistung gleichzeitig während der Bearbeitung variiert. Dieser Prozess eignet sich beispielsweise für die Reparatur der Schaufelspitze einer Turbinenschaufel (Tip-Repair).

Anwendungsfelder

Die Zoom-Optik bietet eine vorteilhafte Alternative für das Laserstrahl-Auftragschweißen mit unterschiedlichen Laserstrahldurchmessern, da die aufwendige Nachjustage der Düse und der Werkzeuglänge (TCP) entfällt.

Die Entwicklung der Zoom-Optik erfolgt in Zusammenarbeit mit der Firma Reis Lasertec.

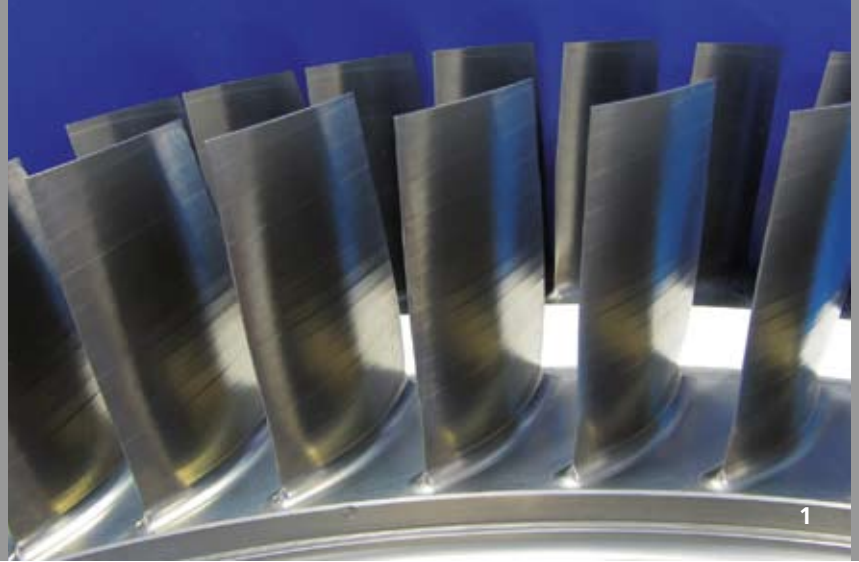
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Bernd Burbaum
Telefon +49 241 8906-535
bernd.burbaum@ilt.fraunhofer.de

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

3 Flächige Beschichtung.

4 Zoom-Optik.



STEIGERUNG DER AUFTRAGRATE FÜR DAS LASERSTRAHL-AUFTRAGSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Eine Zielsetzung des Fraunhofer Innovationsclusters »TurPro« ist die Qualifikation des Laserstrahl-Auftragschweißens als Fertigungs- und Reparaturverfahren zur schnellen generativen Herstellung bzw. Wiederherstellung von Schaufeln (Blades) auf vorhandenen - konventionell gefertigten – Scheiben (Disks), sog. Blisks (Blade Integrated Disks; siehe Bild). In diesem Zusammenhang muss die Auftragsrate signifikant vergrößert werden. Dies geschieht durch die Ermittlung geeigneter Prozessfenster bei vergrößerter Laserleistung bis zurzeit 10 kW.

Vorgehensweise

Auf Flachproben aus C45 wird die Auftragsrate exemplarisch für die Nickelbasis-Superlegierung Inconel 718 als Bliskwerkstoff vergrößert. Mehrlagige Schichten von 20 mm × 4 mm werden aufgebaut, die hinsichtlich der auftretenden Defekte und der vorherrschenden Erstarrungsstrukturen ausgewertet werden. Zwei alternative Lösungswege werden verfolgt. In einem ersten Lösungsansatz werden mittels eines rechteckigen Strahlprofils und einer Rechteckpulverdüse 10 mm breite Stege aufgetragen. Eine aufwändigere Nachbearbeitung zur Herstellung einer Schaufelgeometrie ist hierbei einzukalkulieren.

Als zweiter Lösungsansatz wird mittels einer Zoomoptik die Spurbreite lokal an die zu erzielende Bauteilbreite angepasst, so dass endkonturnah eine Bliskschaufel erzeugt wird.

Ergebnis

Auftragsraten größer 2 cm³/min für eine Spurbreite von 1,5 mm wurden entwickelt, bisher erzielte Auftragsraten für diese Spurbreite betragen 0,15 cm³/min. Für Spurbreiten von 4 mm werden derzeit Auftragsraten von größer 7 cm³/min getestet. Eine maximale Porengröße von 50 µm ist ein vorläufiges Kriterium. Qualifizierte Materialuntersuchungen werden im nächsten Arbeitsschritt durchgeführt. Für den Aufbau von Stegen ist eine Neugestaltung der Schutzgasabschirmung erforderlich. Diese wird derzeit konstruiert.

Anwendungsfelder

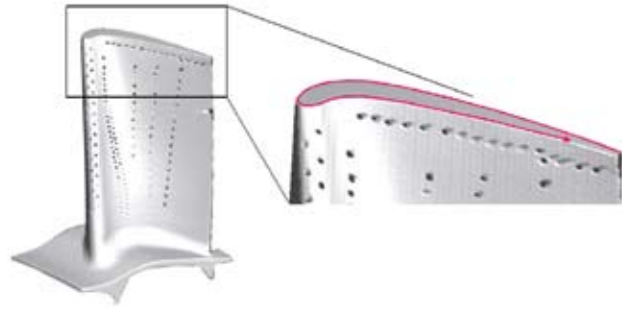
Ein Anwendungsfeld bietet die Luft- und Raumfahrt durch Herstellung der o. g. Blisks. Im Werkzeug- und Formenbau können komplexe Freiformflächen ein weiteres Anwendungsgebiet darstellen. Denkbar ist auch der Einsatz als Beschichtungsverfahren für den Verschleiß- und Korrosionsschutz.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Johannes Witzel, M.Eng.
Telefon +49 241 8906-535
johannes.witzel@ilt.fraunhofer.de

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

1 Detail einer 2-stufigen Booster Blisk
(Quelle: Rolls-Royce Deutschland).



2

OFFLINE-PROGRAMMIERUNG FÜR DAS LASER-AUFTRAG- SCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Ziel ist die Entwicklung eines offline Programmiersystems für die Reparatur von betriebsbeanspruchten Maschinenkomponenten durch Laserauftragschweißen. Diese Aufgabenstellung beinhaltet das Datenmanagement für die Digitalisierung des defekten Bereichs und dessen Aufbereitung zu einem Flächenmodell, den Abgleich mit der Mastergeometrie zur Bestimmung des Defektvolumens, die automatische Erstellung von Werkzeugbahnen, die den Defektbereich lagenweise auffüllen, und deren Transfer in ein NC Programm. Zur Zeit wird kein kommerzielles Software Paket angeboten, das die verschiedenen Aufgabenbereiche abdeckt und darüber hinaus die Möglichkeit bietet, neue Strategien beim Laserauftragschweißen in der Bahnplanung einzupflegen.

Vorgehensweise

Für das offline Programmiersystem werden drei Module erstellt, die den Bereich des reverse engineering, die an das Defektvolumen angepasste Erstellung der Werkzeugbahnen und den Transfer in ein NC-Programm beinhalten. Das Datenmanagement zwischen den Modulen wird über standardisierte Schnittstellen realisiert.

Ergebnis

Für die Digitalisierung der Defektoberfläche wird ein Laserlinienscanner in die Laserbearbeitungsanlage integriert und ein Modul erstellt, das die ermittelte Punktwolke zu einem Flächenmodell aufbereitet und einen best fit der Mastergeometrie mit dem defekten Bauteil in der Aufspannung nach dem ICP Algorithmus durchführt. Das auf diese Weise bestimmte Defektvolumen wird von einem zweiten Modul eingelesen, das in der Lage ist nach verschiedenen Strategien automatisch äquidistante Werkzeugbahnen zu erzeugen, die das Defektvolumen lagenweise auffüllen. Mit einem dritten Modul werden diese Werkzeugbahnen in ein NC Programm übersetzt. Die Module wurden erfolgreich für die Reparatur von Triebwerkskomponenten getestet.

Anwendungen

Die Anwendungen liegen im Bereich der Reparatur und Fertigung mittels Laserauftragschweißen. Beispiele sind das Reparieren von Triebwerkskomponenten wie Schaufeln, Wellen, Gehäusen sowie die Reparatur von Freiformflächen im Bereich des Werkzeug- und Formenbaus.

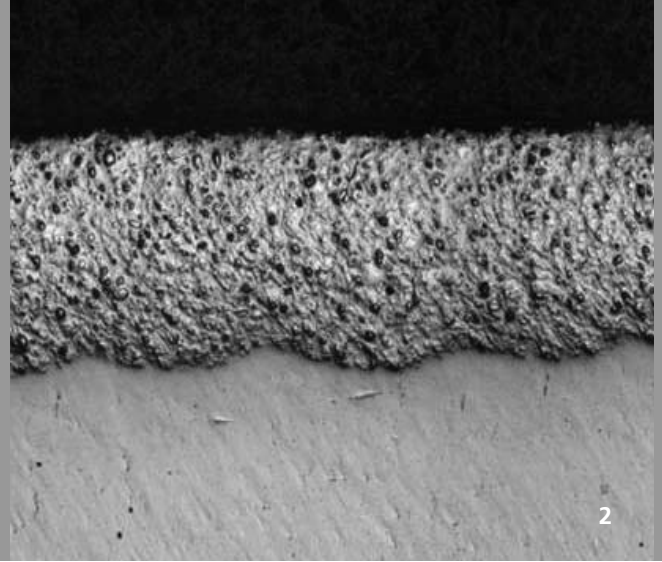
Ansprechpartner

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

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



1



2

VERSCHLEISS- UND OXIDATIONSSCHUTZ VON Y-TiAl-LEGIERUNGEN DURCH LASERSTRAHL-AUFTRAGSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Titanaluminide sind als leichte Hochtemperaturwerkstoffe aufgrund ihrer exzellenten mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen sowie gleichzeitig kleiner Dichte im Vergleich zu klassischen Nickel- oder Kobaltbasis-Superlegierungen besonders für die Luftfahrt- und Motorentechnik interessant. Für eine Verbesserung der Verschleiß- und Oxidationsbeständigkeit der Oberfläche von solch kostenintensiven Bauteilen aus TiAl-Legierungen eignen sich infolge der geringen Duktilität des Werkstoffs bei Raumtemperatur nur wenige Beschichtungsverfahren. Neben der Vermeidung von Rissen während des Beschichtungsprozesses ist eine durch die großen Temperaturen bedingte Oxidation der Bauteiloberfläche zu minimieren.

Vorgehensweise

Zur Vermeidung von Rissen beim Auftragschweißen wird eine Vorwärmeinrichtung entwickelt, mit der Temperaturen bis 1000 °C erreicht werden können. Die Oxidation des Werkstücks während des Prozesses wird durch eine beweglich konstruierte Schutzgashaube, welche Restsauerstoffgehalte

kleiner als 50 ppm ermöglicht, deutlich reduziert. Als pulverförmige Zusatzwerkstoffe werden artgleiche Legierungen ohne und mit Zusatz u. a. von Silizium Si oder Titandiborid TiB_2 verwendet.

Ergebnis

Mit Vorwärmtemperaturen größer 800 °C gelingt es, Titanaluminide rissfrei zu beschichten. Durch kontrollierte Abkühlung nach dem Auftragschweißen wird die Rissbildung während der Abkühlphase verhindert. Strahltests an der Oberfläche von beschichteten Proben zeigen, dass sich der abrasive Verschleiß durch eine mit 40 Vol.-Prozent TiB_2 -Partikeln angereicherte Beschichtung um mehr als 50 Prozent reduzieren lässt. Eine signifikante Verbesserung der Verschleißbeständigkeit durch einen Zusatz von 10 Gew.-Prozent Silizium konnte nicht festgestellt werden. Wohl aber konnte die Oxidation bei einer Temperatur von 800 °C über einen Zeitraum von 48 Stunden um über 45 Prozent gesenkt werden. Eine Beschichtung mit 40 Vol.-Prozent TiB_2 reduzierte die Oxidation unter gleichen Bedingungen um 10 Prozent. Somit können je nach Einsatzbedingungen Verschleiß und Oxidation von TiAl-Bauteilen durch angepasste Beschichtungen signifikant reduziert werden.

Anwendungsfelder

Mit dieser Verfahrenstechnik sollen potenzielle Anwendungen wie z. B. der Verschleiß- und Oxidationsschutz von Motorventilen oder Turbinenschaufeln erschlossen werden.

Ansprechpartner

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

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

1 Versuchsaufbau mit Vorheizung auf 1000 °C.

2 Beschichtung aus TiAl-Legierung mit 40 Vol.-%
 TiB_2 auf TiAl Substrat, Schichtdicke 1400 µm.



HERSTELLUNG NEUER HOCHLEISTUNGS-ZERSPANWERKZEUGE MIT DEM SLM-VERFAHREN

Aufgabenstellung

Eine wichtige Aufgabenstellung bei der Fertigung von Komponenten für Turbomaschinen ist die Steigerung der Effizienz der Zerspanungsprozesse. Ein Aspekt für die Effizienzsteigerung der Prozesse ist die Entwicklung und Herstellung neuer Hochleistungs-Zerspanwerkzeuge. Im Rahmen des Innovationsclusters »Integrative Produktionstechnik für energieeffiziente Turbomaschinen« (TurPro) soll erstmals das Potenzial der generativen Bauteilfertigung mittels Selective Laser Melting (SLM) für die Entwicklung und Herstellung von Werkzeughaltersystemen genutzt werden.

Vorgehensweise

Durch die hohe Geometriefreiheit der generativen Fertigung können erstmals komplexe interne Strukturen für neue Funktionseigenschaften wie z. B. integrierte Sensorik, Hochdruck-Kühl-/Schmierstoffsysteme (KSS) oder passive Schwingungsdämpfung in die Werkzeuge integriert werden. Dadurch können höhere Werkzeugstandzeiten der Wendeplatten bei größeren Zerspanungsleistungen erzielt werden. Um das SLM für die Fertigung von Werkzeughaltern nutzen zu können, ist die Qualifizierung des Verfahrens für die Verarbeitung des Werkstoffes 1.2767 erforderlich. Dazu werden geeignete Prozessfenster und -strategien zur Gewährleistung einer Bauteildichte von ca. 100 Prozent ohne Risse oder Bindefehler ermittelt. Darüber hinaus werden die mechanischen

Eigenschaften von mittels SLM gefertigten Probekörpern in Zug- und Schwingversuchen ermittelt. Parallel dazu werden Demonstratoren mit dem SLM aufgebaut, um z. B. neue Kühlkanalgeometrien und die mechanische Nachbearbeitbarkeit zu untersuchen.

Ergebnis

Für den Werkzeugstahl 1.2767 wurde ein geeignetes Prozessfenster ermittelt, das eine Bauteildichte von $\geq 99,5$ Prozent ohne Defekte gewährleistet. Derzeit werden die mechanischen Eigenschaften untersucht. Die SLM-basierte Prozesskette - vom Datentransfer bis zur Endbearbeitung - wurde anhand eines Demonstrators aus dem bereits qualifizierten Warmarbeitsstahl 1.2343 untersucht. Die Fertigung neuer funktionsoptimierter Geometrien, insbesondere z. B. die Führung der KSS-Kanäle, wurde dabei gezeigt.

Anwendungsfelder

Mit dieser Verfahrenstechnik sollen weitere Anwendungsfelder wie z. B. die des Sonderwerkzeugbaus erschlossen werden, um eine breitere Nutzung dieser Fertigungstechnologie in der industriellen Praxis voranzutreiben.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Rui João Santos Batista
Telefon +49 241 8906-203
rui.santos@ilt.fraunhofer.de

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

3 Mit SLM gefertigter Demonstrator eines Werkzeughalters aus 1.2343.



SERIENFERTIGUNG MITTELS HIGH POWER SELECTIVE LASER MELTING - HP-SLM

Aufgabenstellung

Die zunehmende Globalisierung hat in den vergangenen Jahren dazu geführt, dass sich der Wettbewerbsdruck auf produzierende Unternehmen in Deutschland drastisch erhöht hat. Um im Wettbewerb bestehen zu können, setzen Unternehmen in Hochlohnländern oft auf eine Kombination aus individuellen und zugleich qualitativ hochwertigen Produkten. Gleichzeitig müssen aber die Kosten niedrig gehalten werden. Daher bedarf es neuartiger Fertigungstechnologien, welche das gegenwärtige Dilemma der Produktionstechnik zwischen Skaleneffekten auf der einen und individueller, flexibler Produktion auf der anderen Seite aufzuheben vermögen. Hierbei ist die generative Fertigung mit ihren nahezu unbeschränkten geometrischen Freiheitsgraden eine der Verfahrensklassen mit dem größten Potenzial.

Vorgehensweise

Für eine wirtschaftliche Fertigung von zumindest Kleinserien mittels SLM ist die Steigerung der Prozesseffizienz und somit der Aufbaurate zwingend notwendig. Die Erhöhung der Aufbaurate soll durch eine signifikante Erhöhung der Laserleistung auf bis zu 1 kW erzielt werden. Neben der Erhöhung der Laserleistung ist eine Vergrößerung des Strahldurchmessers notwendig, um vermehrte Spritzerbildung und Prozessinstabilitäten zu vermeiden. Um der Problematik der mit wachsendem

Strahldurchmesser sinkenden Oberflächengüte und schlechter werdenden Detailauflösung 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 Schrump-Schlicht Prozessen, Bauteilkerne mit hohen Bauraten aufgebaut werden, während im Hüllbereich die geforderte Detailauflösung und Oberflächengüte gewährleistet werden kann.

Ergebnisse und Anwendungsfelder

Die Integration eines fasergekoppelten Scheibenlasers in Verbindung mit einem variablen Optiksistem ermöglicht die Erhöhung der Aufbaurate sowie die Umsetzung einer bauteilangepassten Hülle-Kern Strategie. In ersten Untersuchungen konnte die Belichtungszeit bei einfachen Probengeometrien aus hochlegierten Stählen um 90 Prozent gesenkt werden. Die Umsetzung auf komplexe Serienbauteile wird derzeit anhand verschiedener Demonstratoren vorangetrieben. Ein Beispiel hierfür ist die Fertigung eines Werkzeugsatzes und Ventilgehäuses in Zusammenarbeit mit Festo AG & Co. KG. Die Belichtungszeit konnte durch die Adaption von Scanstrategie und Verfahrensparametern um mehr als 70 Prozent gesenkt werden. Dadurch wird die generative (Klein-) Serienfertigung mittels SLM für viele neue Anwendungsgebiete wirtschaftlich rentabel.

Ansprechpartner

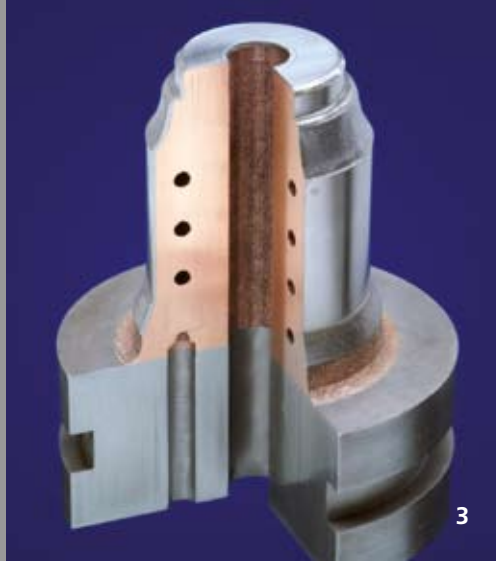
Dipl.-Ing. Henrich Schleifenbaum
Telefon +49 241 8906-126
henrich.schleifenbaum@ilt.fraunhofer.de

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

(Klein-) Serienfertigung mittels HP-SLM:

1 Werkzeugkern aus 1.4404.

2 Ventilgehäuse aus AISi12Mg.



OPTIMIERUNG VON WERKZEUGEINSÄTZEN AUS KUPFERLEGIERUNGEN

Aufgabenstellung

Die Verkürzung von Zykluszeiten bei gleichzeitig hoher Bauteilqualität als eines der vorrangigsten Ziele der Spritzgießindustrie erfordert den Einsatz von Werkstoffen mit großer Wärmeleitfähigkeit, um die beim Spritzgießprozess entstehende Wärme möglichst schnell über das Werkzeug abzuleiten. Die gleichzeitige Forderung nach einer großen Werkzeugstandzeit führt zu einem Kompromiss in der Werkstoffauswahl. Gegenüber den konventionellen Fertigungsverfahren im Werkzeug- und Formenbau bietet eine Kombination der generativen Verfahren Selective Laser Melting (SLM) und Laserstrahl-Auftragschweißen (LA) den Vorteil der großen Geometriefreiheit zur Einbringung konturnaher Kühlkanäle und die Möglichkeit zur Verwendung mehrerer Werkstoffe in einem Bauteil mittels einer anforderungsgerechten Beschichtung.

Vorgehensweise

Zur Vergrößerung der Wärmeleitfähigkeit wird der Grundkörper des Werkzeugeinsatzes mit dem SLM-Verfahren aus einer Kupferlegierung hergestellt. Dieser wird auf einer Preform aufgebaut und beinhaltet bereits komplexe konturnahe Kühlkanäle. Zur Vergrößerung des Verschleiß- und Korrosionsschutzes wird der Grundkörper mittels Laserstrahl-Auftragschweißen mehrlagig mit einem verschleißbeständigen Werkzeugstahl beschichtet. Die schmelzmetallurgische Anbindung an den Grundkörper wird durch eine Zwischenlage bestehend aus einer Nickelbasislegierung erreicht.

Ergebnis

Der Grundkörper eines Modellwerkzeugeinsatzes mit konturnahen Kühlkanälen konnte mit dem SLM-Verfahren aus einer Kupferlegierung mit einer Dichte größer 99,5 Prozent aufgebaut und anschließend ohne Nachbearbeitung mit dem Laserstrahl-Auftragschweißen funktionsangepasst mehrlagig beschichtet werden. Somit wurde erstmals ein mit dem SLM-Verfahren aufgebauter funktionsangepasster Grundkörper eines Werkzeugeinsatzes mit dem Laserstrahl-Auftragschweißen anforderungsgerecht beschichtet.

Anwendungsfelder

Die Kombination beider Verfahren kann neben der Spritzgießindustrie auch Anwendung in weiteren Branchen finden, in denen Multimaterialkombinationen neue Potenziale erschließen.

Ansprechpartner

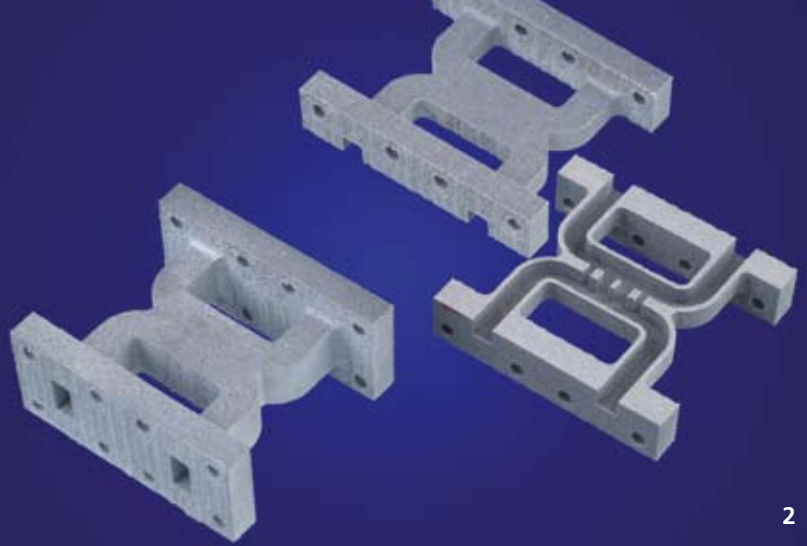
Dipl.-Ing. Sörn Ocylok
Telefon +49 241 8906-567
soern.ocylok@ilt.fraunhofer.de

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

3 Werkzeugeinsatz aus Kupferlegierung K220 mit konturnaher Kühlung und Beschichtung aus Werkzeugstahl 1.2343.



1



2

GENERATIVE FERTIGUNG IN DER SATELLITENTECHNIK

Aufgabenstellung

Aluminiumbauteile werden aufgrund ihres günstigen Gewichts-/Festigkeitsverhältnisses in vielen Bereichen der industriellen Fertigung eingesetzt. Für Komponenten von Satellitenantennen ist diese Eigenschaft zusammen mit der guten elektrischen und thermischen Leitfähigkeit von besonderer Bedeutung, da die Kosten für den Transport von Satelliten in den Weltraum maßgeblich von deren Gewicht abhängen. Komponenten für Satellitenantennen sind in der Regel Hohlkörper. Die eigentliche funktionale Geometrie, die zur Leitung der elektromagnetischen Wellen benötigt wird, beschränkt sich bei vielen Komponenten auf ein dünnwandiges Hohlprofil (Wandstärken $< 1 \text{ mm}$). Bisher werden Antennenkomponenten mittels konventioneller Fertigung wie Fräsen oder Erodieren hergestellt. Die Komponenten werden mehrteilig gefertigt und müssen anschließend über Schraubverbindungen zu einem Bauteil montiert werden. Deshalb können Bauteile nicht konsequent funktions- und gewichtsoptimiert ausgelegt und hergestellt werden. Beim generativen Fertigungsverfahren Selective Laser Melting (SLM) bestehen diese Defizite grundsätzlich nicht, da hiermit Bauteile mit nahezu beliebig komplexer Struktur ohne formgebende Werkzeuge herstellbar sind. Das Ziel ist die Entwicklung des SLM Verfahrens zur Fertigung von Aluminiumbauteilen mit hoher Oberflächenqualität und Formgenauigkeit, um den Einsatz des SLM für Antennenkomponenten zu ermöglichen.

Ergebnisse und Anwendungsfelder

Erste Untersuchungen zur Eignung des SLM zur Fertigung von Antennenkomponenten aus Aluminium sind vielversprechend. Der in Bild 2 dargestellte Koppler wurde mit SLM hergestellt. Das Gewicht ist um ca. 40 Prozent gegenüber der konventionellen Variante (Bild 1) reduziert. Durch die derzeitige Oberflächenrauigkeit ($R_z \sim 50 \mu\text{m}$) weisen die Komponenten bisher insgesamt schlechtere HF-Eigenschaften auf als gefräste Vergleichskomponenten. Ein Schwerpunkt weiterer Untersuchungen ist die Verbesserung der Oberflächenqualität und Maßgenauigkeit durch die Verwendung einer neuen Laserstrahlquelle mit hoher Leistung und brillanter Strahlqualität. Zukünftig sollen Satellitenantennen ohne Rücksicht auf bisher bestehende fertigungstechnische Restriktionen funktions- und gewichtsoptimiert ausgelegt sowie ressourcenschonend, kostengünstig und schnell gefertigt werden.

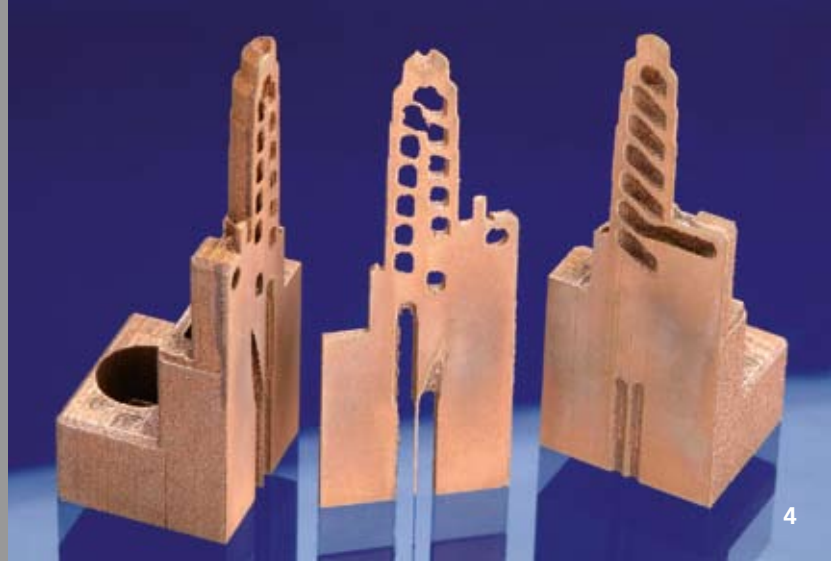
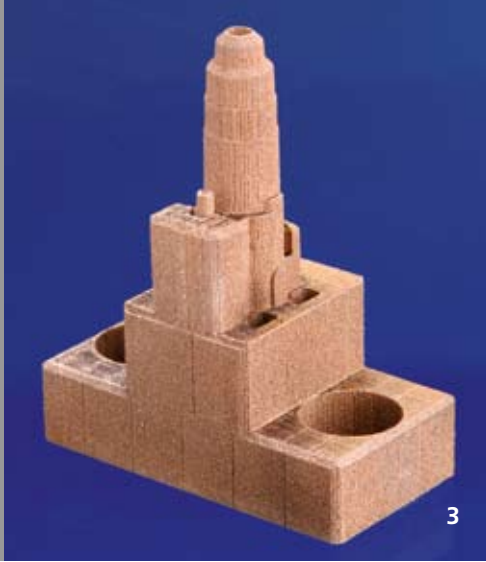
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Damien Buchbinder
Telefon +49 241 8906-488
damien.buchbinder@ilt.fraunhofer.de

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

1 Konventionell gefertigter Koppler mit Verschraubungen.

2 Mit SLM gefertigter gewichtsoptimierter
Koppler (links), im Querschnitt (rechts).



GENERATIVE FERTIGUNG VON KUPFERBAUTEILEN

Aufgabenstellung

Moderne Spritzgießwerkzeuge werden heutzutage aus unterschiedlichen Werkstoffen gefertigt, um Zykluszeiten und Verzug der Kunststoffteile zu minimieren. Zum Einsatz kommen verschleißbeständige und wärmefeste Stähle sowie Legierungen auf Kupferbasis, die über eine große Wärmeleitfähigkeit verfügen. Für eine effizientere Prozessführung werden außerdem Werkzeugeinsätze mit konturnaher Kühlung an temperaturkritischen Stellen eingesetzt. Solche Werkzeugeinsätze werden mittels generativer Fertigungsverfahren wie dem Selective Laser Melting (SLM) hergestellt. Bislang werden hierfür Werkzeugstähle wie z. B. 1.2343 und 1.2709 verarbeitet. Durch die Kombination der großen Wärmeleitfähigkeit von Kupferlegierungen mit konturnahen Kühlkanälen sollen noch effizienter zu kühlende Werkzeugeinsätze realisiert werden. Das Ziel ist es daher, solche Bauteile aus Kupferlegierungen mit SLM herzustellen.

Vorgehensweise

Aufgrund der im Vergleich zu z. B. Stahl geringen Absorption der Laserstrahlung und der großen Wärmeleitfähigkeit von Kupferlegierungen ist für deren Verarbeitung eine größere Laserleistung erforderlich als für die oben angeführten, bereits verarbeitbaren Werkstoffe. Am Fraunhofer ILT wurde ein Lasersystem mit einer maximalen Laserleistung von 1000 W durch Anpassung von Optik, Mechanik und Steuerung in eine bestehende SLM-Anlage integriert. Im Rahmen des BMWI

geförderten Projekts Innosurface werden dazu zunächst Verfahrensparameter für die generative Herstellung von Bauteilen mit einer Dichte von ca. 99,9 Prozent erarbeitet. Im zweiten Schritt werden diese Ergebnisse auf komplexe Geometrien übertragen.

Ergebnis

Mit der modifizierten Anlagentechnik gelingt es, Bauteile aus Kupferlegierungen mit ca. 99,9 Prozent Dichte defektfrei herzustellen. Des Weiteren wurden erste Werkzeugeinsätze mit innen liegenden Strukturen generativ gefertigt (Bild 3 und 4). Diese werden zur Zeit im industriellen Einsatz getestet.

Anwendungsfelder

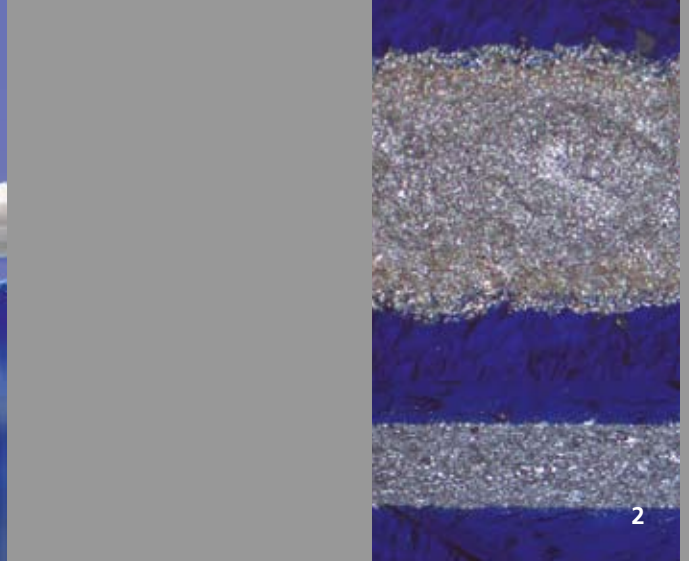
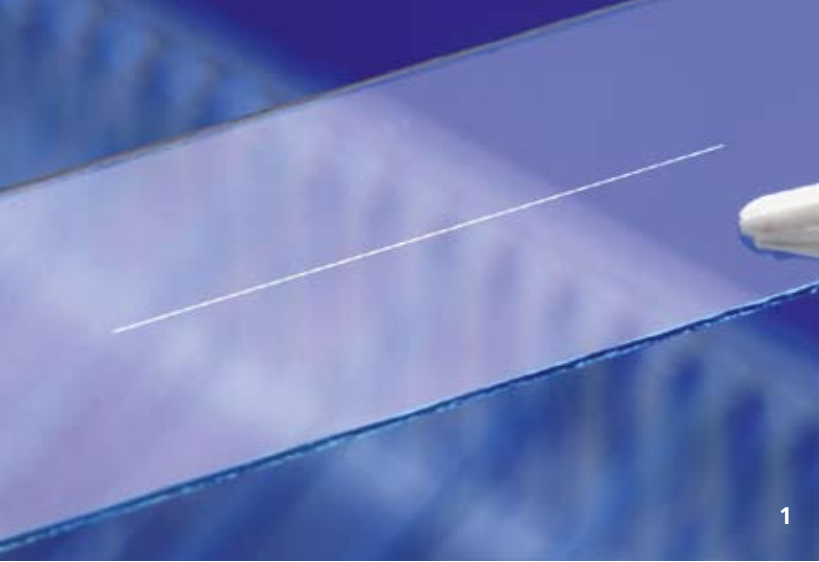
Neben dem beschriebenen Einsatz von Werkzeugeinsätzen sind weitere Anwendungsfälle, in denen auftretende Wärme effektiv abtransportiert werden soll, beispielsweise bei der Kühlung von Halbleiterbauelementen zu finden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. David Becker
Telefon +49 241 8906-568
david.becker@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 Werkzeugeinsatz aus einer Kupferlegierung hergestellt mittels SLM.
4 Werkzeugeinsatz mit integriertem Kühlkanal im Schnitt.



LASERBASIERTE ERZEUGUNG VON METALLISCHEN LEITER- BAHNEN

Aufgabenstellung

Elektrischen Strom sammeln und verteilen, das ist die Aufgabe von Leiterbahnen auf schlecht- oder nichtleitenden Oberflächen z. B. bei OLEDs, Solarzellen und Heizscheiben. Doch meist können die metallischen Bahnen konventionell nur mit großem Aufwand sowie hohem Anlagen- und Energiekosteneinsatz erzeugt werden. So werden sie in einer OLED bisher subtraktiv hergestellt - durch photolithographischen Abtrag von zuvor flächig aufgesputtertem Silber. Mehr als 90 Prozent des in einem aufwendigen Hochvakuum-Sputterprozess aufgebrachten Materials werden unter Einsatz von Ätzmitteln entfernt. Auf Solarzellen werden die Leiterbahnen konventionell durch Siebdruck von Silberpasten aufgebracht und in einem energieintensiven Ofenprozess weiterverarbeitet. Um die homogene Leuchtkraft bei OLEDs nicht zu stören, sollen die Leiterbahnen so schmal wie möglich sein. Diese Forderung gilt auch für Solarzellen, denn hier belegen Leiterbahnen die für die Erzeugung von elektrischer Energie wichtige Siliziumoberfläche.

Ziel ist, mittels eines innovativen, additiven Laserprozesses metallische Leiterbahnen energie- und ressourceneffizient auf Oberflächen aus Glas, Silizium oder anderen Materialien aufzutragen.

Vorgehensweise

Auf dem Substrat wird eine Maskenfolie aufgelegt, die das Negativ zur später gewünschten Leiterbahngeometrie darstellt. Darauf wird eine Quellfolie angebracht, aus deren Material die zu erzeugende Leiterbahn bestehen soll. Beispiele sind Aluminium, Kupfer, Silber o.ä.. Der Aufbau wird fixiert und mit Laserstrahlung entlang der Maskengeometrie beaufschlagt. Es bildet sich ein Gemisch aus Schmelzetropfen und Dampf, das von der Quellfolie aus auf das Substrat transferiert wird. Der erstarrte Verbund ergibt die Leiterbahn. Eine Weiterentwicklung sieht die Integration der Maskenfunktion in die Quellfolie vor.

Ergebnis

Erzeugt werden Leiterbahnen aus Aluminium, Kupfer, Silber oder ähnlichen Materialien mit Breiten zwischen 40 und 120 μm , Dicken zwischen 3 und 15 μm und einem maximalen Flächenwiderstand von 0,05 Ω/sq auf Glas. Der Prozess findet an Umgebungsatmosphäre mit einer Geschwindigkeit von bis zu 2,5 m/s statt.

Anwendungsfelder

Mit diesem Verfahren können Leiterbahnen mit hoher Kantenschärfe beispielsweise für OLEDs, Solarzellen oder Heizscheiben hergestellt werden.

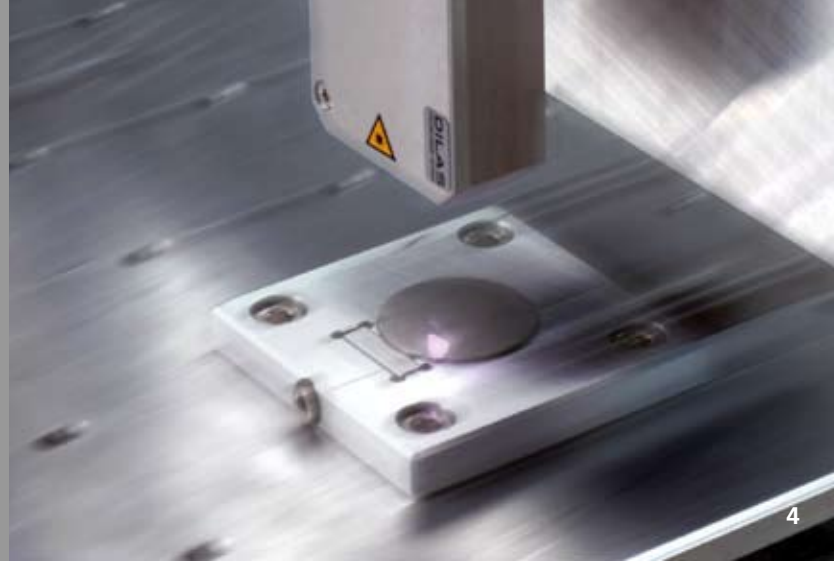
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Christian Vedder
Telefon +49 241 8906-378
christian.vedder@ilt.fraunhofer.de

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

1 Leiterbahn auf Glas.

2 Leiterbahnen auf Silizium, Vergleich einer konventionellen Siebdruck- (oben) und einer lasererzeugten Leiterbahn (unten).



NANOSCHICHTEN FÜR DEN VERSCHLEISSCHUTZ

Aufgabenstellung

Verschleißschutzschichten werden u. a. in der Automobilindustrie eingesetzt, um die tribomechanischen Eigenschaften hochbeanspruchter Motoren- und Getriebekomponenten zu optimieren. Großes Potenzial besitzen Beschichtungsverfahren auf Basis nanopartikulärer Werkstoffe. Diese können z. B. in Form von Sol-Gel-Systemen mit geringem technologischem Aufwand durch Energie und Ressourcen schonende Verfahren selektiv auf stark beanspruchte Bereiche der zu schützenden Bauteile appliziert werden. Die zentrale Herausforderung des Verfahrens besteht darin, durch Erzeugung von geeigneten Temperatur-Zeit-Verläufen eine Funktionalisierung der Schicht zu bewirken, ohne die Eigenschaften der zum Teil sehr temperaturempfindlichen Trägermaterialien negativ zu beeinflussen.

Vorgehensweise

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts FunLas wird ein Laserverfahren zur Funktionalisierung dünner nanopartikulärer Schichten auf empfindlichen Stahlsubstraten mittels brillanter Diodenlaserstrahlung entwickelt. Eine signifikante Reduzierung der thermischen Belastung des Trägermaterials wird durch kurze Wechselwirkungszeiten im μs -Bereich erreicht. Diese werden durch eine Bewegung des Bauteils mit hohen Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 5 m/s in Verbindung mit einem linienförmigen Intensitätsprofil und durch die Verwendung von gepulster Diodenlaserstrahlung realisiert. Darüber hinaus wird die Energieeinkopplung durch Integration geeigneter Absorber in die Schichtmatrix und die flexible Wahl der Laserwellenlänge optimiert.

Ergebnis

Durch Anpassung der auf Mischoxiden basierenden Werkstoffsysteme und der Beschichtungsverfahren können Schichtdicken von 0,2 - 1 μm auf Probekörpern aus gehärtetem Stahl erzeugt werden. Neben einer Reduzierung der Oberflächenrauheit wird mit der Laserbehandlung eine signifikante Erhöhung der Schichthärte erreicht, die oberhalb der durch konventionelle Ofenhärtung erzielten Werte liegt.

Anwendungsfelder

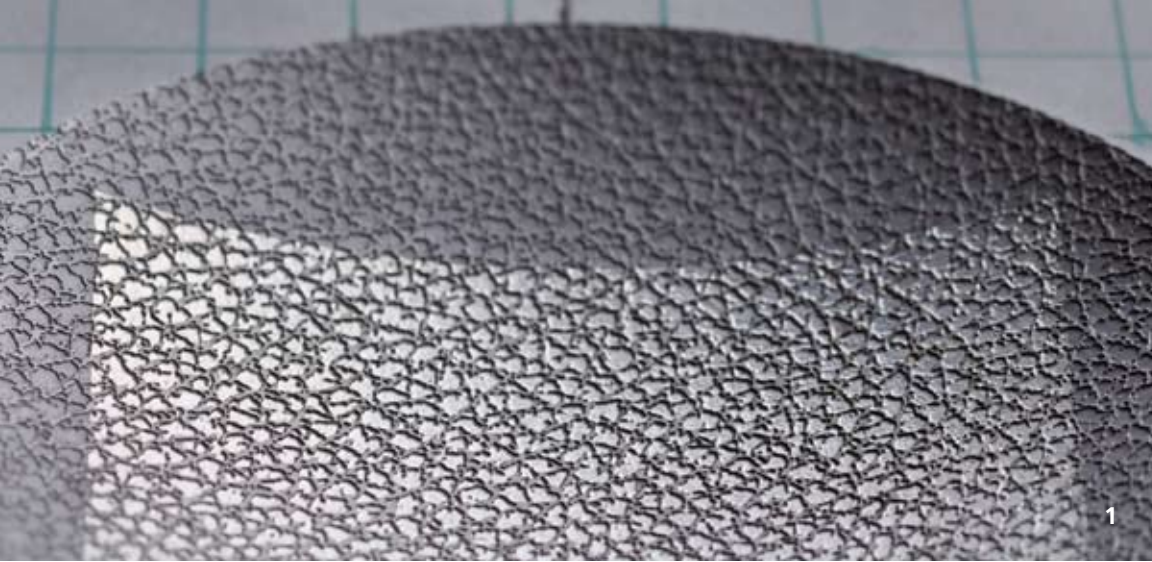
Anwendungsfelder dieser Technologie liegen überall dort, wo metallische Komponenten einer hohen mechanischen Belastung ausgesetzt sind.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Dominik Hawelka
Telefon +49 241 8906-676
dominik.hawelka@ilt.fraunhofer.de

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

3 Laserbehandlung einer Probe aus 100 Cr 6.
4 Laserbehandlung mit linienförmigem Intensitätsprofil (DILAS Modul).



SELEKTIVES LASERPOLIEREN

Aufgabenstellung

Für Kunststoffteile, wie z. B. bei Armaturentafeln im PKW, sind häufig strukturierte oder genarbte Oberflächen erforderlich. Zur Herstellung solcher Kunststoffteile werden die Werkzeuge entsprechend strukturiert. Hierzu kommt im Wesentlichen das photochemische Ätzen zum Einsatz. Weit verbreitet sind naturnahe Strukturen wie z. B. Lederstrukturen oder auch technische Strukturen. Diese müssen den optischen und haptischen Anforderungen genügen. Das neue Fertigungsverfahren selektives Laserpolieren ermöglicht beispielsweise die ausschließliche Politur der Täler einer Oberflächenstruktur, um optisch variable Effekte zu erzielen. Auf dem abgeformten Bauteil sind dann nur die Erhebungen poliert. Somit können bisher nicht oder nur mit großem Aufwand zu fertigende Oberflächen hergestellt werden.

Vorgehensweise

Die selektive Laserpolitur wird anhand von Werkzeugeinsätzen mit unterschiedlichen Geometrien (z. B. Kugeln und Zylinder) sowie grob und fein genarbten Oberflächen aus dem Werkzeugstahl 1.2343 untersucht. Dazu wird zuerst die komplette Oberfläche mittels eines optischen Sensorsystems mit einer Auflösung von mehr als 1000 dpi digitalisiert. Um eine selektive Laserpolitur z. B. nur der Täler der Ledernarbungsstruktur durchzuführen, muss diese von der zugrundeliegenden Geometrie des Werkzeugs getrennt werden. Dies geschieht durch eine angepasste Analyse der digitalisierten Oberfläche mittels eines geeigneten Profilters. Bei der Bearbeitung wird die

Oberfläche mäanderförmig abgerastert und der Laserstrahlfokus gemäß der Werkzeuggeometrie nachgeführt. Zusätzlich wird die Laserleistung entlang der Bearbeitungsbahnen in Abhängigkeit von den vorhandenen Strukturen moduliert, da nur die Täler poliert werden.

Ergebnisse

Durch die Modulation der Laserleistung wird die Rauheit verringert und somit der Glanzgrad in den Tälern der Struktur erhöht und somit ein Mehrglanzeffekt erzeugt. Abhängig von der gewählten Laserleistung und Scangeschwindigkeit variiert dabei der einstellbare Glanzgrad vom Ausgangszustand bis hin zu sehr hohem Glanz. Bisher konnten Werkzeugeinsätze mit fein und grob geätzter Ledernarbung in Kugeln und Zylindern erfolgreich selektiv laserpoliert und davon Kunststoffteile mit einem Zweiglanzeffekt abgeformt werden. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit beträgt zur Zeit ca. 20 s/cm² bei einer Auflösung von 1040 dpi. Die kleinste auflösbare Struktur beträgt derzeit 150 µm x 150 µm.

Anwendungsfelder

Das wichtigste Ziel für weitere Forschungsarbeiten ist die Übertragung der Ergebnisse auf Freiformflächen, z. B. Armaturenräger für PKWs.

Ansprechpartner

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

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

1 *Selektiv laserpolierte Ledernarbung
in einem Kugelabschnitt.*



LASERPOLIEREN VON OPTIKEN AUS GLAS UND KUNSTSTOFF

Aufgabenstellung

In optischen Systemen werden zunehmend Freiformoptiken eingesetzt. Die individuell gestalteten Optiken können Abbildungsfehler minimieren und bieten zudem Gewichtsvorteile. Das Polieren dieser Freiformflächen ist mit konventionellen Verfahren ein zeit- und kostenintensiver Prozess. Daher verlangt dieser neue Trend im Optikdesign und in der Optikfertigung nach neuen Fertigungstechniken. Ein vielversprechender Ansatz ist das Polieren mit Laserstrahlung. Im Vergleich zu den konventionellen Verfahren wird beim Laserpolieren keine Poliersuspension, die eine unsaubere Oberfläche zur Folge haben kann, verwendet.

Vorgehensweise

Beim Laserpolieren wird eine dünne Randschicht lokal erwärmt ohne Materialabtrag durch Verdampfung hervorzurufen. Die Viskosität des Materials sinkt und das Material kann fließen. Die Glättung der Oberfläche erfolgt durch die Oberflächenspannung.

Die laserpolierten Optiken müssen die Anforderungen konventionell hergestellter Optiken bzgl. Rauheit, Formgenauigkeit und Materialeigenschaften erfüllen. Um den Einfluss der Verfahrensparameter auf das Polierergebnis und den Polierprozess zu untersuchen, wurde eine Laboranlage aufgebaut, an der die Parameter flexibel und möglichst unabhängig voneinander variiert werden können. Wichtige Verfahrensparameter sind z. B. Vorheiztemperatur, Intensität und Intensitätsverteilung.

Ergebnis

Auf planen Proben aus Quarzglas wird auf geschliffenen Oberflächen mit $R_a = 100 \text{ nm}$ die Rauheit auf $R_a < 4 \text{ nm}$ gesenkt. Auf planen Polycarbonatproben ausgehend von $R_a = 100 \text{ nm}$ kann die Rauheit auf $R_a < 10 \text{ nm}$ reduziert werden. Um dieselben Oberflächen auf Optiken mit anderen Geometrien, wie Asphären und Freiformoptiken, zu erreichen, wird die Energieeinbringung an deren Geometrie angepasst. Eine Linse aus BK7 konnte komplett poliert werden. Jedoch ist die erreichte Oberflächenqualität für eine optische Anwendung aufgrund der noch nicht optimal angepassten Energieeinbringung nicht ausreichend.

Beim Laserpolieren können deutlich kürzere Prozesszeiten als beim konventionellen Polieren erreicht werden.

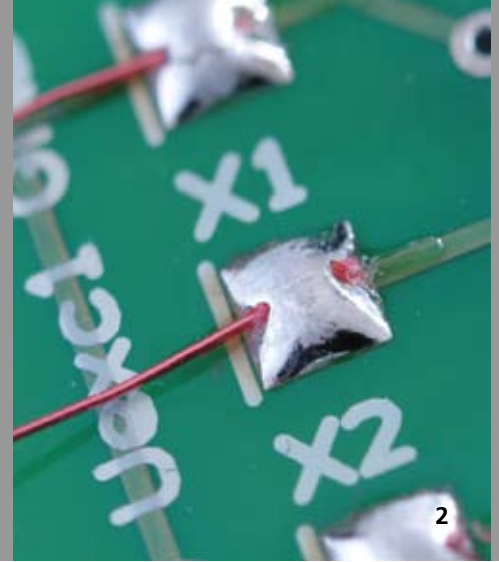
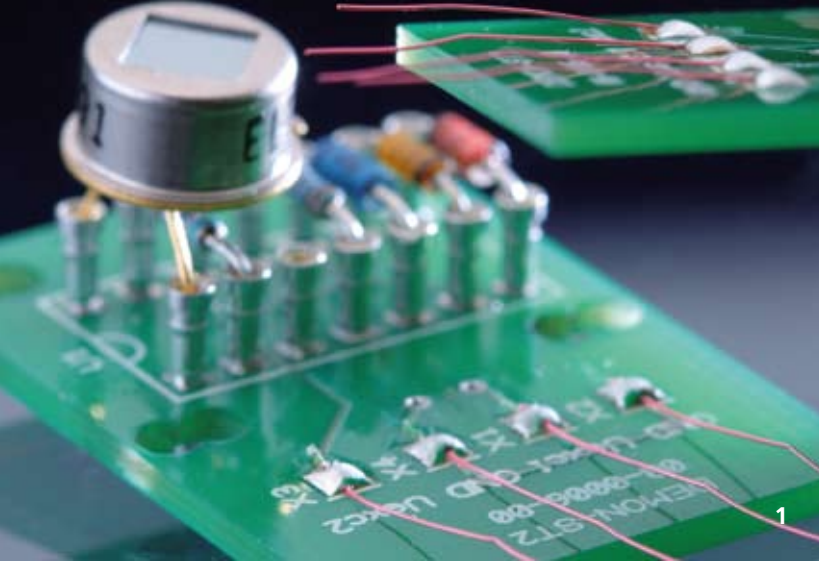
Anwendungsfelder

Die bisherigen Ergebnisse an sphärischen Linsen zeigen das Potenzial für die beiden Hauptanwendungen Freiformoptiken und Brillengläser.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Annika Richmann
Telefon +49 241 8906-282
annika.richmann@ilt.fraunhofer.de

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



LASERLÖTEN FÜR DIE FLEXIBLE KONTAKTIERUNG VON KUPFERLACKDRÄHTEN

Aufgabenstellung

Die Fertigung hochintegrierter elektrotechnischer Komponenten am Produktionsstandort Europa erfordert, neben einer hohen Fertigungsqualität, vor allem ein Höchstmaß an Flexibilität, um gegenüber den Kostenvorteilen in Billiglohnländern konkurrenzfähig zu sein. Dies erfordert zum einen Fertigungseinrichtungen, die möglichst ohne Umstellung auf verschiedene Produkte übertragen werden können, und zum anderen schnelle hochautomatisierte Fertigungsverfahren, die eine weitgehend mannlöse Fertigung erlauben. Die in der Fertigung elektrotechnischer Produkte häufig anzutreffenden selektiven Kontaktierungsverfahren mit belackten Mikrodrähten werden vielfach manuell ausgeführt. Aufgrund der Komplexität des Fügeprozesses und der Geometrie der Bauteile ist die Reproduzierbarkeit eingeschränkt und die Qualität der Lötverbindung hängt stark von der durchführenden Person ab. Insbesondere bei sehr dünnen Lackdrähten $< 100 \mu\text{m}$ kann der anzuschließende Drahtabschnitt abreißen oder es kommt keine einwandfreie elektrische Kontaktierung zustande.

Vorgehensweise

Zur Erhöhung von Prozessgeschwindigkeit und Reproduzierbarkeit ist am Fraunhofer ILT ein automatisierter Laserlötprozess entwickelt worden, der nicht nur die Fertigungsflexibilität steigert, sondern auch ein hohes Potenzial zur weiteren

Miniaturisierung bietet. Bei diesem Prozess finden die Entlackung und die Kontaktierung in einem einzigen Prozessschritt statt. Durch Verwendung kostengünstiger Diodenlasersysteme ist ein derartiges Verfahren auch preislich mit konkurrierenden Selektivlötverfahren wettbewerbsfähig.

Ergebnis

Mittelständischen Unternehmen im Bereich der Elektronikfertigung kann mit diesem Verfahren eine Möglichkeit gegeben werden, dem zunehmenden Kostendruck insbesondere durch ostasiatische Konkurrenten zu begegnen. Zum einen wird beim laserstrahlbasierten Lötprozess durch eine integrierte Prozessüberwachung und -regelung auf Basis pyrometrischer Sensoren die Reproduzierbarkeit des Verfahrens erheblich gesteigert. Zum anderen bietet das berührungslose Laserlötverfahren erhebliche Miniaturisierungspotenziale im Vergleich zu konkurrierenden Verfahren, da die Abmessungen der Anschluss pads auf einige hundert Mikrometer reduziert werden können. Beispiele hierzu stellen die Fertigung von innovativen Produkten der Medizin- oder Sensortechnik dar, bei denen ein wesentlicher Fertigungsschritt aus der Kontaktierung von lackisolierten Spulendrähten an Anschluss pads auf einer Platine besteht.

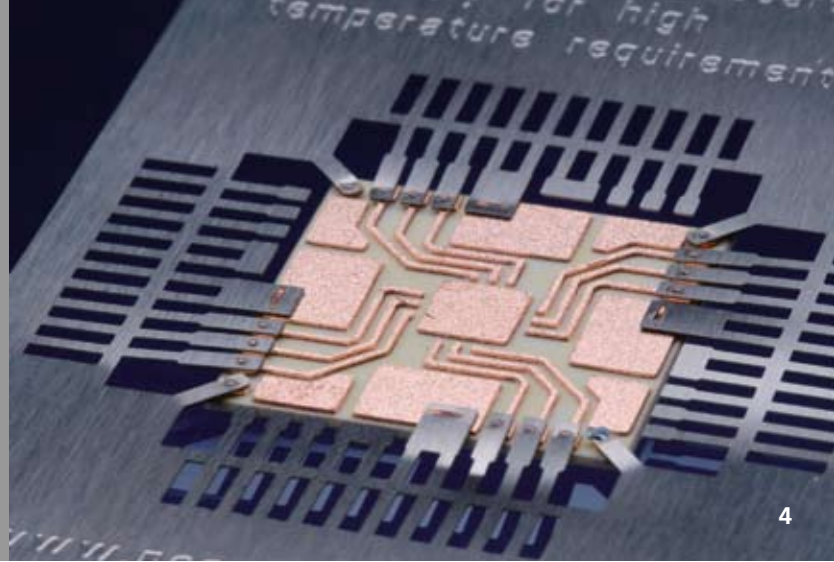
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Felix Schmitt
Telefon +49 241 8906-322
felix.schmitt@ilt.fraunhofer.de

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

1 Demonstratorbauteil zum Löten
von Lackdrähten an Platinen.

2 Detailaufnahme einer Lötverbindung.



LASERSTRAHLSCHWEISSEN VON KUPFERBAUTEILEN

Aufgabenstellung

Kupfer ist nach wie vor der wichtigste Werkstoff zur Stromleitung und zum Aufbau elektrischer und elektronischer Systeme. Kupfer und Kupferlegierungen vereinen in optimaler Weise elektrische Leitfähigkeit, mechanische Eigenschaften und Bearbeitbarkeit. Aufgrund der sehr hohen Wärmeableitung und der geringen Absorption von Kupfer und Kupferlegierungen im nahen Infrarot-Wellenlängenbereich können bisher keine ausreichend reproduzierbaren Qualitäten beim Laserschweißen bei größeren Schweißtiefen von 500 µm bis 1 mm erzielt werden. Hinzu kommt die ungenügende Reproduzierbarkeit der Schweißung aufgrund stark schwankender Absorption, die eine hohe Qualität und ein prozesssicheres Verfahren in diesem Dickenbereich nicht erlaubt.

Vorgehensweise

Neue hochbrillante Strahlquellen, wie z. B. Faserlaser und Scheibenlaser, ermöglichen nun gegenüber klassischen Festkörperlaseren auch bei hohen mittleren Leistungen eine exzellente Fokussierbarkeit mit Fokusgeometrien < 100 µm. Damit werden auch bei kontinuierlichen Lasern Intensitäten im Bereich $10^7 - 10^8 \text{ W/cm}^2$ möglich, mit denen bei entsprechenden Verfahrenstechniken auch bei Kupfer ein Tiefschweißeffekt erzielt werden kann. Dies ermöglicht auch bei nur geringen Laserleistungen ein reproduzierbares Schweißen von hochreflektierenden und hoch wärmeleitenden Werkstoffen.

Ergebnis

Mit einer schnellen örtlichen Modulation der Laserstrahlung wird die Steuerung der Einschweißtiefe ermöglicht, um bei kritischen Bauteilen wie Keramiksubstraten oder Leiterplatten eine Durchschweißung sicher zu vermeiden. Vorschubgeschwindigkeiten bis zu 1 m/s und hohe Schweißnahtqualitäten werden mit innovativen Bestrahlungsstrategien bei zeitlicher und gleichzeitig örtlicher Modulation der Laserstrahlung erreicht.

Anwendungsfelder

Die Anwendung des Laserstrahlschweißens für DCB-Kontaktierungen ist derzeit eine große Herausforderung in der Leistungselektronik. Die verbesserten Möglichkeiten der Tiefensteuerung von Schmelzbädern, um Durchschweißungen und damit Schädigungen des Substrats zu vermeiden, lassen sich auch auf Anwendungen aus dem Bereich der elektrotechnischen Baugruppenfertigung übertragen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jens Gedicke
Telefon +49 241 8906-145
jens.gedicke@ilt.fraunhofer.de

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

3 Laserstrahlschweißen von Bauelementen auf Kupfer-Leadframes.

4 Laserstrahlgeschweißtes DCB-Substrat.



1



2

SCHWEISSEN TRANS-PARENTER KUNSTSTOFFE OHNE IR-ABSORBER

Aufgabenstellung

Das Laserstrahlschweißen von Kunststoffen zeichnet sich durch die geringe notwendige Fügeenergie sowie minimale Beeinflussung der Bauteile aus und ist aufgrund seiner Verschmutzungs- und Partikelfreiheit ein ideales Werkzeug für medizintechnische Bauteile. Bisher erfordert diese Technik allerdings die Verwendung von speziellen Absorbern, um die Laserenergie selektiv zu deponieren mit der Folge, dass das Verfahren für viele medizintechnische Bauteile, bei denen eine vollkommene Transparenz gefordert wird, nicht zum Einsatz kommt. Zudem bedeutet die Verwendung von speziellen IR-Absorbern einen wesentlichen Kostenpunkt bei der Herstellung von Einweg-Artikeln.

Vorgehensweise

Die in der Medizintechnik eingesetzten transparenten Kunststoffe zeigen im mittleren Infrarotbereich charakteristische Absorptionsbanden, die bei Wahl einer geeigneten Laserwellenlänge die Verwendung von Absorbern überflüssig machen. Mit einer geeigneten Verfahrens- und Systemtechnik, die eine ortsselektive Energiedeposition im Innern der Kunststoffe ermöglicht, ohne das Bauteil zu beschädigen, lassen sich mit neuen IR-Strahlquellen transparente Kunststoffe ohne die Verwendung zusätzlicher Absorber schweißen.

Ergebnis

Die Verwendung von Laserstrahlung im Wellenlängenbereich von $1.7 \mu\text{m}$ bewirkt eine Volumenabsorption, die durch starke Fokussierung lokal begrenzt werden kann. Dadurch ergibt sich ein robuster Schweißprozess, der Vorschubgeschwindigkeiten oberhalb von 2 m/min ermöglicht.

Anwendungsfelder

Das Fügen ohne IR-Absorber bedeutet einen signifikanten Durchbruch in der Fertigung von transparenten Bauteilen für Medizintechnik, Lichttechnik und Mikrofluidik. In der Medizintechnik werden viele Bauteile, insbesondere Einwegbauteile, aus Kunststoff gefertigt. Im Gegensatz zu Bauteilen aus der Automobiltechnik und der Consumer-Elektronik, bei denen die Bauteile häufig farbig gestaltet sind, müssen medizintechnische Bauteile transparent sein, um z. B. den Durchfluss von Flüssigkeiten wie Blut und Serum etc. kontrollieren zu können. Darüber hinaus werden transparente Kunststoffbauteile für analytische Zwecke verwendet, um über optische Analyseverfahren eine schnelle Ermittlung veränderter Blutwerte im Sinne einer Point of Care (POC)-Diagnostik durchführen zu können.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Andreas Roesner
Telefon +49 241 8906-158
andreas.roesner@ilt.fraunhofer.de

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

1 Mikrofuidik-Bauteil.

2 Filtergehäuse.

OPTISCHE EIGENSCHAFTEN VON POLYKARBONAT

Aufgabenstellung

Die optischen Eigenschaften des transparenten Fügepartners haben einen großen Einfluss auf die Qualität der Schweißnaht beim Laserdurchstrahlsschweißen. Entscheidend ist dabei die Aufweitung der Laserstrahlung durch Streuung. Diese Strahlaufweitung wird bei Polycarbonat ausschließlich durch die Additive erzeugt. In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss der verschiedenen Additive auf die optischen Eigenschaften von Polycarbonat (PC) untersucht.

Vorgehensweise

Mit einem UV-VIS-IR Spektrometer werden Transmission, Reflexion und gerichtete Transmission der Proben gemessen. Aus ihnen werden mit einem Modell zur Strahlpropagation die optischen Eigenschaften berechnet. Diese sind von der Probengeometrie unabhängige optische Eigenschaften des Werkstoffs: der Streu- und Absorptionskoeffizient (C_s , C_a) sowie der Anisotropiefaktor (g). Die untersuchten Additive sind Glasfaser, Glaskugel, Talkum, Titanoxid und Flammschutz in Konzentrationen zwischen 5 und 15 Prozent.

Ergebnis

Alle Additive erhöhen deutlich das Streuvermögen des PC-Werkstoffs. Exemplarisch werden hier die Ergebnisse für 5 Prozent Glasfaseranteil dargestellt. Die berechneten optischen Eigenschaften sind als Funktion der Wellenlänge in Bild 4 dargestellt. Für Wellenlängen kleiner 1600 nm ist der Streukoeffizient deutlich größer als der Absorptionskoeffizient.

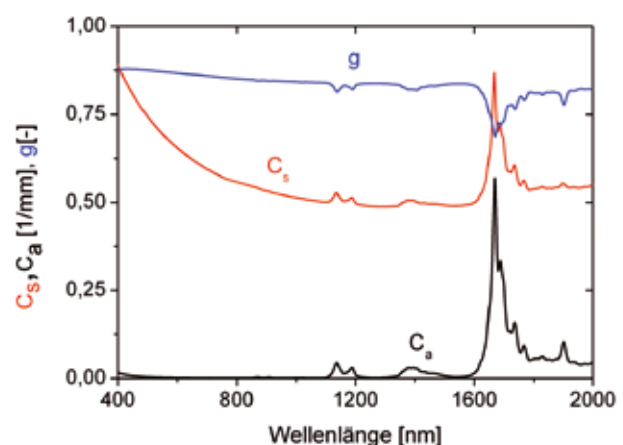
Anwendungsfelder

Mit den optischen Eigenschaften des Werkstoffs lässt sich die Strahlverteilung im transparenten und absorbierenden Werkstück berechnen. Somit ist die Leistungsbilanz im Werkstück gegeben, mit der sich das Temperaturfeld berechnen lässt. Mit diesen Simulationen werden Verfahrensparameter optimiert.

Ansprechpartner

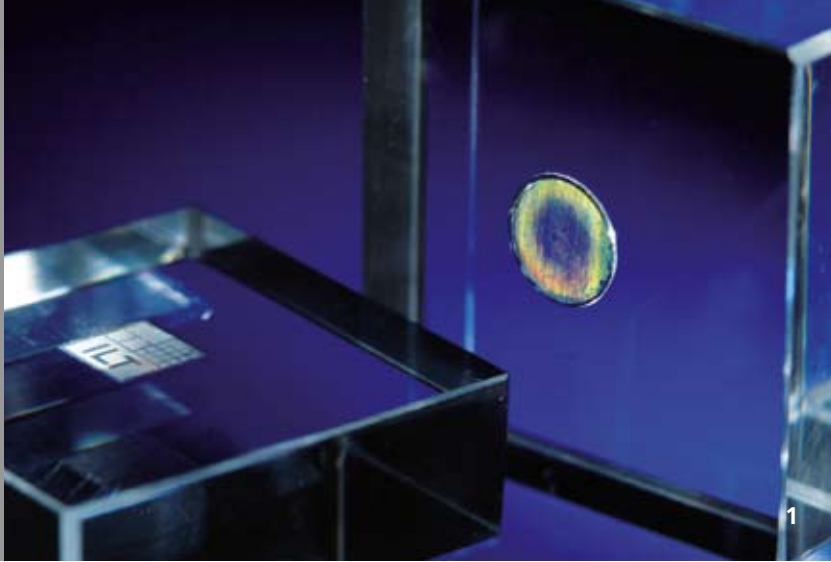
Dr. Mirko Aden
Telefon +49 241 8906-469
mirko.aden@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Andreas Roesner
Telefon +49 241 8906-158
andreas.roesner@ilt.fraunhofer.de



3 Streuung von Laserstrahlung
an Polycarbonat.

4 Optische Eigenschaften.



LASER-UNTERSTÜTZTES HEISSPRÄGEN

Aufgabenstellung

Heißprägen ist neben Spritzgießen das am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Replikation von Mikro- und Nanostrukturen auf Halbzeugen. Im Gegensatz zum Spritzgießen basiert das Heißprägen nicht auf einem Einspritzvorgang, sondern verwendet bereits vorgeformte Halbzeuge als Ausgangsmaterial. Die Gesamtzykluszeit beim Heißprägen und damit die Prozessproduktivität wird wesentlich durch die Zeitanteile zum Aufheizen und Abkühlen bestimmt. Kurze Heiz- und Kühlzeiten lassen sich grundsätzlich durch eine Erhöhung der Heiz- bzw. Kühlleistung, eine Reduzierung des aufzuheizenden Volumens sowie kurze Wärmeleitungswege erzielen. Konventionelle Heißprägesysteme bestehen meist aus elektrischen Heizsystemen und einer Öl- oder Wasserkühlung. Dabei werden jedoch die Heiz- und Kühlplatten zusammen mit dem Formeinsatz vollständig erwärmt, woraus lange Prozesszeiten im Minutenbereich resultieren.

Vorgehensweise

Beim laserunterstützten Heißprägen wird im Gegensatz zum konventionellen Heißprägen lediglich der oberflächennahe Bereich der Werkzeugoberfläche erwärmt. Die zu erwärmenden Volumen sind dadurch gering. Wärmeleitungswege treten nicht auf, da die Laserstrahlung direkt auf der mikro- und nanostrukturierten Oberfläche absorbiert wird. Die große Leistungsdichte von Laserstrahlung verkürzt die Aufheizzeit

zusätzlich. Die geringe gespeicherte Wärme im Werkzeug reduziert gleichzeitig die Dauer der Abkühlphase. Durch eine Modulation der Laserleistung können dabei zusätzlich der Fließvorgang des zu prägenden Kunststoffes und der Abkühlverlauf beeinflusst werden.

Ergebnis

Bei kleinen Fließwegen werden mit der neuen Prozesstechnik Gesamtprozesszeiten von 10 - 20 Sekunden erreicht. Die dabei erzeugten Füllgrade sind größer als 90 Prozent bei Strukturgrößen von 1 µm.

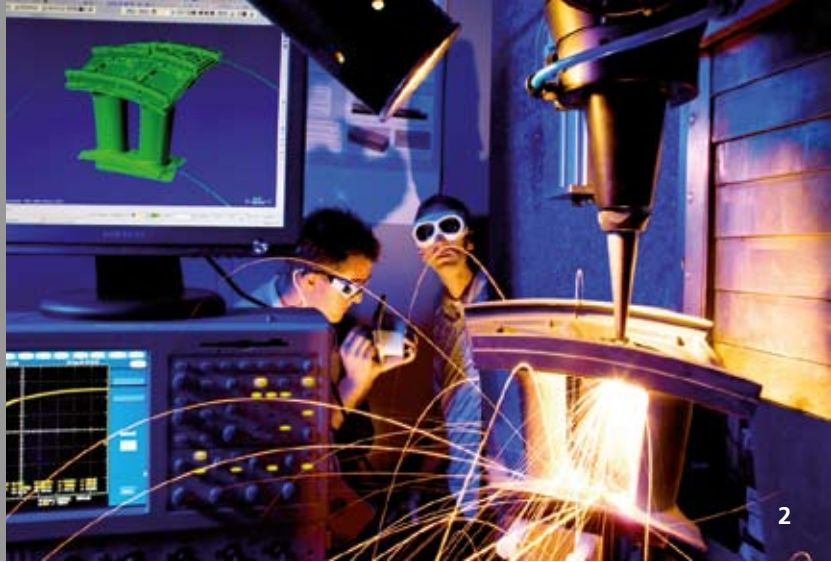
Anwendungsfelder

Durch die vergleichsweise geringen Scherspannungen und damit spannungsarmen Bauteile wird das Heißprägen u. a. für die Herstellung von optischen Komponenten eingesetzt. Hierbei kommt es weniger auf das Aspektverhältnis als auf Oberflächenqualitäten mit Genauigkeiten im Sub-Mikrometerbereich an. Binäre Optiken, Mikrolinsensarrays oder Fresneloptiken sind typische Applikationen mit bereits heute einem Marktvolumen von mehreren Milliarden Euro.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jens Holtkamp
Telefon +49 241 8906-273
jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de

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



LASERSTRAHL-BOHREN VON INSTRUMENTATION HOLES IN LEITSCHAUFELN

Aufgabenstellung

Moderne Strahltriebwerke werden mit einer Heißgastemperatur betrieben, die oberhalb des Schmelzpunktes des Grundwerkstoffs der Schaufeln liegt, um einen großen Wirkungsgrad zu erzielen. Ein großer Wirkungsgrad trägt zur Ressourcenschonung durch Einsparung von Treibstoff und zur Reduzierung der CO₂-Emission bei. Um die Schaufeln in der Turbine vor den großen Temperaturen des Heißgases zu schützen, wird Verdichterluft, die ca. 400 K unterhalb der zulässigen Materialtemperatur des Turbinenwerkstoffs liegt, durch Kühlluftbohrungen der Schaufeln geleitet. Durch die Kühlluft werden die Schaufeln durch Konvektions- und Prallkühlung geschützt. Zusätzlich können die Schaufeln mit einer keramischen Wärmedämmschicht vor thermischer Schädigung durch das Heißgas geschützt werden.

Bei der Erprobung von Strahltriebwerken werden Temperaturen und Drücke gemessen und überwacht. Hierfür werden Sensoren in z. B. Leitschaufeln integriert. Für die Integration der Sensoren müssen sogenannte »Instrumentation Holes« mit Laserstrahlung gebohrt werden.

Vorgehensweise

Die Instrumentation Holes müssen in definierten Winkeln in die Freiformflächen der Leitschaufel eingebracht werden. Die Positionen der Bohrungen werden in einem CAD-Datensatz hinterlegt. Durch einen Postprozessor werden Werkzeugbahnen generiert, so dass die Instrumentation Holes mit einer 5-Achs-Bewegung des Handhabungssystems gefertigt werden

können. Die Instrumentation Holes werden durch Trepanieren unter Vorgabe der zuvor bestimmten Vorschubgeschwindigkeit und weiteren Verfahrensparametern wie Pulsdauer, Repetitionsrate, Pulsenergie, Prozessgasart und -druck gebohrt.

Ergebnis

Die Instrumentation Holes werden mit einem Austrittsdurchmesser von $1,15 \pm 0,05$ mm und einer Konizität kleiner 1,2 in Leitschaufeln aus der Nickelbasislegierung Mar-M002 gebohrt. Die Bohrungen weisen eine Tiefe von 6 - 10,5 mm auf. Die Schmelzfilmdicke ist kleiner als 70 µm.

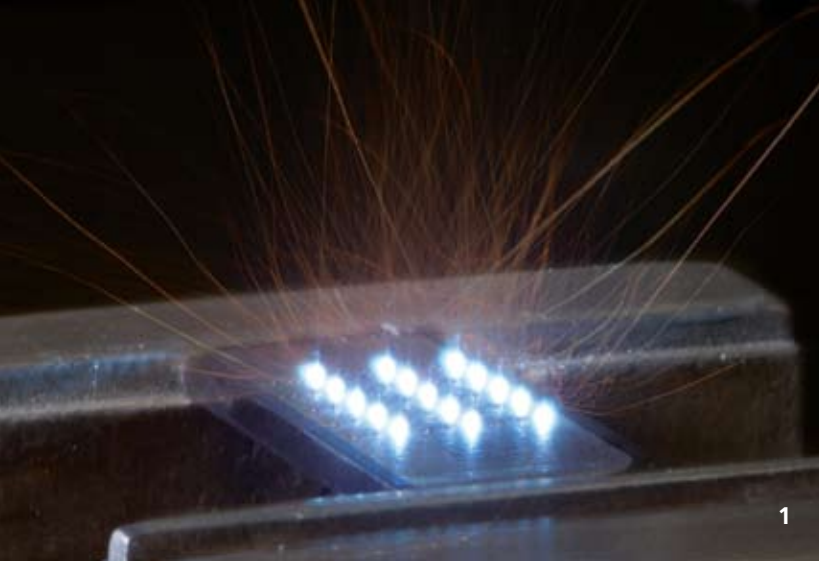
Anwendungsfelder

Instrumentation Holes können in großen Winkeln zur Oberfläche und unabhängig von der Härte des Werkstoffs gebohrt werden. Das Einbringen von Instrumentation Holes in Mehrschichtsystemen wie z. B. in Metallegierungen mit einer keramischen Wärmedämmschicht ist ebenfalls möglich. Die Bohrungen können mittels einer 5-Achs-Bewegung positioniert und gebohrt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jens Dietrich
Telefon +49 241 8906-479
jens.dietrich@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Mihael Brajdic
Telefon +49 241 8906-205
mihael.brajdic@ilt.fraunhofer.de



1



2

BOHREN VON NIAL MITTELS NANOSEKUNDEN- DOPPELPULSEN

Aufgabenstellung

Um den Wirkungsgrad von Gasturbinen zu vergrößern, werden neue Materialien auf ihre Einsetzbarkeit im Hochtemperaturbereich untersucht. Nickel-Aluminium (NiAl FG75) ist ein Werkstoff, der aufgrund der mechanischen und thermischen Eigenschaften für den Einsatz in Gasturbinen als Ersatz für die bisher in der Regel eingesetzten Turbinenschaufeln aus Ni-Basis Legierungen in Betracht gezogen wird. Die Vorteile der NiAl-Legierungen sind die größere Schmelztemperatur, eine kleinere Dichte und eine größere Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu z. B. CMSX-4. Die Verarbeitbarkeit von NiAl FG 75 ist aufgrund des duktil-spröden Übergangs zwischen 1000 und 800 °C eingeschränkt. Bisherige Laserstrahlbohrverfahren mit mikrosekundengepulster Laserstrahlung führen aufgrund des duktil-spröden Übergangs zu massiven Schäden an der Bohrlochwand in Form von Abplatzungen und Rissen großer Eindringtiefe in den Grundwerkstoff.

Vorgehensweise

Mittels Wendelbohren mit ns-Laserstrahlung können die Anzahl und Größe der Schädigungen verkleinert werden, die Bohrdauer steigt dabei auf > 1 min für das Bohren von NiAl mit 2 mm Materialdicke. Beim Bohren von NiAl FG 75 werden

entweder zylindrische Bohrungen mittels Perkussionsbohren mit Nanosekunden-Doppelpulsen hergestellt (Bild 2) oder die Bohrungen mittels eines Scannersystems schichtweise abgetragen (Bild 1).

Ergebnis

Die Verwendung von Nanosekunden-Doppelpulsen führt zu einer Vermeidung metallurgischer Schädigungen wie Risse und Abplatzungen im Vergleich zum Bohren mit mikrosekundengepulster Laserstrahlung und gleichzeitig zu einer größeren Produktivität im Vergleich zum Wendelbohren mit Nanosekunden-Einzelpulsen. Beim Bohren von NiAl FG75 mit 3 mm Materialdicke kann die Bohrzeit auf < 10 s verkleinert werden.

Anwendungsfelder

Die erste Anwendung ist die Herstellung von Kühlluftbohrungen in Turbinenschaufeln aus NiAl FG 75 im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 561 zur Entwicklung thermisch hochbelasteter und gekühlter Mehrschichtsysteme für Kombi-Kraftwerke.

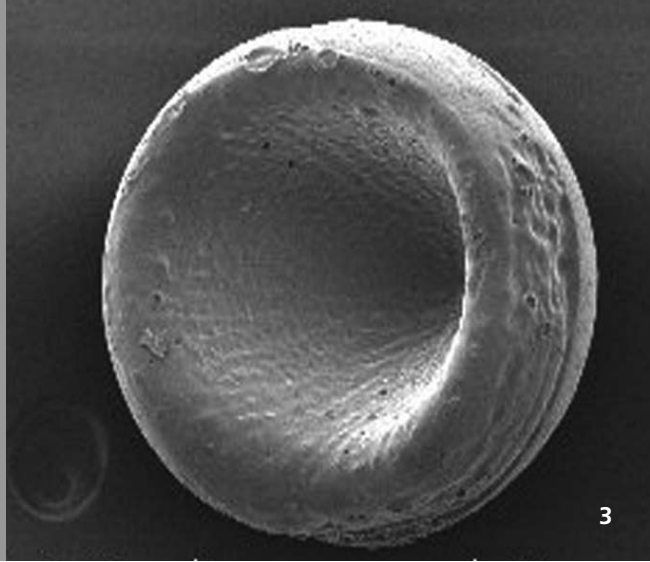
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Mihael Brajdic
Telefon +49 241 8906-205
mihael.brajdic@ilt.fraunhofer.de

Dr. Ingomar Kelbassa
Telefon +49 241 8906-356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de

1 Bohren von NiAl mittels Nanosekunden-Doppelpulsen und Scannersystem.

2 Bohrlochfeld in NiAl hergestellt mittels Perkussionsbohren mit Nanosekunden-Doppelpulsen.



BOHREN VON PMMA-KUGELN FÜR BRUSTIMPLANTATE

Aufgabenstellung

Brustimplantate bestehen meistens aus Silikon und sind für Röntgenstrahlung transparent. Dies ist insbesondere dann nachteilig, wenn Implantate z. B. nach Unfällen auf Beschädigung oder Lageveränderung untersucht werden müssen. Eine Forschungsgruppe an der Universität Maastricht hat zur Erzielung der Strahlungsundurchlässigkeit kleine Kugeln aus PMMA mit Jodatomen dotiert, die in geringer Anzahl gleichmäßig in der zunächst flüssigen Implantatmasse verteilt werden. Damit die PMMA-Kugeln in der Flüssigkeit schweben, soll ein Hohlraum durch Einbringen einer kleinen Bohrung erzeugt werden, in die das Silikon wegen der Viskosität nicht eindringen kann und auf diese Weise einen Auftrieb erzeugt. Nach Aushärtung der Silikonmasse sind die Kugeln homogen über die Implantatmasse verteilt.

Vorgehensweise

In einem ebenen Array aus 60 x 60 Vertiefungen wurden 0,9 mm dicke PMMA-Kugeln positioniert und jede Kugel mit dem Puls einer CO₂-Laserquelle bestrahlt. Die Pulslänge betrug 4 ms, die Pulsenergie 500 mJ. Die Strahlung wurde mit einer Linse der Brennweite 63 mm fokussiert und die Fokusslage so eingestellt, dass sich ein Strahldurchmesser von ca. 0,3 mm ergab. Auf diese Weise konnte jede PMMA-Kugel mit einer deutlichen Vertiefung versehen werden, siehe Bild 3.

Ergebnis

In einer einzigen Aufspannung konnten 3600 Jod-dotierte PMMA-Kugeln gebohrt werden. Für Implantate genügen üblicherweise etwa 1000 Kugeln, die bei Röntgenbestrahlung einen deutlichen Kontrast erzeugen und damit Lage und Verformung des Implantats indizieren. Falls die Applikation im chirurgischen Feld auf Resonanz stößt, soll die Laserbestrahlung in einer teilautomatisierten Anlage realisiert werden.

Anwendungsfelder

Die lasergebohrten, mit Jod dotierten PMMA-Kugeln sind für Brustimplantate im Bereich der rekonstruktiven und ästhetischen Chirurgie vorgesehen. Andere Anwendungsfälle dieser Technik liegen in der gezielten Abgabe von Medikamenten aus mikroperforierten Kugeln, die topisch in entsprechendes Tumorgewebe platziert werden.

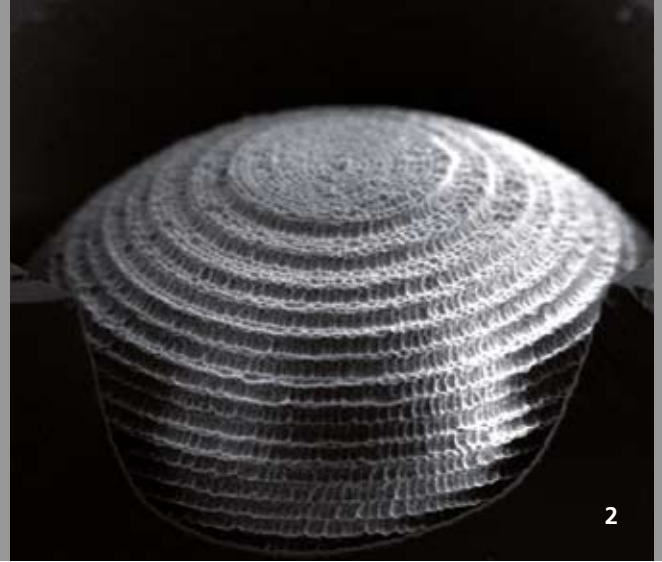
Ansprechpartner

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

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



1



2

MIKROBAUTEILE AUS QUARZGLAS DURCH SELEKTIVES LASERINDUZIERTES ÄTZEN

Aufgabenstellung

Quarzglas zeichnet sich durch große optische Transparenz sowie chemische, thermische und mechanische Beständigkeit aus. Die Herstellung komplexer Mikrobauteile aus Quarzglas ist für Anwendungen im Bereich Mikrosystemtechnik daher von besonderem Interesse.

Vorgehensweise

Durch Fokussierung von Femtosekundenlaserstrahlung im Volumen transparenter Materialien wird eine lokale Modifikation der Struktur und damit der Ätzbarkeit des Materials erzielt. Durch nachfolgendes, selektives Ätzen lassen sich auf diese Weise Hohlräume im Inneren des Materials erzeugen. Die in 3-D flexible Anordnung solcher Hohlräume ermöglicht die Herstellung von Mikrobauteilen aus dem transparenten Material. Für das Ätzen von Quarzglas wird Kalilauge eingesetzt.

Ergebnis

Mittels selektivem, laserinduziertem Ätzen werden Mikrobauteile in und aus Quarzglas hergestellt. Beispiele hierfür sind Zahnräder und Mikrosphären. Mit dem Einsatz eines am Fraunhofer ILT entwickelten Scannersystems dauert die Bestrahlung wenige Minuten pro Bauteil. Das maximal erreichte Aspektverhältnis der erzeugten Strukturen beträgt 1:200. Das Fertigungsverfahren ermöglicht die Herstellung von assemblierten Mikrobauteilen aus harten, spröden Werkstoffen wie Quarzglas.

Anwendungsfelder

Neben der Fertigung von Mikrobauteilen ermöglicht das selektive, laserinduzierte Ätzen das Einbringen von Löchern und Schnittfugen mit Mikrometernaauflösung in Quarzglas. Anwendungsfelder sind die Herstellung von Mikrofluidikelementen für die Bio- und Medizintechnik und mikromechanischen Bauteilen. Prinzipiell lässt sich das Verfahren auf andere transparente Materialien übertragen. Ergebnisse in Saphir, Rubin und Borosilikatgläsern sind bereits gezeigt worden.

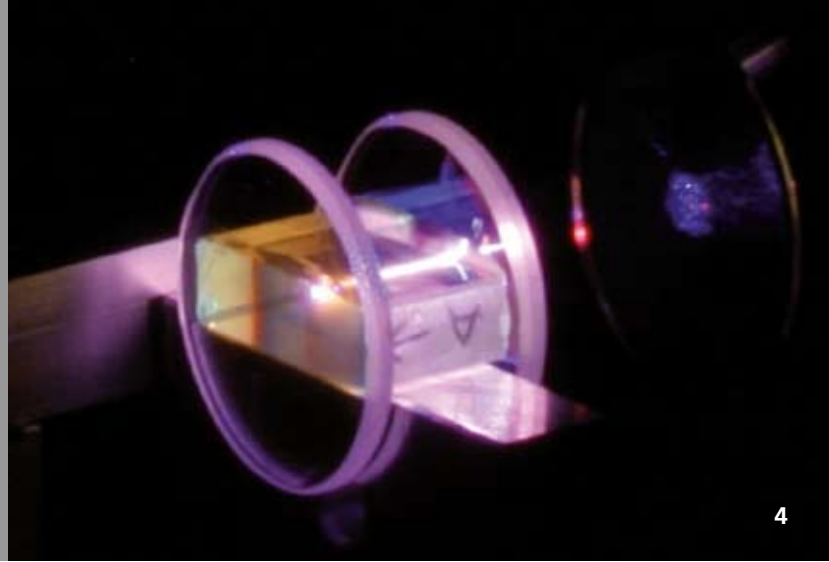
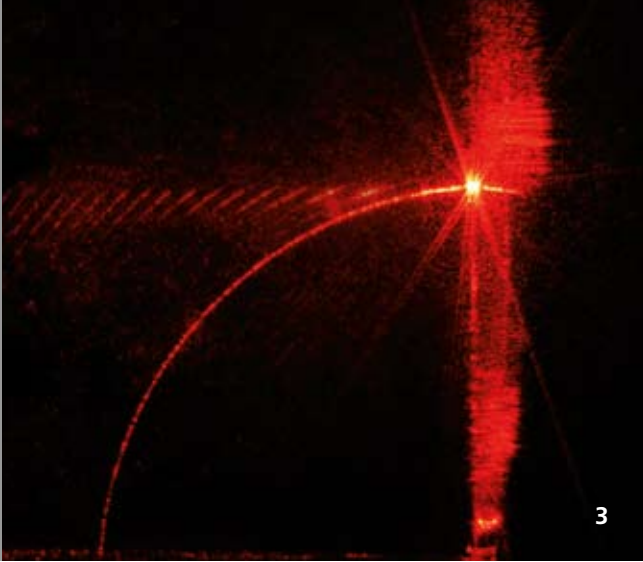
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Martin Hermans
Telefon +49 241 8906-471
martin.hermans@ilt.fraunhofer.de

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

1 Zahnräder aus Quarzglas, Ø 860 µm.

2 Mikrosphäre in Quarzglas, Ø 500 µm.



VOLUMENWELLENLEITER IN GLÄSERN UND KRISTALLEN

Aufgabenstellung

Die Anforderungen an eine Laserstrahlquelle sind für unterschiedliche Anwendungen vielfältig. Volumenwellenleiter in transparenten Dielektrika bieten die Möglichkeit, kompakte Bauteile zur Strahlformung und Strahlführung herzustellen. Laserstrahlung kann so für die individuelle Aufgabe durch Auslegung der Wellenleiter maßgeschneidert werden. Aufwändige Linsensysteme und Frequenzfilter können durch eine integrierte Lösung ersetzt werden.

Vorgehensweise

Im Volumen eines transparenten Materials wird mit fokussierter Femtosekunden-Laserstrahlung eine lokale Brechungsindexänderung induziert. Diese Modifikationen können mit einer Verfahrensgeschwindigkeit von bis zu 350 mm/s in drei Dimensionen generiert werden. Innerhalb solch einer erzeugten Brechungsindexänderung kann Licht durch die Wahl der geeigneten Parameter während des Strukturierens dämpfungsarm geführt werden. Da Femtosekunden-Laserstrahlung durch nichtlineare Prozesse absorbiert wird, sind Volumenwellenleiter in nahezu jedem transparenten Material wie beispielsweise Glas, Kunststoff oder kristallinen Medien möglich.

Ergebnis

Volumenwellenleiter mit einer numerischen Apertur von bis zu 0,1 können realisiert werden. Gekrümmte Wellenleiter, die geführtes Licht bis zu 90° umleiten, sind in Glas geschrieben worden. Mit dämpfungsarmen ($< 0,5$ dB/cm) Strukturen in laseraktivem Pr:YLiF₄ sind erste Schritte zu einer integrierten grünen Laserstrahlquelle gelungen. Erste Versuche zu Volumenwellenleitern mit integriertem Bragg-Gitter sind durchgeführt worden.

Anwendungsfelder

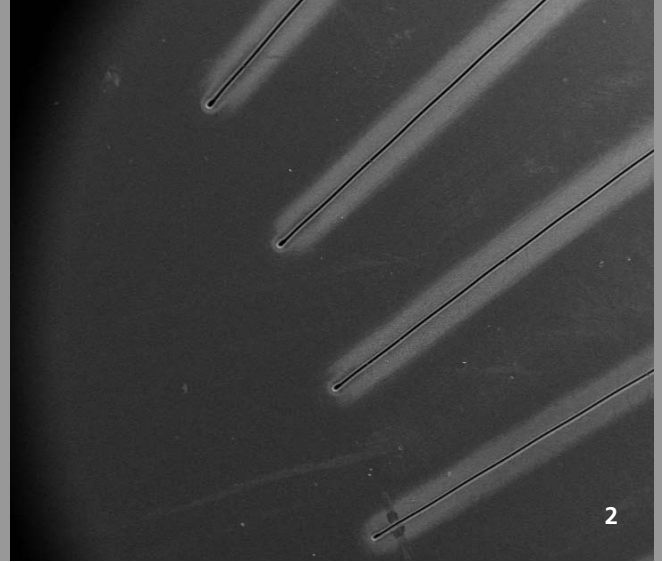
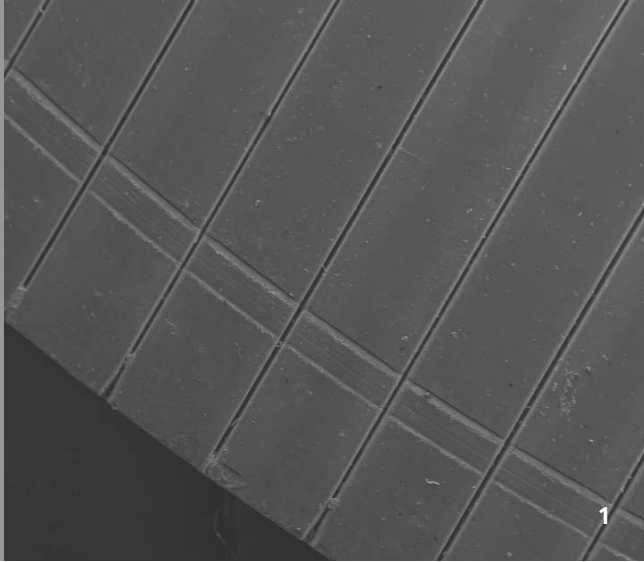
Kompakte grüne Laserstrahlquellen finden Anwendung in mobilen Projektionssystemen. Vor einer Laserdiode entsprechend angeordnete Wellenleiter ermöglichen die Strahlformung und Frequenzstabilisierung von Laserdioden. Somit kann die Strahlqualität der Laserdiode deutlich vergrößert werden. Für biomedizinische Anwendungen können durch Volumenwellenleiter integrierte Analysemethoden realisiert werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Dennis Beckmann
Telefon +49 241 8906-632
dennis.beckmann@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 Gekrümmter Volumenwellenleiter in Borosilikatglas.
4 Design eines Pr:YLiF₄-Volumenwellenleiterlasers.



MATERIALBEARBEITUNG MIT FS-LASERSTRAHLUNG GROSSER MITTLERER LEISTUNG

Aufgabenstellung

Hochleistungs-Ultrakurzpuls laser stellen eine neue Generation von Laserstrahlquellen dar, die für eine Vielzahl von Applikationen ein hohes Potenzial für eine Präzisionsfertigung bei hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten aufweisen. Die Basis hierfür sind zum einen eine weitgehend athermische Prozessführung sowie völlig neue Verfahren, die auf hochenergetischen Multiphotonenprozessen beruhen. Eine industrielle Nutzung war bisher jedoch mit den zur Verfügung stehenden Strahlquellen bei geringen Leistungen nur im Mikrobereich möglich. Ultrakurzpuls laser mit Pulsdauern im Femto- und Pikosekundenregime und großen mittleren Leistungen ermöglichen auch im Makrobereich völlig neue Fertigungsverfahren mit bisher nicht erreichbaren Qualitäten.

Vorgehensweise

Für Untersuchungen zum Perkussionsbohren, Abtragen und Schneiden von Metallen, Keramiken und Verbundwerkstoffen wird eine am Fraunhofer ILT entwickelte Fs-Laserstrahlquelle verwendet. Vergleichende Experimente mit kommerziell

erhältlichen Fs-Laserstrahlquellen gleicher Pulsenergie und geringerer Repetitionsrate sowie cw-Faserlasern gleicher mittlerer Leistung werden durchgeführt, um das Anwendungspotenzial von Fs-Laserstrahlung im Bereich der Makro-Materialbearbeitung zu evaluieren.

Ergebnis

Beim Abtragen von glasartigem Kohlenstoff (SIGRADUR®) wird durch die Verwendung von Fs-Laserstrahlung eine deutliche Verringerung von re-deponierten Abtragsprodukten und damit eine Vergrößerung der Bearbeitungsqualität gegenüber cw-Laserstrahlung erzielt. Verglichen mit kommerziellen Fs-Lasersystemen kleiner mittlerer Leistung wird eine Steigerung der Prozesseffizienz um mehrere Größenordnungen erreicht.

Anwendungsfelder

Durch das Ausnutzen nicht-linearer Effekte bei großen Intensitäten wird die Absorption von Laserstrahlung nahezu materialunabhängig. Daher eignet sich ultrakurz gepulste Laserstrahlung insbesondere für die Bearbeitung von Verbundwerkstoffen, Mehrschichtsystemen und Materialien, welche mit herkömmlicher Laserstrahlung nicht oder nur schwer zu bearbeiten sind. Durch die nun zur Verfügung stehenden großen mittleren Leistungen im Bereich einiger hundert Watt wird auch ein Einsatz in der industriellen Fertigung bei großem Durchsatz ermöglicht.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Dirk Wortmann
Telefon +49 241 8906-276
dirk.wortmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Ingomar Kelbassa
Telefon +49 241 8906-356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de

1 SIGRADUR® abgetragen mit 50 W Fs-Laserstrahlung
(Spurbreite 10 µm).

2 50 W cw-Laserstrahlung (Spurbreite 10 µm).

HERSTELLUNG VON GRAPHEN MITTELS ULTRAKURZ GE- PULSTER LASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

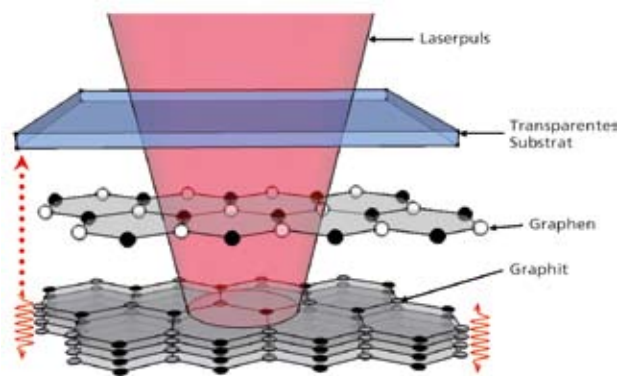
Mit zunehmender Miniaturisierung mikroelektronischer Bauteile steigen auch die Anforderungen an die verwendeten Werkstoffe. Mit der Herstellung von einlagigen Graphenschichten im Jahr 2004 ist aufgrund der herausragenden elektronischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften ein rasant wachsendes Feld wissenschaftlichen und technologischen Interesses entstanden. Das grundlegende Hindernis für die Anwendungen von Graphen in industriellem Maßstab stellt das Fehlen eines reproduzierbaren und substratunabhängigen Herstellungsverfahrens mit lateraler Auflösung dar.

Vorgehensweise

Ausgehend von hochorientiertem pyrolytischen Graphit wird ein neuartiger, nicht-thermischer Abtrags- und Depositionsprozess mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung ($t_p < 500$ fs) entwickelt. Dabei werden durch das Bestrahlen mit Pulsenergien unterhalb der klassischen Schwellfluenz für thermischen Abtrag die einzelnen Lagen in kristallinem Graphit zu resonanten Schwingungen angeregt. Durch Impulsübertrag der einzelnen Graphenlagen untereinander kommt es zu einem Ablösen der obersten, in sich intakten Lage.

Ergebnis

Mit Fluenzen, welche in etwa der durch molekulardynamische Simulationen beschriebenen Abtragsschwelle entsprechen, konnte mit Einzelpulsen der nicht-thermische Abtrag realisiert und anhand des für Graphen charakteristischen optischen Transmissionsverhaltens einzelne Monolagen optisch verifiziert werden.



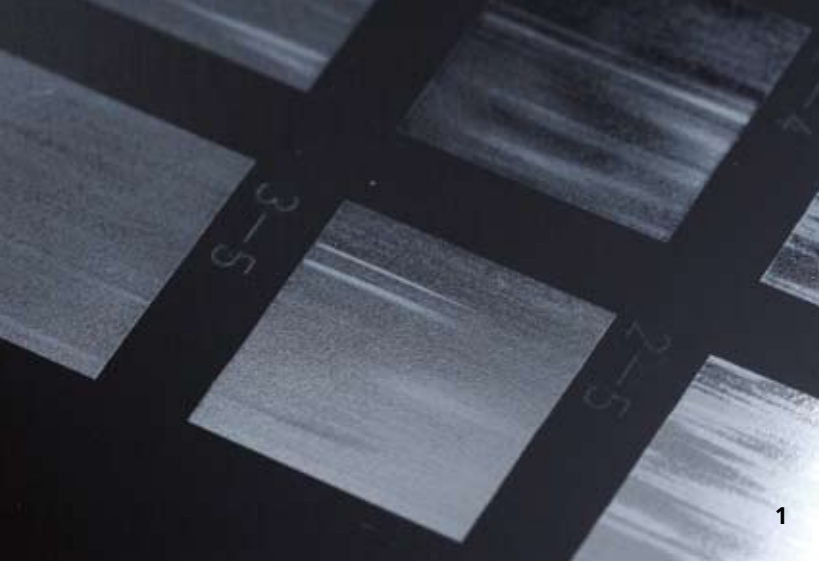
Anwendungsfelder

Neben dem grundlegenden physikalischen Interesse machen die außerordentlichen physikalischen und elektronischen Eigenschaften Graphen für viele technische Anwendungen von der Mikroelektronik über hochempfindliche Gassensoren und gasdichte Verpackungsbeschichtung bis hin zu denkbaren Bauteilen zur Erzeugung von THz-Strahlung durch Plasmonenanregung interessant.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Dirk Wortmann
Telefon +49 241 8906-276
dirk.wortmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Ingomar Kelbassa
Telefon +49 241 8906-356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



LASERDOTIEREN VON SILIZIUM FÜR DIE PHOTOVOLTAIK

Aufgabenstellung

Laserdotieren ist ein Verfahren zur selektiven Erhöhung der geringen Leitfähigkeit von niedrig-dotiertem Silizium im Bereich der metallischen Kontakte auf der Vorderseite der Solarzelle. Mit der Verbesserung des elektrischen Kontakts wird ein geringer Serienwiderstand hergestellt und damit die Effizienz der Solarzelle gesteigert. Obwohl Laserdotieren nur einen zusätzlichen Schritt mit geringem Aufwand in der Herstellungskette von Solarzellen darstellt, wird es momentan nur langsam in die industrielle Produktion eingeführt. Im Rahmen eines von der EU geförderten Projekts wird unter anderem dieses Verfahren optimiert und zur industriellen Reife geführt, mit dem Ziel die Effizienz von Standard-Solarzellen zu erhöhen, ohne die Herstellungskosten drastisch zu steigern.

Vorgehensweise

Durch Variation der Bearbeitungsparameter wird der Einfluss der Wellenlänge und der Pulsdauer auf die Dotierkonzentration und die Tiefe des Dotierprofils untersucht. Dabei soll gleichzeitig die industrielle Forderung nach einem Durchsatz von einem Wafer pro Sekunde erfüllt werden. Dazu werden neue Strahlformungs- und Strahlteilungsansätze zur Parallelisierung des Bearbeitungsprozesses verfolgt. Die Optimierung des Dotierungsprozesses und die Ermittlung eines idealen Dotierungsprofils erfolgt in enger Kooperation mit entsprechenden Zellherstellern, die die Gesamtprozessierung der Zelle und deren Charakterisierung vornehmen.

Ergebnis

Für die Ermittlung geeigneter Prozessparameter wurden unterschiedliche Strahlquellen und Bestrahlungsstrategien verwendet, um Teststrukturen mit verschiedenen Dotierungsprofilen auf Siliziumwafern zu erzeugen. Dabei wurde die Abhängigkeit der Dotierkonzentration von der Wellenlänge untersucht. Es zeigte sich, dass alle drei typischen Wellenlängen (1064, 532 und 355 nm) geeignet sind, um Silizium zu dotieren. Bei der Wellenlänge von 532 nm erhält man die besten Ergebnisse. Im nächsten Schritt werden Solarzellen aus dotierten Wafern hergestellt, deren Effizienz als Kenngröße für die Optimierung des Laserprozesses dienen soll.

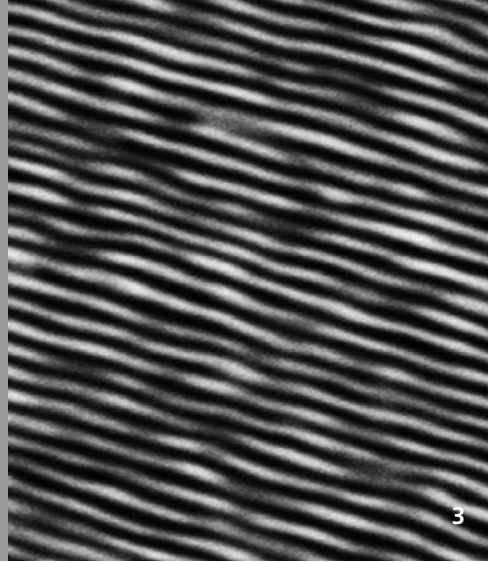
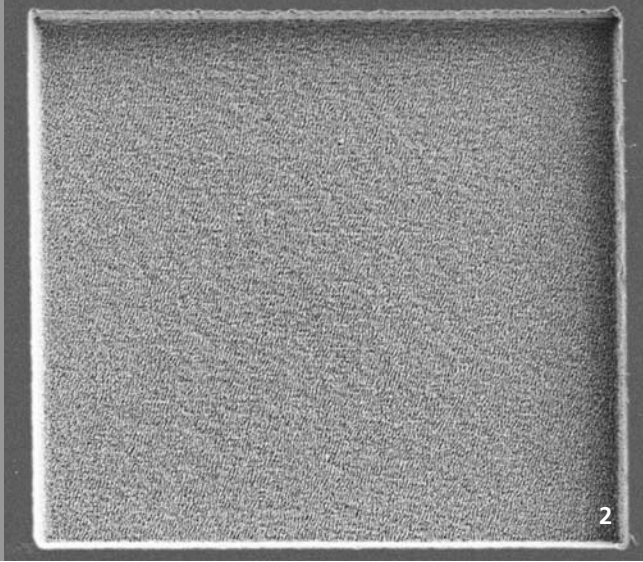
Anwendungsfelder

Das Verfahren eignet sich, um die Leitfähigkeit des Emitters an Silizium-Solarzellen selektiv zu erhöhen. Weitere Anwendungen dieser Technik in der Halbleiterindustrie, bei denen eine gezielte Einstellung des Dotierungsprofils gefordert ist, sind denkbar.

Ansprechpartner

Dr. Malte Schulz-Ruhtenberg
Telefon +49 241 8906-604
malte.schulz-ruhtenberg@ilt.fraunhofer.de

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



GROSSFLÄCHIGE NANOSTRUKTURIERUNG

Aufgabenstellung

Bei der Materialbearbeitung von Dielektrika mit stark fokussierter, ultrakurz gepulster Laserstrahlung kommt es zur Bildung von periodischen Nanostrukturen, sogenannten Riffeln. Bei großflächiger Bedeckung der Materialoberfläche können optische und mechanische Material- und Oberflächeneigenschaften beeinflusst werden. Die steigende Nachfrage nach funktionalisierten Oberflächen (z. B. Lotus-Effekt) auf verschiedensten Materialien setzt eine große Produktivität voraus.

Vorgehensweise

Durch starke Fokussierung von Femtosekundenlaserstrahlung auf die Oberfläche von transparenten Dielektrika werden periodische Nanostrukturen erzeugt. Um Probenflächen komplett zu füllen, wird die Probe mit einer x-y-Positionieranlage verfahren, während mit einem Hochgeschwindigkeits-Scan-System der Laserstrahl mäanderförmig über das Scanfild abgelenkt wird. Um auch bei großen Scangeschwindigkeiten die Beladung der bearbeiteten Fläche mit Debris (Abtragprodukten) zu minimieren, wird Druckluft als Prozessgas genutzt. Alternativ wird das Material knapp unterhalb der Oberfläche modifiziert und in einem zweiten Prozessschritt werden die Riffel durch Ätzen mit Flusssäure frei gelegt.

Ergebnis

Durch den Einsatz eines neu entwickelten Hochgeschwindigkeits-Scan-Systems mit großer Numerischer Apertur ($NA = 0,2 - 0,9$) und Laserstrahlquellen mit hoher Repetitionsrate ($f > 1 \text{ MHz}$) wird bei hoher Präzision eine große Prozessgeschwindigkeit erreicht. Damit ist es erstmalig gelungen, großflächige zusammenhängende Riffelfelder ($700 \mu\text{m} \times 700 \mu\text{m}$) herzustellen. Derzeit werden sowohl die Änderung optischer Eigenschaften von transparenten Dielektrika als auch die mechanischen Oberflächeneigenschaften getestet.

Anwendungsfelder

Anwendung findet die großflächige Nanostrukturierung bei der Herstellung von funktionalen Oberflächen im Bereich Life Science und Medizintechnik. Aber auch im Maschinenbau sind Oberflächen mit speziellen tribologischen Eigenschaften von Interesse.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Maren Hörstmann-Jungemann
Telefon +49 241 8906-472
maren.hoerstmann-jungemann@ilt.fraunhofer.de

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

- 2 REM-Aufnahme einer $130 \mu\text{m} \times 130 \mu\text{m}$ großen Riffel-Fläche auf Saphir.
3 REM Aufnahme: Riffel auf Saphir mit einer Periodizität (Abstand zwischen zwei Erhöhungen) von 260 nm .



SELEKTIVE OBERFLÄCHEN-FUNKTIONALISIERUNG FÜR GEZIELTES ZELLWACHSTUM

Aufgabenstellung

Für die Herstellung medizinischer Produkte werden häufig unterschiedlichste Polymere eingesetzt, die nicht immer die geeigneten Oberflächeneigenschaften für einen Einsatz im Körper mitbringen. Dazu werden derzeit in nasschemischen Verfahren großflächige, einheitliche Funktionalisierungen aufgebracht, die die Integration in das Gewebe erleichtern sollen. Da das Zellwachstum in Geweben aber häufig von unterschiedlichen chemischen und topographischen Faktoren beeinflusst wird, werden Verfahren benötigt, mit denen lokale Funktionalitäten erzeugt werden können. Ziel ist es daher, selektiv chemische Ankergruppen an der Polymeroberfläche zu generieren, an die eine Ankopplung funktioneller Moleküle möglich ist.

Vorgehensweise

Spritzgegossenes PMMA wird mit Hilfe einer Excimerlaserstrahlquelle unterhalb der Abtragsschwelle belichtet. An die entstehenden Carboxylgruppen kann anschließend ein Polyethylenimin nasschemisch angebunden werden. Der Nachweis der Funktionalisierung erfolgt durch die Ankopplung von Fluoreszenzmarkern, die spezifisch an das Polyethylenimin anbinden.

Ergebnis

Es konnte gezeigt werden, dass durch den Einsatz von Excimerlaserstrahlung lokale Funktionalitäten durch die Erzeugung freier Oberflächenradikale erzeugt werden können. Durch die Variation der Energieintensität unterhalb der Abtragsschwelle ist es möglich, die Anzahl der entstehenden Carboxylgruppen einzustellen und damit den Grad der Funktionalität lokal zu beeinflussen.

Anwendungsfelder

Die lokale Funktionalisierung von Polymeren kann bei der Herstellung medizinischer Implantate Einsatz finden. Weitere Anwendungsmöglichkeiten bietet die lokale Metallisierung von Polymeren.

Ansprechpartner

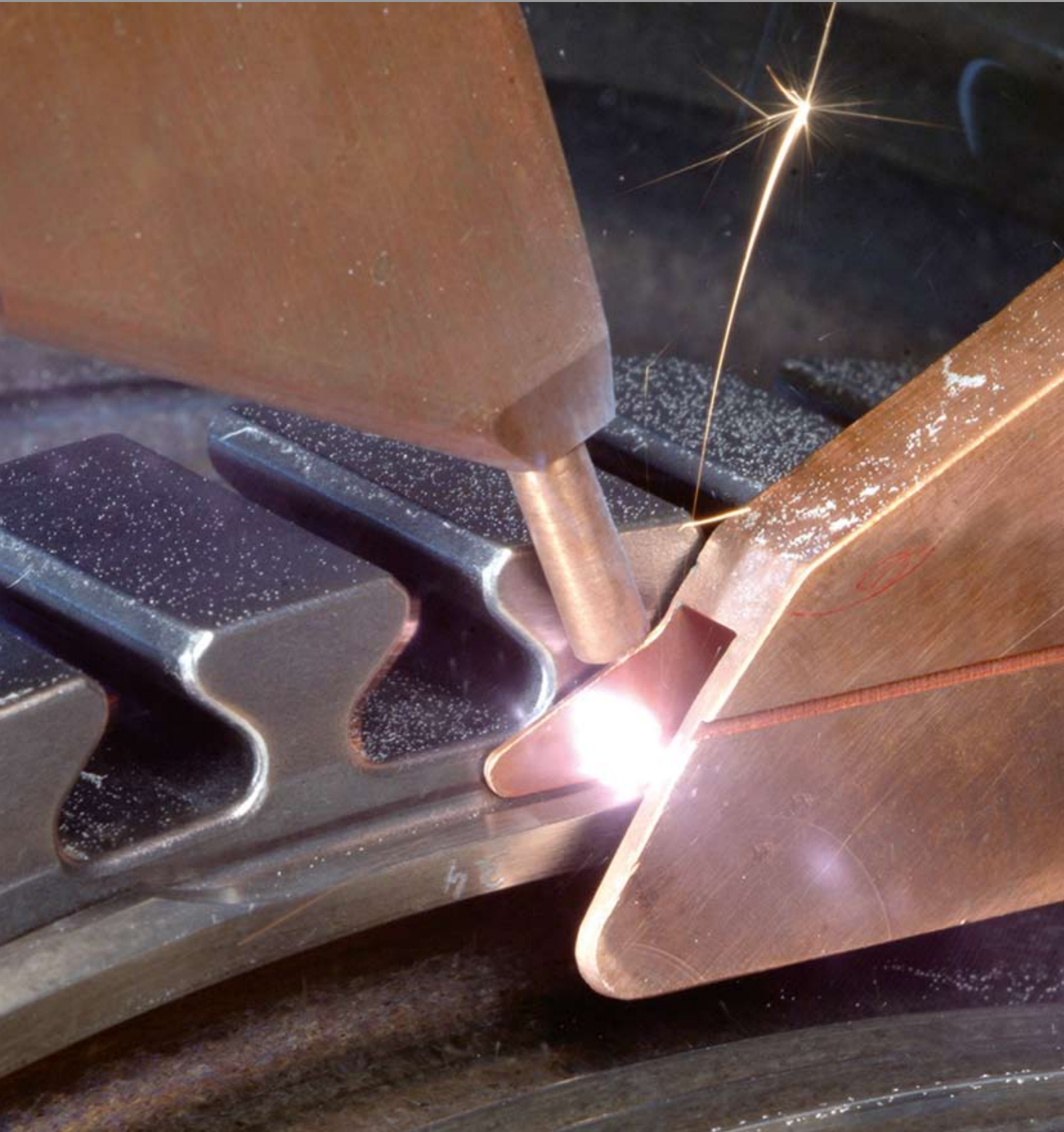
Dipl.-Biol. Nadine Seiler
Telefon +49 241 8906-605
nadine.seiler@ilt.fraunhofer.de

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

LASERANLAGEN UND SYSTEMTECHNIK

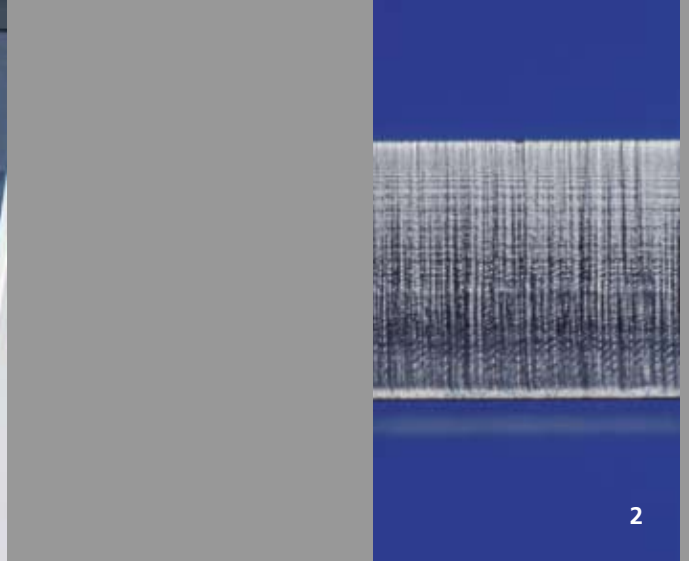
Das Geschäftsfeld konzentriert sich einerseits auf die Entwicklung von Prototypanlagen für Laserapplikationen und plasmatechnische Anwendungen sowie andererseits auf die Lasersystemtechnik mit Schwerpunkt Automation und Qualitätssicherung. Anwendungsbereiche sind u. a. Schweißen, Schneiden, Härten, Reparaturbeschichten, 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.

LASERANLAGEN UND SYSTEMTECHNIK



INHALT

Selbstoptimierende Laser-Schneidmaschine	106
Prozessentwicklung und Anlagentechnik für das Auftragschweißen von Triebwerkskomponenten	107
Demonstratorzelle Laserauftragschweißen für Turbomaschinenkomponenten	108
Innovatives und Ressourcen-effizientes Anlagenkonzept zum Laserschweißen von Kunststoffen	109
Mikrochirurgisches Laseroperationssystem	110
Scannersystem für rissfreie in-volume Modifikationen	111
Prozessüberwachung und adaptive Regelung für das Laser-Hybridschweißen	112
EQOS - Qualitätsüberwachung beim Laserstrahlhartlöten	113
Prozessüberwachung beim Auftragschweißen mit Laserstrahlung	114



SELBSTOPTIMIERENDE LASER-SCHNEIDMASCHINE

Aufgabenstellung

Im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« der RWTH Aachen ist das Fraunhofer ILT u. a. an dem Projekt »Integration von selbst-optimierenden 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.

Vorgehensweise

Zentrale, methodisch prozessübergreifende Werkzeuge sind Metamodelle, die u. a. Abhängigkeiten von Prozessgrößen und Qualitätsgrößen schnell an der Maschine verfügbar machen sollen. Zur Definition von experimentellen Stützstellen für Metamodelle und zur Bestimmung von Prozessdomänen wurden die Einflüsse der F-Zahl und der Fokusslage auf das Prozessfenster hinsichtlich einer hohen Produktqualität mit geringer Rauhtiefe und bartfreiem Laserstrahlschnitt experimentell untersucht.

Um das Laserstrahlschneiden aufgrund des aktuellen Prozesszustands zu steuern, ist ein Werkzeug zur Signalanalyse und erweiterten Steuerung von Maschinenkomponenten notwendig. Hierzu wird eine echtzeitfähige Steuerungs- und Regelungseinheit in die Anlage integriert, auf deren Basis durch geeignete Anpassung von Maschinenparametern während der Bearbeitung der aktuelle Prozesszustand geregelt wird.

Ergebnis

In eine Laserschneidmaschine wird eine High-Speed Kamera zur koaxialen Prozessbeobachtung integriert, die ausgewertete prozessrelevante Bildmerkmale extrahiert. Metamodelle ermitteln anhand dieser Daten Soll- und Istwert der Prozessparameter. Die Ausgabegrößen der Metamodelle werden zur Optimierung der Maschinenparameter in Echtzeit eingesetzt, um selbstoptimierend auf die Änderung äußerer Einflussgrößen oder Anforderungen zu reagieren.

Zunächst wird die Selbstoptimierung anhand der Fokusslage demonstriert, indem auf eine fokusslagenabhängige, sensorisch erfassbare Prozessgröße geregelt wird, die den Prozess in einem optimalen Parameterbereich führt, ohne dass die Fokusslage explizit bekannt sein muss.

Anwendungsfelder

Die in diesem Projekt für das Laserschneiden entwickelte Methodik kann unter anderem auch in Bereichen wie dem Laserschweißen, Spritzgießen oder Fräsen eingesetzt werden.

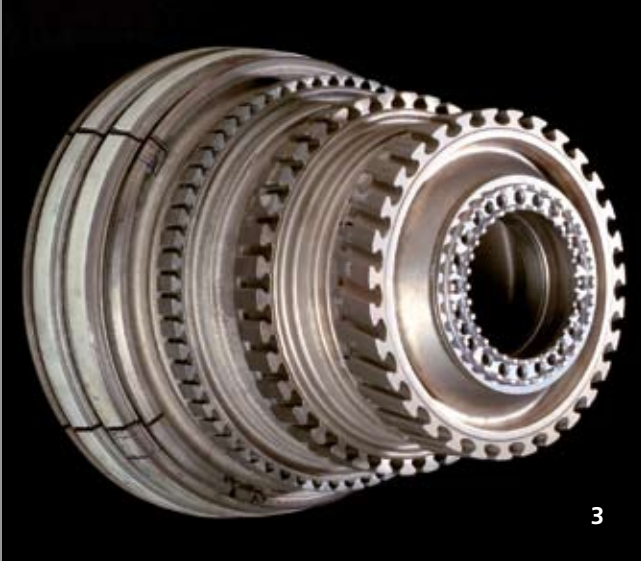
Ansprechpartner

M. Sc. Thomas Molitor
Telefon +49 241 8906-426
thomas.molitor@ilt.fraunhofer.de

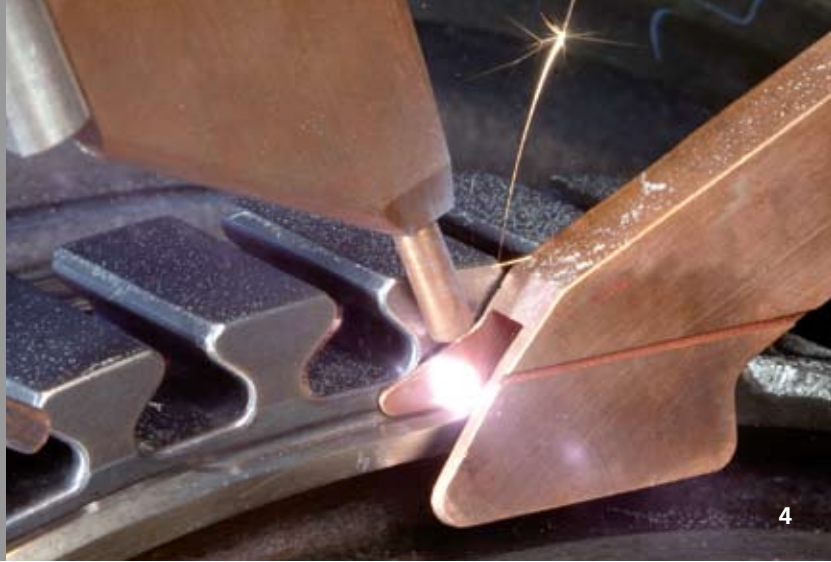
Dr. Dirk Petring
Telefon +49 241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

1 Schneidprozess TruLaser 5030.

2 Schnittkante.



3



4

PROZESSENTWICKLUNG UND ANLAGENTECHNIK FÜR DAS AUFTRAG- SCHWEISSEN VON TRIEB- WERKSKOMPONENTEN

Aufgabenstellung

Die Gewährleistung der Flugsicherheit hat in der zivilen Luftfahrt oberste Priorität. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Funktionsfähigkeit der Triebwerke. In regelmäßigen Intervallen werden sie vollständig demontiert und umfassend gewartet. Bestimmte Triebwerkskomponenten unterliegen aufgrund extremer Druck- und Temperaturschwankungen einem hohen Verschleiß. Reparaturen von verschlissenen Bereichen in Rotoren und Gehäusen sind mit konventionellen Auftragsschweißverfahren und Beschichtungstechniken nicht oder nur bedingt möglich. Die Teile müssen durch neue ersetzt werden, was sehr kostenintensiv ist. Gegenüber konventionellen Beschichtungsverfahren bietet das Laserauftragschweißen Vorteile, wie die metallurgische Verbindung der Schicht mit dem Grundwerkstoff und geringe Wärmebeeinflussung des Bauteils, so dass sich dieses nicht verzieht. Ziel ist es, das Laserauftragschweißen für die Instandsetzung von Triebwerkskomponenten zu qualifizieren und eine Anlagen- und Prozessintegration beim Kunden durchzuführen.

Vorgehensweise

Die Verfahrensentwicklung erfolgt für die Komponenten Frontrotor (Titanlegierung), Hochdruckturbinengehäuse (Nickelbasislegierung) und Kühlluftplatte (Nickelbasislegierung), an denen verschiedene Bereiche repariert werden müssen. Die Verfahrensentwicklung beinhaltet die komplette

Qualifizierung des Verfahrens bis zu entsprechenden Probeinstandsetzungen. Basierend auf den Ergebnissen wird ein Anlagenkonzept mit einem Anlagenhersteller erarbeitet und beim Endkunden implementiert.

Ergebnis

Alle Reparaturen konnten erfolgreich durchgeführt und zertifiziert werden. Durch spezielle Pulver- und Schutzgasdüsen können Komponenten aus Titan in Umgebungsatmosphäre auftragsgeschweißt werden. Eine entsprechende Anlagentechnik wurde beim Kunden erfolgreich installiert und in die Produktion gebracht.

Die Arbeiten wurden in Zusammenarbeit mit den Firmen Rolls-Royce Deutschland und TRUMPF durchgeführt.

Anwendungsfelder

Das Laserauftragschweißen kann für die Reparatur, den Verschleiß- und den Korrosionsschutz u. a. in den Bereichen Turbomaschinen, Werkzeug- und Formenbau, Maschinen-, Getriebe- und Ölfeldkomponenten eingesetzt werden.

Ansprechpartner

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

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

3 Frontrotor.

4 Reparatur eines Titan-Frontrotors
durch Laserauftragschweißen.



DEMONSTRATORZELLE LASERAUFTRAGSCHWEISSEN FÜR TURBOMASCHINEN- KOMPONENTEN

Aufgabenstellung

Im Rahmen des Innovationsclusters »Integrative Produktionstechnik für energieeffiziente Turbomaschinen« (TurPro) werden Fertigungs- und Reparaturverfahren für Turbomaschinenkomponenten entwickelt. Zur Umsetzung der entwickelten Verfahren wird am Fraunhofer ILT eine Demonstratorzelle für das Laser-Auftragschweißen von Turbomaschinenkomponenten aufgebaut.

Vorgehensweise

Ausgehend von den Randbedingungen der Turbomaschinenkomponenten wurde eine 7-Achsanlage Trumpf LaserCell 1005 mit einem Dreh-Kipp-Tisch für das Laser-Auftragschweißen installiert.

Ein 1 kW Scheibenlaser, der durch seine hohe Strahlqualität die Zugänglichkeit an den Bauteilen gewährleistet, ist in die Anlage integriert. Die Laserstrahlung wird mit einem 100 µm Lichtleitkabel zum Bearbeitungskopf, bestehend aus einer Optik mit 200 mm Brennweite (Fokusbereich 160 µm)

und einer Fraunhofer ILT Koaxial-Pulverdüse, geführt. Für hohe Laserleistungen steht ein 10 kW Scheibenlaser, angebunden über ein 300 µm Lichtleitkabel, zur Verfügung. Der 10 kW Laser wird mit einem Bearbeitungskopf, bestehend aus einer Zoomoptik (Fokusbereich einstellbar im Bereich 440 µm bis 6,2 mm) und einer Fraunhofer ILT-Dreistrahl-Pulverdüse, verwendet. Die höheren Laserleistungen sollen zur Steigerung der Aufbaurrate eingesetzt werden.

Mit dem eingebauten Messtaster werden die Bauteile hinsichtlich Position und Ausrichtung vermessen. Die Integration eines Linienscanners zur Digitalisierung von Bauteilen und einer Software zur Programmierung von Messfahrten ist für das Jahr 2010 vorgesehen.

Ergebnis

Die Anlage wurde installiert und in Betrieb genommen. Seit Mitte November steht die Anlage für Versuche zur Verfügung.

Anwendungsfelder

Primäre Anwendungsfelder sind Komponenten für stationäre Turbomaschinen (Gas- und Dampfturbinen) und fliegende Turbomaschinen (Flugtriebwerke). Die gewonnenen Erkenntnisse können auch auf andere Bereiche wie z. B. den Werkzeug- und Formenbau übertragen werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Frank Mentzel
Telefon +49 241 8906-603
frank.mentzel@ilt.fraunhofer.de

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

1 Anlage zum Laser-Auftragschweißen
von Turbomaschinenkomponenten.

2 Bearbeitungskopf und Dreh-Kipp-Tisch.



INNOVATIVES UND RESSOURCEN-EFFIZIENTES ANLAGENKONZEPT ZUM LASERSCHWEISSEN VON KUNSTSTOFFEN

Aufgabenstellung

Derzeit ist der Anteil des Laserstrahlkunststoffschweißens verglichen mit den konventionellen Technologien wie Ultraschallschweißen oder Kleben vernachlässigbar. Durch eine Verringerung der Investitionskosten für Laseranlagen und die Erhöhung der Flexibilität kann das Laserstrahlschweißen einen signifikanten Teil der Kunststoffschweißtechnik übernehmen. Um das Laserstrahlschweißen von Kunststoffen zu einem massentauglichen Fertigungsverfahren zu qualifizieren und gleichzeitig neue Designmöglichkeiten zu eröffnen, hat das Fraunhofer ILT das TWIST®-Verfahren Transmission Welding by an Incremental Scanning Technique entwickelt.

Vorgehensweise

Das TWIST®-Verfahren basiert auf der Verwendung von neuartigen Hochleistungs-Faserlasern mit extremer Fokussierbarkeit und optischen Hochgeschwindigkeitsablenksystemen. Aufgrund der geringen benötigten Laserleistung macht der Anteil der Strahlquelle an den Gesamtkosten nur einen kleinen Anteil aus. Die Anlagenkosten bestimmen sich primär aus den peripheren Komponenten. Mit den dabei gleichzeitig sehr kompakten Komponenten lässt sich darüber hinaus eine werkstatttaugliche Maschinenteknik realisieren, die auch für Handwerk und Kleinserienproduktion interessant und wirtschaftlich ist.

Ergebnis

Im Vergleich zu standardisierten Laserkunststoffschweißanlagen führt das neue Anlagenkonzept zu einer erheblichen Reduktion der Investitionskosten, bietet eine erhöhte Kompaktheit und ist nahezu wartungsfrei. Das TWIST®-Anlagenkonzept zeichnet sich, verglichen mit konventionellen Fügeverfahren, durch seine höhere Prozessgeschwindigkeit und Flexibilität bei der Gestaltung von Schweißkonturen aus. Es ist somit besonders geeignet für Klein- und Mittelserien, die einer schnellen Umrüstung bedürfen. Mit der Verwendung neuer Wellenlängen in Kombination mit dem TWIST®-Konzept ist es nun auch möglich, transparente Bauteile ohne Infrarotabsorber mit hoher Geschwindigkeit miteinander zu verschweißen.

Anwendungsfelder

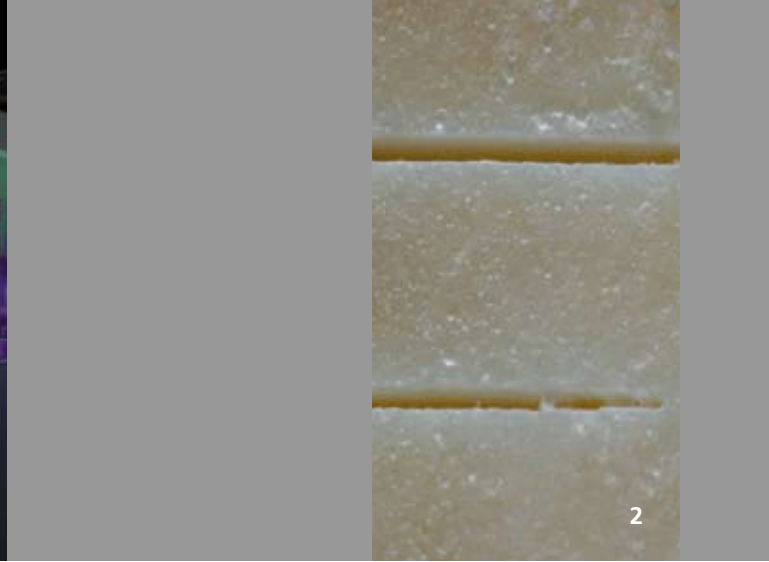
Die TWIST®-Anlage bietet sich an für die Herstellung einer Vielzahl von Kunststoffprodukten aus Medizintechnik, Haushaltgerätetechnik oder Automobiltechnik. Insbesondere bei Produkten, die nur eine minimale thermische Belastung erlauben, wie beispielsweise in der Mikrofluidik, kann das TWIST®-Verfahren seine Vorzüge ausspielen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Andrei Lucian Boglea
Telefon +49 241 8906-217
andrei.boglea@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 TWIST®-Anlage: ein kosteneffizientes Konzept zum Laserschweißen von Kunststoffen.
4 TWIST®-Anlage (Seitenansicht).



MIKROCHIRURGISCHES LASEROPERATIONSSYSTEM

Aufgabenstellung

Bei neurochirurgischen Eingriffen am Kopf und an der Wirbelsäule kommen mechanische Fräsen und Bohrer zur Anwendung, die unter hohem Anpressdruck Knochenmaterial mechanisch abtragen. In der Wirbelsäulenchirurgie wird durch Abrutschen des Fräskopfs in ca. 5 Prozent der Fälle die spinale Hirnhaut verletzt. Bei Schädelöffnungen liegt die Rate der Hirnhautverletzungen bei ca. 10 Prozent. Die Folge sind infektionsbedingte Wundheilungsstörungen, unter anderem Hirnhautentzündungen mit zum Teil tödlichem Verlauf. In seltenen Fällen verletzt der Chirurg beim Auffräsen des Wirbelkörpers das dahinter liegende Rückenmark, was bei den betroffenen Patienten zu schweren Behinderungen führt.

Vorgehensweise

Um solche Verletzungen auszuschließen und das Operationsrisiko zu minimieren, soll ein Laseroperationssystem zum kontrollierten Schneiden von Hartgewebe mit Kurzpuls Laserstrahlung entwickelt werden. Mit diesem Operationssystem wird der Laserprozess vom Chirurgen über ein Handstück geführt. Ein dynamisches Assistenzsystem unterstützt den Chirurgen bei der Führung des Handstücks, indem es die mikroskopische Schnittführung des Operateurs überwacht und für die Fein-

positionierung des Laserstrahls innerhalb der 0,5 mm breiten Schnittfuge sorgt. Durch die enge Schnittführung soll die für den Operationsbetrieb erforderliche Schneidgeschwindigkeit von 15 mm/s für bis zu 10 mm dicke Knochen gewährleistet werden. Der Einsatz von Pikosekunden Laserstrahlung reduziert den Wärmeeintrag beim Schneiden von Knochen und verhindert dadurch die Karbonisierung des abzutragenden Gewebes.

Ergebnis

Für das mikrochirurgische Laseroperationssystem wurde ein Hochleistungs-Pikosekundenlaser mit den folgenden Parametern entwickelt: Pulsdauer $\tau = 25$ ps, Repetitionsfrequenz $f = 10$ kHz, Pulsenergie $E_p = 1$ mJ, Wellenlänge $\lambda = 532$ nm. In Abtragsexperimenten an Knochenproben konnte mit diesem Lasersystem ein nicht thermischer Gewebeabtrag an Knochen ohne Karbonisierung mit einer Abtragsrate von ca. 4 mm³/min demonstriert werden.

Anwendungsfelder

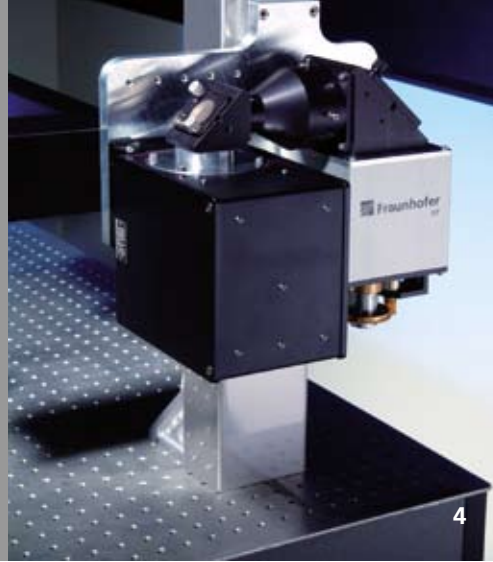
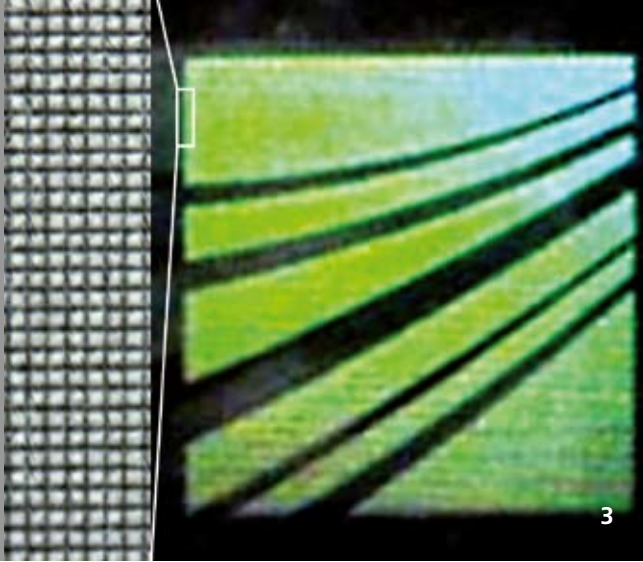
Neben den genannten neurochirurgischen Applikationen kann das Laseroperationssystem überall dort eingesetzt werden, wo Knochenabtrag mit mikrochirurgischer Präzision erforderlich ist, z. B. in der Mund- und Kieferchirurgie oder bei Operationen am Gehörapparat.

Ansprechpartner

Dr. Achim Lenenbach
Telefon +49 241 8906-124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

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

- 1 Hochleistungspikosekundenlaser
für den nicht-thermischen Hartgewebeabtrag.
- 2 Laserschnitt in einem Unterschenkelknochen
vom Rind.



SCANNERSYSTEM FÜR RISSFREIE IN-VOLUME MODIFIKATIONEN

Aufgabenstellung

Die rissfreie Volumenbearbeitung von transparenten Materialien zur Herstellung von Wellenleitern, Sicherheitsmarkierungen und Mikrobauteilen mittels selektivem, laserinduziertem Ätzen erfordert die Fokussierung von fs-Laserstrahlung mit einer Numerischen Apertur größer 0,2. Kommerziell erhältliche Scannersysteme sind mit Objektiven kleiner Numerischer Apertur ausgestattet. Um möglichst große Prozessgeschwindigkeiten bei großer Numerischer Apertur zu erreichen, ist eine Weiterentwicklung aktueller Positionier- und Scansysteme erforderlich.

Vorgehensweise

Die Spiegel eines kommerziellen Galvanometer-Scanners werden mit einem 1:1 Teleskop in die Ebene der Austrittspupille eines telezentrischen Mikroskopobjektivs abgebildet. Zur Erweiterung des Scanbereichs in drei Dimensionen ist die Scanner-Einheit mit einer XYZ-Linearpositioniereinheit verbunden. Das Objektiv ist mit einem Korrekturring zur Kompensation von sphärischen Aberrationen ausgestattet. Die Ansteuerung der Galvanometer-Spiegel, des Korrekturings am Mikroskopobjektiv sowie die der Linearpositioniereinheit erfolgt mittels einer am Fraunhofer ILT entwickelten CAD/CAM-Software.

Ergebnis

Das entwickelte Scannersystem ermöglicht rissfreie Markierungen in transparenten Materialien mit echter 3-D-Flexibilität. Je nach eingesetztem Mikroskopobjektiv werden die Markierungen bis zu einer Materialtiefe von 2 mm mit einer maximalen Scangeschwindigkeit von 50 - 400 mm/s, einer Auflösung von 100 - 400 nm, einer Numerischen Apertur von 0,4 bis 1,2 und einem Fokusdurchmesser von 0,6 bis 2,2 μm eingebracht.

Anwendungsfelder

Das entwickelte Scannersystem wird für das selektive, laserinduzierte Ätzen, das Schreiben von Wellenleitern und Mikro-markierungen sowie die Funktionalisierung von Oberflächen durch Nanostrukturen eingesetzt. Applikationen hierfür sind z. B. die Fertigung mikrooptischer und mikromechanischer Komponenten oder die tribologische Oberflächenbehandlung.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Martin Hermans
Telefon +49 241 8906-471
martin.hermans@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 Markierung in Saphir $800 \times 800 \mu\text{m}^2$,
Farbe durch Beugung.
4 Neuentwickeltes Scannersystem.



PROZESSÜBERWACHUNG UND ADAPTIVE REGELUNG FÜR DAS LASER- HYBRIDSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Beim Hybridschweißen werden zwei Prozesse - das Laserstrahl- und das Lichtbogenschweißen - miteinander gekoppelt. Im Vergleich zu den konventionellen Lichtbogenverfahren werden höhere Geschwindigkeiten bei gleichzeitig geringerem Wärmeeintrag und Verzug erreicht. Die Verfahrenskopplung bedingt komplexe Wechselwirkungen. Um Bleche mit dem Hybridprozess automatisiert und rückverfolgbar mit gleichbleibend hoher Qualität zu fügen, ist eine Vielzahl von Parametern einzustellen und zu dokumentieren. Zahlreiche Variablen müssen online gemessen werden. Die Signale müssen aufgezeichnet und teilweise sogar geregelt werden. Das Ziel ist daher die Schaffung eines Prozessüberwachungssystems auf der Basis einer Netzwerkarchitektur, die offen für künftige Erweiterungen ist.

Vorgehensweise

Im Rahmen des von der EU geförderten Vorhabens HQ-Tubes wird ein Demonstrator für das Hybridschweißen von Rohren aufgebaut. Verfügbare Komponenten zur Überwachung von Parametern und zur Regelung von Prozessvariablen werden in einem offenen Diagnose-System (ODS) vernetzt, das relevante Parameter dokumentiert, verfügbare Signale aufzeichnet und das die nachträgliche systematische Zuordnung von Ergebnissen aus Post-Prozess Untersuchungen ermöglicht. Damit soll

die systematische Analyse der Wechselwirkungen zwischen Parametern, Signalen bzw. Variablen und Ergebnissen des Hybridprozesses ermöglicht werden.

Ergebnis

Der Demonstrator besteht aus einer Roboteranlage, einem 10 kW Scheibenlaser und einer MSG-Schweißstromquelle. In der Hybridanordnung an der Hand des Roboters werden die Laserstrahlung und der MSG-Lichtbogen zusammengeführt. Ein Nahtfolgesystem ermittelt vorlaufend die korrekte Position der Hybridanordnung zur Fuge. Der koaxiale Prozessmonitor (CPC) zeichnet mit einer Hochgeschwindigkeitskamera die Wechselwirkungszone des Prozesses auf. Ein speziell ausgelegter Root Monitor überwacht den Schweißprozess an der Unterseite des Stumpfstoßes und inspiziert im Nachlauf die erstarrte Nahtwurzel. Die eingestellten Parameter sowie die mit CPC und Root Monitor aufgezeichneten Bilddaten werden im ODS wieder auffindbar in einer Datenbankstruktur abgelegt.

Anwendungsfelder

- Automatisierte Herstellung von Rohren mit Längs- und Spiralnähten
- Automatisierte Herstellung von 3-D-Strukturen und Segmenten im Schiffbau

Die Arbeiten werden von der Europäischen Union im Rahmen des Siebten Rahmenprogrammes (FP7) »Capacities« - Research for the benefit of SMEs - gefördert.

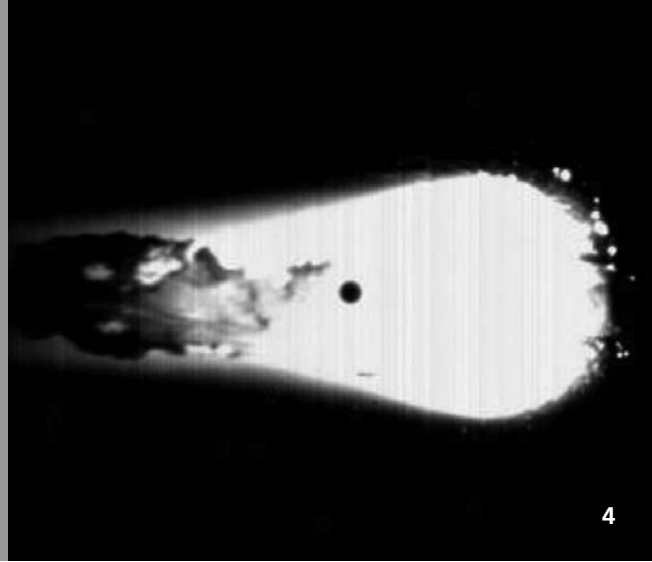
Ansprechpartner

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

Dr. Stefan Kaierle
Telefon +49 241 8906-212
stefan.kaieler@ilt.fraunhofer.de

1 Roboteranlage mit Hybridanordnung.

2 Hybridanordnung mit koaxialer
Prozessüberwachung.



EQOS - QUALITÄTSÜBERWACHUNG BEIM LASERSTRAHLHARTLÖTEN

Aufgabenstellung

Das Laserstrahlhartlöten findet zurzeit verstärkten Einsatz beim Fügen von anspruchsvollen Serienbauteilen in der Automobilbranche. Die frühzeitige Erkennung von Prozessstörungen und Nahtimperfectionen ist daher von großem wirtschaftlichem Interesse. Ziel des vom BMWI geförderten Forschungsvorhabens EQOS »Entwicklung und Qualifizierung eines einfachen Online-Qualitätsüberwachungssystems für das industrielle Laserstrahlhartlöten« ist, die Vielzahl der heute eingesetzten Überwachungssysteme durch ein einziges System zu ersetzen, welches mehrere bekannte, aber auch neue Funktionen in sich vereint.

Vorgehensweise

Die Qualität der lasergelöteten Naht wird erstmalig mittels orts- und zeitaufgelöster Bildverarbeitung nicht nur im sichtbaren, sondern auch im nahen infraroten Spektralbereich (NIR) erfasst. Durch die kombinierte Auswertung der beiden Signale werden sowohl Prozessparameter als auch das Auftreten verschiedener Nahtimperfectionen schon während des Prozesses erkannt. Die koaxiale Implementierung von zwei Kamerasystemen in den Strahlengang des Bearbeitungslasers (Nd:YAG) und die koaxiale Einkopplung einer Fremdbeleuchtung für den sichtbaren Spektralbereich stellen eine besondere Herausforderung dar.

Ergebnis

Im sichtbaren Spektralbereich werden sowohl der Lotdraht im Vorlauf als auch die erstarrte Naht im Nachlauf visualisiert. Vorschubgeschwindigkeit und Drahtausrichtung können mit Hilfe der Bildverarbeitung gemessen werden. Im NIR Spektralbereich werden Poren mit einem Durchmesser von unter 150 µm detektiert. Die Symmetrie der Wärmeverteilung gibt Aufschluss über weitere Fehlerklassen wie z. B. »einseitige Benetzung« oder eine ungenaue Ausrichtung des Laserstrahls.

Anwendungsfelder

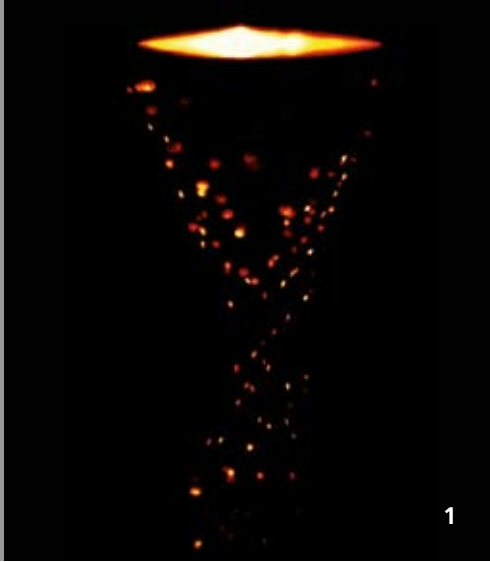
Derzeit ist die wichtigste Anwendung das Löten von zweiteiligen Automobilheckklappen. Eine sauber gelötete Naht ist hier besonders wichtig, da es sich um Sichtnähte handelt. Weitere Anwendungsfelder sind die Prozessüberwachung beim Fügen von Taylored-Hybrid-Blanks aus nicht schweißbaren Stahl-Al-Hybridverbindungen oder beim Laserlöten von Getriebebauteilen.

Ansprechpartner

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

Dr. Stefan Kaierle
Telefon +49 241 8906-212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de

3 Nahaufnahme des Lötprozesses.
4 NIR-Aufnahme einer Pore
kurz nach ihrer Entstehung.



PROZESSÜBERWACHUNG BEIM AUFTRAGSCHWEISSEN MIT LASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

Mit dem im Innovationscluster »Integrative Produktionstechnik für energieeffiziente Turbomaschinen« (TurPro) eingesetzten Laser-Auftragschweißen werden im Bereich stationärer und fliegender Turbomaschinen fast ausschließlich geometrisch komplexe, langlebige und teure Bauteile bearbeitet, die hohen Sicherheitsstandards unterliegen und damit sehr hohen Qualitäts- und Dokumentationsanforderungen gerecht werden müssen. Daher kommt Methoden, die eine Dokumentation, Überwachung und Regelung des Prozesses ermöglichen, eine besondere Bedeutung zu. Ziel ist, während der Bearbeitung qualitätsrelevante Informationen aus dem Prozess zu erhalten. Diese Informationen sollen zum einen fehlerhafte Bearbeitungen rechtzeitig zur Einleitung von Korrekturstrategien unterbrechen und zum anderen die erforderliche Dokumentation im Rahmen der Qualitätssicherung (DIN ISO 9000 ff., VDA 6.1) z. B. für Sicherheitsbauteile gewährleisten.

Vorgehensweise

Zur Lösung dieser Aufgabenstellung wird untersucht, wie relevante Parameter des Auftragschweißprozesses erfasst werden können. Im Vergleich zu bisherigen Untersuchungen werden zur Beobachtung CMOS-Kameras verwendet, die eine hohe zeitliche mit einer hohen räumlichen Auflösung verknüpfen. Hierbei wird das am ILT/LLT entwickelte CPC-System (Coaxial

Process Control) verwendet. Das CPC-System besteht im Wesentlichen aus einer Hochgeschwindigkeitskamera, einer modularen Abbildungsoptik und einem Prozessrechner für die Bildanalyse.

Ergebnis

Im Rahmen der Arbeiten konnten unterschiedliche Konzepte zur Überwachung des Pulvermassenstroms, einem wichtigen Einflussparameter auf den Prozess, erarbeitet und umgesetzt werden. Diese detaillierten Informationen über den Pulvergasstrahl können zum einen zur Prozessentwicklung und zum anderen zur Überwachung des Auftragschweißprozesses genutzt werden.

Anwendungsfelder

Auftragschweißprozesse im Bereich

- stationärer Turbomaschinen
- Luft- und Raumfahrt
- Werkzeug- und Formenbau

Ansprechpartner

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

Dr. Stefan Kaierle
Telefon +49 241 8906-212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de

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.

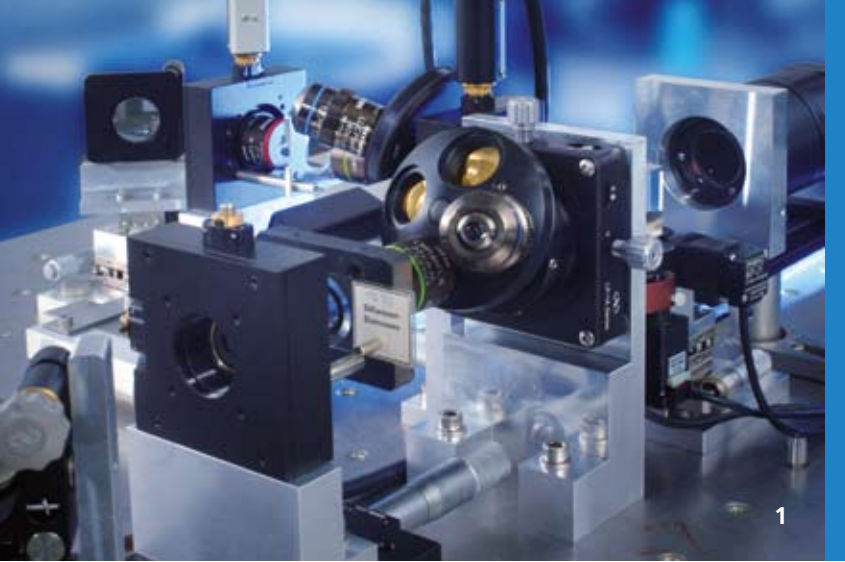
LASERMESS- UND PRÜFTECHNIK



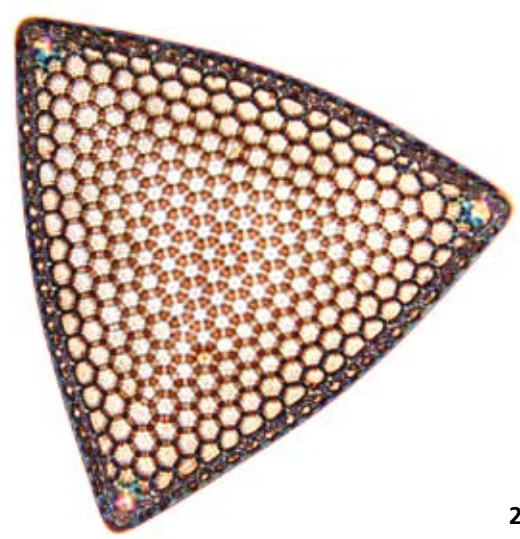
INHALT

Mach-Zehnder Interferometrie und Mikroskopie	118
Optische Kohärenztomographie (OCT) zur Einzelschichtmessung an Blasfolienanlagen	119
Mobiles lasergestütztes Handprüfgerät - MOBILA	120
Elementspezifische Charakterisierung von Stahlschrottströmen für das Recycling	121
Mikrowellenunterstützte Laser-Emissionsspektrometrie - MEL	122
Lasergestützte Sortierung mineralischer Rohstoffe	123
Online-Analyse für die Gewinnung mineralischer Rohstoffe - OFUR	124
Charakterisierung nanoskaliger Staubpartikel	125
Ferndetektion von Explosivstoffen - OFDEX	126
Ferndetektion von Biosensoren	127
Multiphotonen-Mikroskopie mit Femtosekunden-Laserstrahlung	128
Mykotoxin Analytik durch Fluoreszenzpolarisation	129
Serologische Frühdiagnostik von Tumor- und Herz-Kreislaufkrankungen	130
Nanooptische Strukturen für die Lasertechnik und die Analytik	131

*Optische Kohärenztomographie (OCT)
zur Einzelschichtmessung an Blasfolienanlagen.*



1



2

MACH-ZEHNDER INTERFEROMETRIE UND MIKROSKOPIE

Aufgabenstellung

Die Eigenschaften transparenter Materialien wie Gläser oder Kunststoffe sind auf mikroskopischer Skala mit konventioneller Messtechnik häufig schwer zugänglich. Insbesondere für die orts aufgelöste Quantifizierung von Brechungsindizes und Schichtdicken stehen heute keine kommerziellen Lösungen zur Verfügung. Dabei haben diese Größen nicht nur in der Materialanalyse eine große Relevanz, sondern auch im Bereich der quantitativen Biologie und Lebendzellbeobachtung.

Vorgehensweise

Mit der Kombination von Mach-Zehnder Interferometrie und Mikroskopie wurde ein neuer Zugang für die Analyse durchsichtiger Materialien und Zellen geschaffen. Dabei macht die technische Kombination von Mikroskop und Interferometer die Bestimmung von Schichtdicken mit einer Genauigkeit von einem Nanometer möglich und darüber hinaus die Abbildung von Brechungsindexverteilungen mit einer Ortsauflösung bis zur Beugungsgrenze. Die besonders großen Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit werden mit dem Einsatz von Mikroaktuatoren und Piezostellelementen realisiert. Darüber hinaus macht der Einsatz motorisierter Komponenten eine automatisierte Justage und Messung möglich.

1 Mach-Zehnder Interferenzmikroskop.

2 Diatomee im Interferenzkontrast.

Ergebnis

Als Grundlage für ein kommerzielles Interferenzmikroskop wurde ein Demonstrator aufgebaut, der alle technischen Merkmale für einen praktischen und bedienerfreundlichen Einsatz der Mach-Zehnder Interferometrie aufweist. Dieses System vollführt zuverlässig einen Selbstjustagealgorithmus um die Weißlichtinterferenz aufzufinden und kann in verschiedenen Modi (z.B. phase shifting) eigenständig Messungen durchführen. An einer Vielzahl von Beispielen konnte der Nutzen für den Einsatz des Systems in der Qualitätskontrolle von Gläsern und funktionalen Polymerschichten gezeigt werden. Im Bereich Zellbiologie wurden physiologische Prozesse anhand einer großen Bandbreite verschiedener Zellsysteme erstmalig abgebildet und quantifiziert.

Anwendungsfelder

Im Bereich Materialforschung:

- Untersuchung von Gläsern auf Schlieren, Einschlüsse, Fertigungsanomalien, etc.
- Untersuchung von Kunststoffen auf Polymerisationsgrad, chemische Zusammensetzung, Aufbau von Schichtsystemen, etc.
- Visualisierung von Gasströmungen.

In der Zellbiologie ist es möglich, Stoffwechselvorgänge zu quantifizieren.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Daniel M. Mahlmann
Telefon +49 241 8906-172
daniel.mahlmann@ilt.fraunhofer.de

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



OPTISCHE KOHÄRENZ- TOMOGRAPHIE (OCT) ZUR EINZELSCHICHTMESSUNG AN BLASFOLIENANLAGEN

Aufgabenstellung

Der überwiegende Anteil der heute im Markt befindlichen Blasfolienanlagen zur Produktion von Kunststofffolien dient der Herstellung von Mehrschichtsystemen, die aus drei, fünf oder mehr Einzelschichten bestehen können. In der Folie erfüllen die Einzelschichten individuelle Funktionen. So werden beispielsweise ausgewählte Kunststoffe als Diffusionsbarriere für Sauerstoff und Wasserdampf eingesetzt, die eine längere Haltbarkeit von Lebensmitteln gewährleisten.

Bei der Herstellung von Kunststofffolien sind Messsysteme zur Bestimmung der Gesamtfoliendicke für die Qualitätskontrolle sowie zur Prozessregelung bereits Stand der Technik. Für die Vermessung des Schichtaufbaus von Mehrschichtfolien stehen bislang jedoch keine Folieninspektionssysteme zur Verfügung.

Vorgehensweise

Die optische Kohärenz-Tomographie (OCT) ist ein bildgebendes Verfahren, mit dem hochauflösende 3-D Tomographiebilder erstellt werden können. Diese Technologie erlaubt - basierend auf interferometrischen Messungen - die Detektion von Einzelschichtdicken in Kunststofffolien mit einer Tiefenauflösung von wenigen Mikrometern.

Ergebnis

Nach erfolgreichen Laborversuchen im Rahmen des Forschungsprojekts IRIS wurde ein OCT-Sensor an der Blasfolienanlage im Technikum des Instituts für Kunststoffverarbeitung der RWTH Aachen (IKV) installiert. In der ersten Testphase konnten die Einzelschichtdicken von 3-Schichtfolien im laufenden Produktionsprozess gemessen und ausgewertet werden. Die produzierten Einzelschichtdicken betrugen einige 10 μm und die Grenzschichten wurden für unterschiedliche Materialkombinationen detektiert. Damit wurde grundsätzlich gezeigt, dass die optische Kohärenztomographie in der Lage ist, den Schichtaufbau von Kunststofffolien online zu erfassen.

Anwendungsfelder

Der OCT-Sensor im Verbundprojekt IRIS erlaubt neben einer kontinuierlichen Prozessüberwachung die Umsetzung eines Regelungskonzepts für Folienanlagen und dient zugleich der Qualitätssicherung. Weiterhin ist die OCT-Technologie auch für Tomographiemessungen an anderen Materialien wie Gläsern oder Flüssigkeiten geeignet oder kann zur präzisen Vermessung von Topologien eingesetzt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. MBA Stefan Hölters
Telefon +49 241 8906-436
stefan.hoelters@ilt.fraunhofer.de

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



MOBILES LASERGESTÜTZTES HANDPRÜFGERÄT - MOBILA

Aufgabenstellung

Die Eingangs- und Ausgangsprüfung metallischer Rohstoffe sowie die Bereitstellung von möglichst sortenreinen Sekundärrohstoffen gewinnt im metallverarbeitenden Gewerbe zunehmend an Bedeutung. Sind 100 Prozent Prüfungen aus wirtschaftlichen oder technischen Gründen nicht durchführbar, werden stichprobenartig Analysen durchgeführt, um die Materialgüte zu bestimmen. Durch eine Vereinfachung und Beschleunigung der Analyse könnte in der Recyclingindustrie die Bereitstellung von nahezu sortenreinen Sekundärrohstoffen und damit die Herstellung von hochwertigen Produkten aus wiederverwertetem Material ermöglicht werden.

Vorgehensweise

Die Zielsetzung des Projektvorhabens sieht vor, ein auf der Laser-Emissionsspektroskopie basierendes, handgeführtes Analysegerät zu entwickeln, welches gegenüber herkömmlichen Methoden den Vorteil der Probenvorbereitung durch Lasermaterialabtrag sowie die Bestimmung leichter Elemente bietet. Das mobile lasergestützte Handprüfgerät soll so ausgelegt sein, dass Messungen an Proben am Ort der Werkstofflagerung möglich sind. Dabei steht die qualitative und quantitative Analyse an unterschiedlichen Matrices, insbesondere zur Identifikation von Leichtmetalllegierungen, im Fokus der Untersuchungen.

Ergebnis

Um eine kompakte Bauweise sowie die Mobilität in industrieller Umgebung zu gewährleisten, werden kompakte CCD-Spektrometer eingesetzt, die spektroskopische Messungen im UV-Bereich ($< 200 \text{ nm}$) unter Argon-Schutzgasatmosphäre bis hin zu Wellenlängen $> 650 \text{ nm}$ ermöglichen. Als Laserstrahlquelle kommt ein gepulster Faserlaser zum Einsatz, der aufgrund hoher Repetitionsraten ($> 1 \text{ kHz}$) kurze Messzeiten gestattet. Untersuchungen an Al-Legierungen haben gezeigt, dass der Abtrag von Oberflächenbeschichtungen sowie Nachweisgrenzen für z. B. Si von 0,019 Massen-Prozent auch mit Pulsenergien im Bereich von 1 - 2 mJ möglich sind.

Anwendungsfelder

Zielformen, die durch die Entwicklung eines mobilen lasergestützten Handprüfgeräts angesprochen werden sollen, sind Recyclingunternehmen, Metallverarbeiter, Automobilzulieferer sowie Gerätehersteller kompakter Analysegeräte.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Patrick Werheit
Telefon +49 241 8906-489
patrick.werheit@ilt.fraunhofer.de

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



ELEMENTSPEZIFISCHE CHARAKTERISIERUNG VON STAHLSCROTTSTRÖMEN FÜR DAS RECYCLING

Aufgabenstellung

Das Recycling von Stahlschrott als Rohstoff für die Stahlherzeugung hat neben dem Umweltaspekt zunehmend auch wirtschaftliche Bedeutung aufgrund knapper werdender Ressourcen. Je besser der Stahlschrott bezüglich seiner chemischen Elementzusammensetzung charakterisiert ist, desto höherwertiger ist die Fraktion. Klassische Fraktionierungsverfahren (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, z. B. auf Förderbändern oder in Förderrinnen.

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 detektiert wird. Die Geometrie der Schrottteile wird mit einem Lichtschnittsensor erfasst und der Analyselaser mit einem Scanner auf die Messobjekte gelenkt.

Ergebnis

Das Messverfahren und der Demonstratoraufbau bestehend aus Optik-, Spektrometer- und Steuermodul wurden nach der vorangegangenen Erprobung an einer Schredderanlage eines Recycling-Unternehmens (Bild 2) in einer zweiten Vor-Ort-Messkampagne für die Überwachung des Eingangsschrottes eines Elektrolichtbogenofens getestet. Der Stahlschrott wird in einer Förderrinne dem Elektrolichtbogenofen zugeführt (Bild 3). Das Messverfahren kann den relativen Verlauf von Elementgehalten detektieren. So konnten Schrottchargen mit unterschiedlichen Gehalten an Störelementen unterschieden werden. Mit dieser Kenntnis ist es möglich, schnell auf Änderungen im Eingangsstrom zu reagieren und bei der Ofensteuerung entgegenzuwirken. Damit wird eine bessere Produktionskontrolle ermöglicht.

Die Arbeiten werden vom Research Fund for Coal and Steel of the European Community und der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

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

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

- 2 Stahlschrott nach dem Schreddern.
3 Lasermessung am Stahlschrott während der Beschickung eines Elektrolichtbogenofens.



MIKROWELLENUNTER- STÜTZTE LASER-EMISSIONS- SPEKTROMETRIE - MEL

Aufgabenstellung

Die Laser-Emissionsspektrometrie (engl. LIBS) ist eine Methode, mit der feste, flüssige und gasförmige Substanzen berührungslos chemisch analysiert werden können. Die Herstellungskosten laser-gestützter Analysesysteme für industrielle Anwendungen betragen typischerweise zwischen 100.000 und 300.000 €, wobei ein erheblicher Anteil auf die Laserstrahlquelle entfällt. Grund dafür sind die bislang benötigten Pulsenergien und mittleren Leistungen der Laserstrahlung zur Erzeugung hinreichender Messsignalintensitäten. Bauvolumen und Gewicht der Analysesysteme sind entsprechend groß ($> 1 \text{ m}^3$, $> 200 \text{ kg}$), so dass diese nur stationär betrieben werden können und ein mobiler Einsatz in der Regel ausgeschlossen ist.

Vorgehensweise

Die Überlagerung von Laser- mit Mikrowellenstrahlung ist Ziel des Vorlaufprojekts MEL. Das laser-induzierte Plasma wird mithilfe konzentrierter Mikrowellenstrahlung zusätzlich aufgeheizt, um die elementspezifische Emission des Plasmas zu steigern. Dadurch kann zur Erzielung einer hinreichenden Plasmaemission die mittlere Laserleistung herabgesetzt werden, was die Verwendung kompakter und kostengünstiger Lasersysteme ermöglicht. Die Mikrowellenleistung kann zu erheblich geringeren Kosten bereitgestellt werden, wodurch letztlich Bauvolumen sowie Gesamtkosten reduziert werden.

Ergebnis

In Zusammenarbeit mit der FH Aachen, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, wurde eine triggerbare Hochfrequenzquelle mit integriertem Verstärker realisiert, die Mikrowellenimpulse mit einer mittleren Leistung von $\geq 40 \text{ W}$ emittiert. Eine Messsonde wurde konzipiert, die eine räumliche Überlagerung der Mikrowellen- und Laserstrahlung sowie die Detektion der erzeugten Plasmaemission über einen Lichtwellenleiter ermöglicht. Eine Verstärkung gegenüber dem konventionellen LIBS-Verfahren um bis zu einen Faktor 1000 kann erzielt werden. Darüber hinaus lassen sich allein mit der konzentrierten Mikrowellenstrahlung Molekülbanden in Luft anregen und identifizieren.

Anwendungsfelder

Anwendungsfelder sind die Recyclingindustrie, z. B. zur Identifikation von Sekundärrohstoffen, die Metallindustrie für den Einsatz zur Verwechslungs- und Qualitätsprüfung sowie die Umweltindustrie zur Feinstaub- und Schadstoffanalyse.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Patrick Werheit
Telefon +49 241 8906-489
patrick.werheit@ilt.fraunhofer.de

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



LASERGESTÜTZTE SORTIERUNG MINERALISCHER ROHSTOFFE

Aufgabenstellung

Zur effizienten Nutzung mineralischer Rohstoffe, wie beispielsweise Kalkstein oder andere Mineralien und Erze, muss bei der Aufbereitung Nutzgestein von Nebengesteinen getrennt werden. Diese stoffliche Trennung sollte aufgrund der großen Materialmengen in der unmittelbaren Umgebung der Abbaustätte erfolgen. Derzeit existieren keine automatisch arbeitenden Verfahren zur wirtschaftlichen Online-Einzelkorn-sortierung von Primärrohstoffen.

Vorgehensweise

Im Rahmen eines Verbundvorhabens ist ein lasergestütztes Sortierverfahren zunächst für den Anwendungsfall der Trennung von Kalkstein und Dolomit entwickelt worden, bei dem relativ reine Kalziumkarbonat-Gesteine von solchen mit unerwünscht hohem Magnesiumanteil zu trennen sind. Der Verfahrensansatz für die schnelle Identifikation des Sortiergutes beruht auf einer Kombination aus optischer Geometrieerfassung und Laser-Emissionsspektrometrie. Nach dem Durchlaufen einer Vereinzelungseinheit werden zunächst geometrische Merkmale des Sortierguts erfasst und danach laserspektroskopisch die chemische Zusammensetzung der Einzelkörner bestimmt. Das Sortiergut wird schließlich entsprechend der online zu treffenden Sortierentscheidung in zwei oder mehr Fraktionen getrennt ausgeschleust.

Ergebnis

Das Verfahren ist in einem Demonstrator im Technikumsmaßstab realisiert worden. Unter anwendungsnahen Bedingungen konnte gezeigt werden, dass die Laser-Analytik die Zusammensetzung unabhängig von der Lagerstätte bestimmt und Beeinflussungen der Analyse durch anhaftenden Staub vermieden werden. In Sortierversuchen mit Kalkstein-Produktionsproben bei 3 m/s Bandgeschwindigkeit konnte beispielsweise der mittlere MgO-Gehalt des Nutzmaterials von 4,5 Prozent auf einen unkritischen Wert von 3,6 Prozent gesenkt werden bei einer Massenreduzierung von nur 13 Prozent. Hierzu wurde gezielt Material mit mehr als 10 Prozent MgO Gehalt ausge-tragen.

Anwendungsfelder

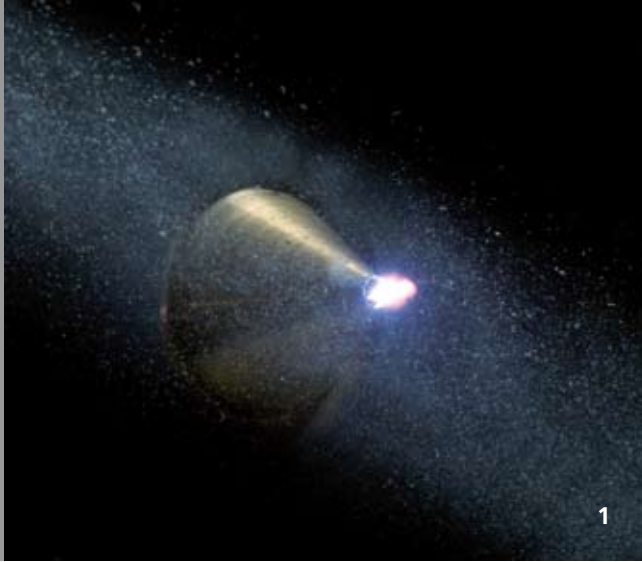
Neben der Kalksteingewinnung ist die lasergestützte Sortierung ebenso auch für andere Mineralien und Erze anwendbar. Die industrietauglich ausgeführte Sortiereinheit ermöglicht derzeit einen Massendurchsatz bis zu 150 t/h, der zukünftig auf 1000 t/h gesteigert werden soll. Wenn eine Einzelkorn-Sortierung nicht notwendig ist, kann das Messverfahren auch zur Charakterisierung eines Stoffstroms und zur Steuerung der Verarbeitungsprozesse verwendet werden.

Ansprechpartner

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

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

3 Darstellung von laser-induzierten
Plasmen auf Gesteinsproben.



1

ONLINE-ANALYSE FÜR DIE GEWINNUNG MINERALISCHER ROHSTOFFE - OFUR

Aufgabenstellung

Der Einsatz von Online-Messsystemen zur chemischen Analyse in der Gewinnung mineralischer Rohstoffe ermöglicht die Erstellung genauer Lagerstättenmodelle. Damit können die unerwünschte Gewinnung von Nebengestein vermindert und so erhebliche Kostenreduzierungen erzielt werden.

In diesem Projekt wird ein Bohrgerät mit einem Online-Analysemodul ausgerüstet, das bei Explorations- oder Sprengbohrungen die simultane Erstellung eines Lagerstättenmodells ermöglicht.

Die raue Einsatzumgebung stellt an das Analysemodul hohe Anforderungen hinsichtlich Vibrations-, Staub- und Wasserfestigkeit.

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.

Zunächst ist ein Einsatz in der Kalksteingewinnung vorgesehen. Die verwendete Technik kann auch auf andere Nutzminerale und Nebengesteine übertragen werden.

Ergebnis

Ein Funktionsmuster wurde erfolgreich in mehrtägigen Feldtests am Bohrgerät eingesetzt, um die Gehalte von Silizium, Magnesium und Aluminium in Kalkstein zu bestimmen. Die Analyseergebnisse der Laser-Emissionsspektroskopie stimmen mit Ergebnissen der Röntgenfluoreszenzanalyse, die momentaner Stand der Technik für die Analyse von Mineralien im Labor ist, überein. Die neue Methode bedarf allerdings keiner Probenahme und die Ergebnisse liegen nicht erst nach Tagen, sondern schon in weniger als einer Minute vor.

Anwendungsfelder

Die Methode der Laser-Emissionsspektroskopie an staubförmigen Materialien ist in der Rohstoffgewinnung und -aufbereitung, z. B. in Kalksteinbrüchen und Zementwerken, aber auch bei der Gewinnung von Kupfer oder Gold anwendbar.

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

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Tobias Kuhlen
Telefon +49 241 8906-308
tobias.kuhlen@ilt.fraunhofer.de

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

1 Laseraustritt am Funktionsmuster mit Plasma.



CHARAKTERISIERUNG NANOSKALIGER STAUB- PARTIKEL

Aufgabenstellung

Für die Charakterisierung von feinen und ultrafeinen Staubpartikeln aus Verkehr und Industrie ist nicht nur die chemische Zusammensetzung der Partikel sondern auch deren Größenabhängigkeit von Interesse. Partikel im Größenbereich von Submikrometern sind jedoch messtechnisch schwer zugänglich. In diesem Projekt wird ein Verfahren entwickelt, mit dem die größenabhängige Zusammensetzung von Nano-Partikeln online, direkt im Luftstrom gemessen werden kann.

Vorgehensweise

Zur chemischen Analyse der Partikel wird ein Verfahren auf Basis der Laser-Emissionsspektroskopie entwickelt. Hierbei sollen Partikel direkt vor Ort im Luftstrom analysiert werden, um auch schnelle online Charakterisierungen zu realisieren. Durch die Kombination mit Partikeltechnologie wird das Handling von nanoskaligen Partikeln ermöglicht. Das Vorschalten eines elektrostatischen Klassierers beschränkt die Analyse auf Partikel einer bestimmten Größenklasse, so dass größen aufgelöste chemische Analysen durchgeführt werden können.

Ergebnis

In diesem Projekt wurden größen aufgelöste Analysen von nanoskaligen Partikeln realisiert. Das System kann auf absolute und relative Stoffkonzentrationen, beispielsweise zur Analyse von Stoffgemischen oder zusammengesetzten Partikeln, kalibriert werden. Das Ansprechverhalten auf Änderungen der Partikelzusammensetzung liegt im Sekundenbereich. Der Nachweis von Einzelpartikeln ist bis in den Größenbereich von 100 nm möglich.

Anwendungsfelder

Untersuchungen von Industrieprozessen zeigen, dass die Zusammensetzung von Partikeln stark mit der Größe variiert und für den einzelnen Prozess charakteristisch ist. Damit lassen sich »Fingerabdrücke« der Prozesse erstellen, die eine Zuordnung von Emissionsquellen ermöglichen. Durch das schnelle zeitliche Ansprechverhalten des Systems ist das Verfahren auch für die online Prozesskontrolle geeignet. In diesem Zusammenhang kann beispielsweise die Zusammensetzung von Nanopartikeln direkt im Herstellungsprozess untersucht werden. Das Verfahren kann universell auch in anderen Industriebereichen, in denen Prozessstäube eine Rolle spielen, eingesetzt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Nadine Strauß
Telefon +49 241 8906-196
nadine.strauss@ilt.fraunhofer.de

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

2 Demonstrator zur Analyse
nanoskaliger Partikel.



FERNDETEKTION VON EXPLOSIVSTOFFEN - OFDEX

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).

Ziel ist die Entwicklung von optischen Verfahren und Systemen, die Fingerabdruckspuren von Explosivstoffen auf verschiedenen Untergrundmaterialien schnell, sicher und mit einer geringen Fehlalarmrate über mehrere Meter Entfernung nachweisen können.

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 wurde die Technik der UV-Resonanzramanspektroskopie für die Detektion von Explosivstoffen weiterentwickelt. Im Vordergrund stand hierbei die Reduktion der notwendigen Laserleistung, um die Lasersicherheit des Verfahrens zu gewährleisten, sowie die Entwicklung vollautomatischer Auswertalgorithmen, die ohne Benutzereingriff eine Ja/Nein Entscheidung fällen können.

Ergebnis

Mit einem transportablen System konnten Explosivstoffe in einer Entfernung von 4 m auf verschiedenen Untergrundmaterialien (Blech, Stoffe, Autolack) nachgewiesen werden, wobei die Lasersicherheit für den Benutzer gewährleistet war. Auf geringere Entfernungen konnten auch Fingerabdruckspuren sicher erkannt werden.

Anwendungsfelder

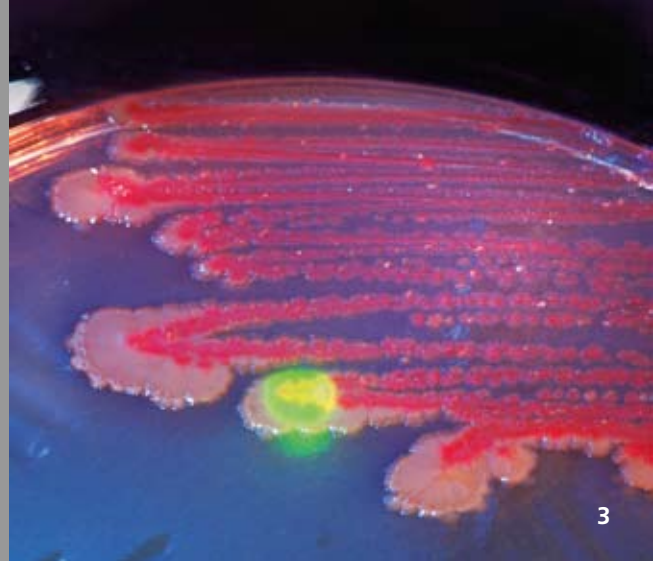
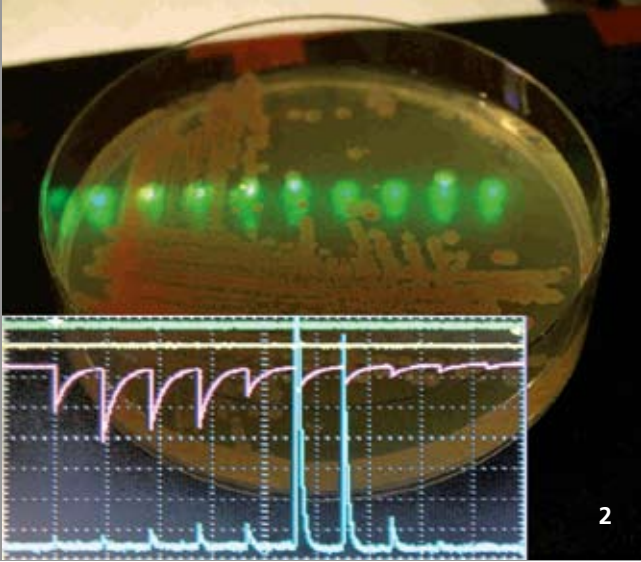
Das Verfahren zur berührungslosen Identifikation unbekannter Substanzen eignet sich zur Unterstützung von Sicherheits- und Rettungskräften, beispielsweise bei der Untersuchung mutmaßlicher terroristischer Bombenwerkstätten.

Daneben kann die Technik auch zur berührungslosen schnellen Erkennung und Unterscheidung anderer organischer Stoffe verwendet werden, beispielsweise beim Kunststoffrecycling oder zur Qualitätskontrolle in der Lebensmittelindustrie.

Ansprechpartner

Dr. Peter Jander
Telefon +49 241 8906-440
peter.jander@ilt.fraunhofer.de

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



FERNDETEKTION VON BIOSENSOREN

Aufgabenstellung

Nicht beseitigte Landminen, insbesondere Antipersonenminen, stellen in vielen Ländern ein erhebliches humanitäres Problem dar. Nach Schätzungen der UN sind weltweit etwa 100 Millionen Minen verlegt, hauptsächlich Antipersonenminen. Diese Minen bestehen vorwiegend aus nicht-metallischen Werkstoffen und können daher mit Metalldetektoren nicht geortet werden. Die Methoden zur Minensuche haben sich in den letzten 60 Jahren kaum verändert, Minen werden durch Begehung des Geländes mit Spürhunden und durch manuelles Tasten mit einer Minensuchnadel gesucht. Dieses Verfahren ist sehr zeitaufwendig und aufgrund des direkten Kontakts mit einem hohen Risiko verbunden.

Vorgehensweise

Zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie wurde ein Fluoreszenz-gestütztes Verfahren entwickelt, mit dem große Verdachtsflächen schnell geprüft werden können. Dazu wird ein modifiziertes Bakterium als Biosensor eingesetzt, das in Kontakt mit TNT ein fluoreszentes Protein bildet. Da praktisch alle Minen am Gehäuse Anhaftungen von Sprengstoff aufweisen und nicht hermetisch dicht sind, gelangen geringste Spuren von TNT in die Umgebung einer Mine. Nach Ausbringen des sensitiven Biosensors von z. B. einem Flugzeug aus soll nach einer Inkubationszeit von einigen Stunden mit einem luftgestützten Laserscanner das charakteristische Leuchten des Biosensors detektiert werden.

Ergebnis

Im Rahmen der Systementwicklung erfolgte eine Auswahl der fluoreszenten Proteine in Bezug auf die Verfügbarkeit kompakter, leistungsstarker Laserstrahlquellen zur effizienten Anregung sowie einer möglichst geringen Überschneidung mit der Chlorophyllfluoreszenz der Pflanzen. Für die Anregung wurde ein Laserscanner aufgebaut, der simultan mit zwei verschiedenen Wellenlängen Fluoreszenz anregen kann und damit eine multimodale Auswertung ermöglicht. Anhand des Laboraufbaus wurden Messentfernungen von 50 m bis 500 m simuliert und die Kenngrößen für die Ferndetektion der Biosensoren bestimmt.

Anwendungsfelder

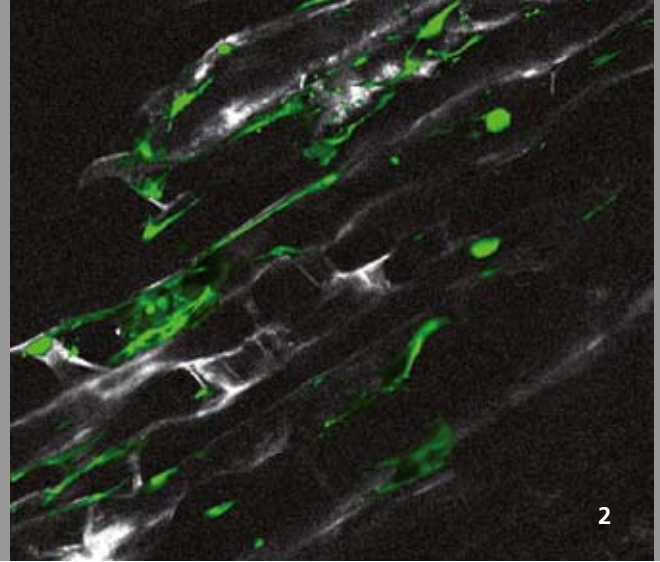
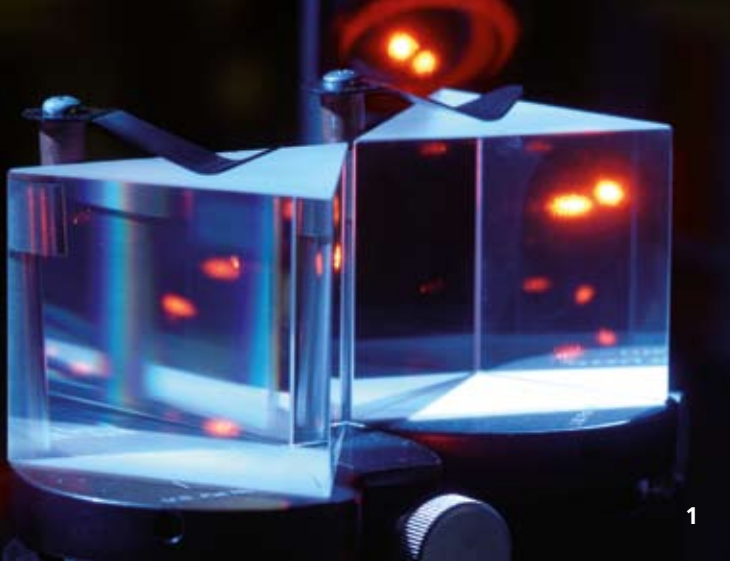
Ein Nachweis aktivierter Biosensoren kann nach aktuellem Stand auf Entfernungen bis zu 300 m erfolgen. Je nach Situation sind boden- oder luftgestützte Laserscanner zur Ferndetektion geeignet. Das Verfahren soll vordringlich zum Aufspüren von Antipersonenminen entwickelt werden. Nach Modifikation der Biosensoren können damit auch andere Sprengstoffe, Umweltgifte oder radioaktive Substanzen nachgewiesen werden.

Ansprechpartner

Dr. Martin Wehner
Telefon +49 241 8906-202
martin.wehner@ilt.fraunhofer.de

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

- 2 Linienscan an einer Kultur von Biosensoren zum Nachweis des spezifischen Fluoreszenzsignals.
- 3 Laseranregung eines Biosensors.



MULTIPHOTONEN-MIKROSKOPIE MIT FEMTOSEKUNDEN-LASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

Die Entwicklung und Produktion dreidimensional wachsender Zellkulturen für den Einsatz in der regenerativen Medizin erfordert hochauflösende optische Messtechniken zur automatisierten in vitro Überwachung des Zellwachstums. Zur optischen Analyse fluoreszenzmarkierter Proben oder mikrostrukturierter Gewebesubstrate mit hoher räumlicher Auflösung hat sich die konfokale Laserscanning Mikroskopie als vielfältig einsetzbares Messverfahren etabliert. Schwerpunkte der Anwendungen sind Untersuchungen an streuendem Gewebe in der 3-D-Zellkultivierung sowie die Identifikation von Reaktionskinetiken in der biochemischen Verfahrenstechnik.

Vorgehensweise

Im Rahmen der Entwicklung einer in vitro Diagnostik für das Monitoring von 3-D-Zellkulturen bedarf es hochauflösender optischer Messtechniken, die ein dreidimensionales Überwachen des Zellwachstums langzeitstabil gestatten. Zu diesem Zweck wird fs-Laserstrahlung mit Pulsen hoher Bestrahlungsstärke durch ein hochauflösendes Objektiv in das zu untersuchende Gewebe fokussiert. Eine kombinierte Detektion von Multiphotonenfluoreszenz und gleichzeitiger

Generierung einer zweiten harmonischen Oberschwingung (SHG) erlaubt es, sowohl die Zellmorphologie als auch Form und Gestalt des Wachstumssubstrates nebeneinander aufzuzeichnen.

Ergebnis

Bei Untersuchungen zur Zellbesiedlung in Kollagensubstraten konnte bereits eine kombinierte Aufzeichnung von Zellmorphologie und Substratgestalt generiert werden, die es später ermöglichen soll, die Beeinflussung von Medikamentenzugabe auf das dreidimensionale Zellwachstum zu überwachen.

Anwendungsfelder

Die Methode ist vor allem für Anwender im Bereich der automatisierten Zellzüchtung in der regenerativen Medizin interessant. Gezüchtet werden meist Haut-, Muskel- und Knorpelzellen für eine spätere Transplantation in den Patienten.

Die Multikomponentendetektion von Reaktanden zur Identifikation von Reaktionskinetiken dient vor allem der Optimierung enzymatisch katalysierter biochemischer Reaktionen.

Ansprechpartner

Dr. Christoph Janzen
Telefon +49 241 8906-124
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de

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

1 Vom Fraunhofer ILT entwickelter Prismenkompressor zur Kompensation der Dispersion.

2 Überlagerte Darstellung von Kollagenstruktur und Zellmorphologie.



3



4

MYKOTOXIN ANALYTIK DURCH FLUORESCENZ- POLARISATION

Aufgabenstellung

An Lebensmittel werden ständig steigende Anforderungen im Hinblick auf Verbrauchersicherheit und Qualität gestellt. Vor allem Getreide und Getreideprodukte werden häufig von Schimmelpilzen befallen, die giftige Stoffwechselprodukte erzeugen. Um zu verhindern, dass Mykotoxine (Schimmelpilzgifte) in die Nahrungskette gelangen, muss Getreide vor der Einlagerung geprüft werden. Die vorhandenen Prüfverfahren sind entweder zu ungenau oder zu zeit- und arbeitsaufwändig und lassen sich nur in Speziallabors durchführen. Es besteht ein großer Bedarf nach einer gut quantifizierbaren und einfach einzusetzenden Analytik, mit der simultan verschiedene Toxine vor Ort in einem Mühlen- oder Silobetrieb getestet werden können.

Vorgehensweise

Ein neuartiges Verfahren auf der Basis der Fluoreszenzpolarisation für die Mykotoxin Analytik wird am Fraunhofer ILT zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung erarbeitet. Dabei kommt ein homogener, kompetitiver Immun-Assay zum Einsatz, mit dem quantifizierbare und spezifische Toxingehalte ermittelt werden können. Vorteile des Assays bestehen darin, dass keine aufwändigen Spülprozesse benötigt werden. Das analytische Signal wird als Differenz zwischen zwei Fluoreszenzintensitäten gemessen, dadurch wird das Verfahren robust und unempfindlich gegen mögliche Fehler. Durch eine schnelle Modulation der Fluoreszenzpolarisation werden hohe Genauigkeiten erreicht.

Ergebnis

Eine kompakte Optik, mit der Messungen der Fluoreszenzpolarisation in Mikrotiterplatten mit nur einem optischen Zugang möglich sind, wurde konzipiert und aufgebaut. Sowohl Anregung als auch Detektion erfolgen dabei von oben. Ein Photomultiplier nimmt die zeitlich modulierten Signale auf und ermöglicht die empfindliche Detektion der Fluoreszenz. Die Optik bildet die Grundlage für ein Demonstratorsystem, mit dem die neue Technik evaluiert werden soll.

Anwendungsfelder

Das System soll zunächst in der getreideverarbeitenden Industrie zum Einsatz kommen. Durch Anpassung der biochemischen Assays können auch andere Lebensmitteltoxine nachgewiesen werden, die Anwendungsmöglichkeiten erweitern sich entsprechend.

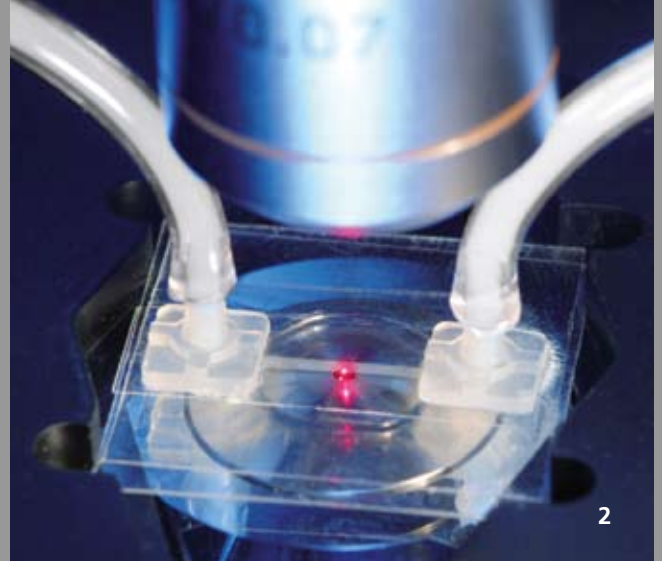
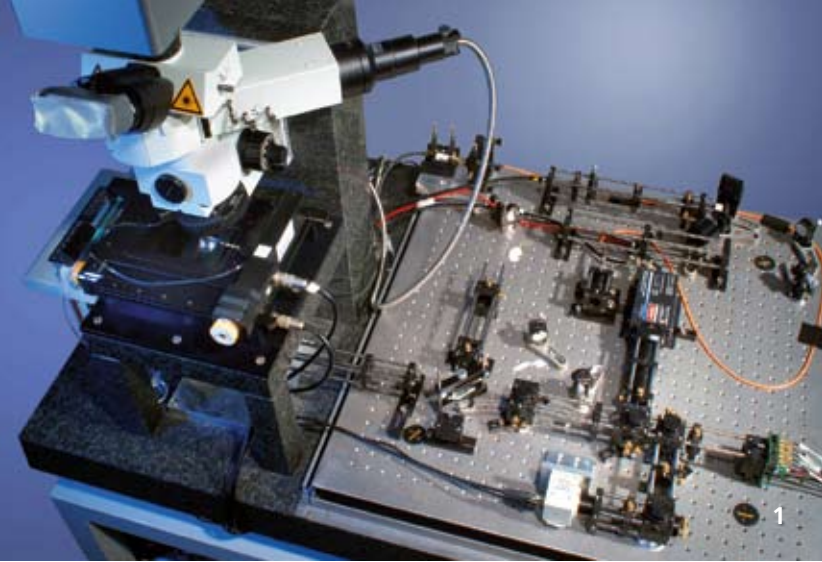
Ansprechpartner

Dr. Christoph Janzen
Telefon +49 241 8906-124
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de

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

3 Mutterkorn, *Claviceps purpurea*,
ein bekannter Getreidepilz.

4 Optik für die Fluoreszenzpolarisations-
messung in Mikrotiterplatten.



SEROLOGISCHE FRÜH-DIAGNOSTIK VON TUMOR- UND HERZ-KREISLAUF-ERKRANKUNGEN

Aufgabenstellung

Tumor- und Herz-Kreislaferkrankungen manifestieren sich in einer erhöhten Konzentration charakteristischer Markermoleküle im Blutserum. Diese dienen zum Nachweis und zur Verlaufskontrolle der Erkrankung. Die Nachweisgrenze klinischer Diagnoseverfahren auf der Basis serologischer Marker liegt bei 10^{-11} mol/l. Um eine Tumorerkrankung in einem sehr frühen präsymptomatischen Stadium oder einen drohenden Herzinfarkt über Markermoleküle im Blut zu diagnostizieren, sind um ein bis zwei Größenordnungen empfindlichere Nachweisverfahren erforderlich.

Vorgehensweisen

Hierzu sollen Immunoassays eingesetzt werden, die das nachzuweisende Molekül durch seine spezifische Bindung an einen oberflächengebundenen Antikörper detektieren. Im Gegensatz zu herkömmlichen Assays sind die Antikörper an einem nanoskopischen Silikatpartikel ($\varnothing$ 220 nm) angebunden. Die Verkleinerung der analytischen Oberfläche führt zu einer Reduktion unspezifischer Bindungsereignisse und damit zu

einer Erhöhung der Nachweisempfindlichkeit. Die zu analysierende Serumprobe durchströmt den Kanal einer Mikroflussszelle. Das Nanopartikel wird für die Analytik mit einer optischen Pinzette mittig im Kanal der Mikroflussszelle positioniert. Die nachzuweisenden Markermoleküle der Probe treffen auf das Nanopartikel und gehen dort mit den immobilisierten Antikörpern eine Bindung ein. Danach werden die gebundenen Moleküle mit einem Antikörper-Farbstoff-Konjugat spezifisch eingefärbt und mit einem konfokalen Einzelmoleküldetektor nachgewiesen.

Ergebnis

Bei Flussraten von 7 μ l/min konnten mit der optischen Pinzette 220 nm große Nanopartikel im Fluss eines mikrofluidischen Kanals fixiert werden. Die Antikörper auf der Partikeloberfläche binden spezifisch Tumormarker für Non-Hodgkin-Lymphome. Für diesen Nanopartikel-Assay wurde eine Nachweisempfindlichkeit von 10^{-12} mol/l demonstriert.

Anwendungsfelder

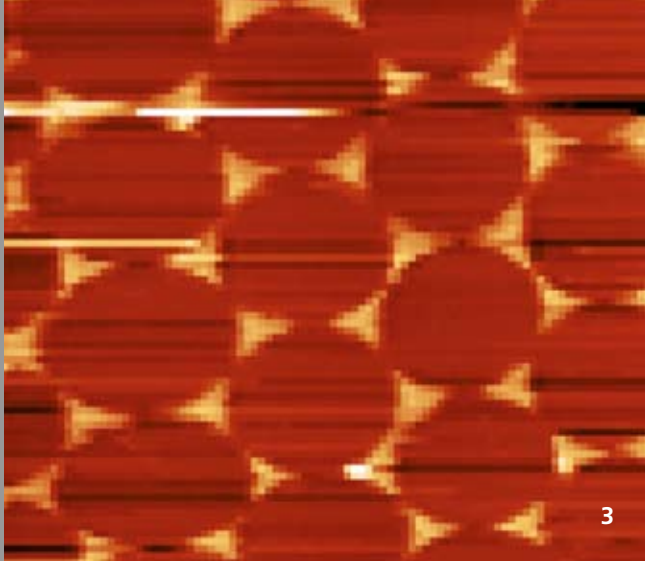
Das Detektionssystem für die serologische Frühdiagnostik kann für alle Fragestellungen der molekularen Diagnostik eingesetzt werden, die Einzelmolekülempfindlichkeit erfordern. Die FuE-Arbeiten wurden vom BMBF gefördert und zusammen mit Partnerinstituten der Fraunhofer-Gesellschaft durchgeführt.

Ansprechpartner

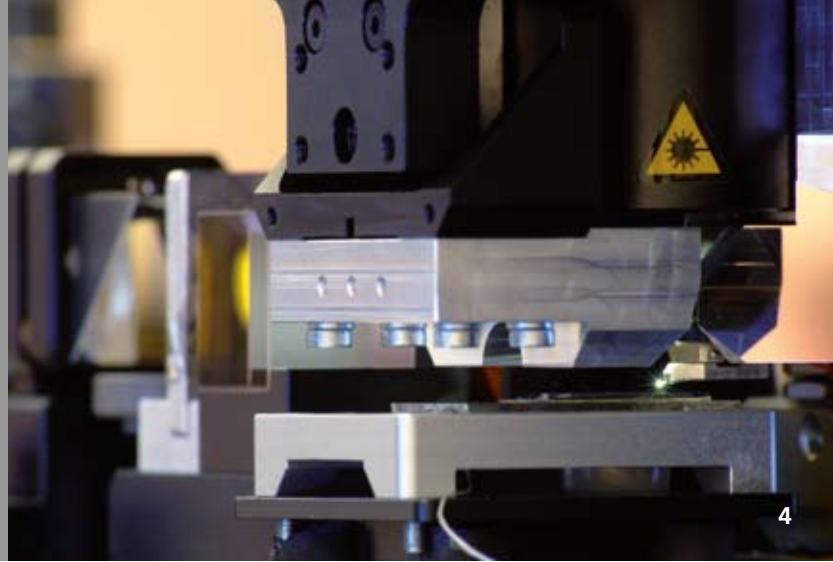
Dr. Achim Lenenbach
Telefon +49 241 8906-124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

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

- 1 Diagnosesystem für die serologische Frühdiagnostik von Tumor- und Herz-Kreislaferkrankungen.
- 2 Mikroflussszelle mit anregendem Laserfokus für den fluoreszenten Einzelmolekülnachweis.



3



4

NANOOPTISCHE STRUKTUREN FÜR DIE LASERTECHNIK UND DIE ANALYTIK

Aufgabenstellung

Mit der Nanophotonik hat sich ein schnell wachsendes Feld neuartiger Anwendungen und Materialien entwickelt, die auf der Interaktion von Licht mit kleinsten Strukturen in der Größenordnung weniger Nanometer basieren. So können periodische Metallstrukturen bei Bestrahlung mit Licht zum Träger von Oberflächenplasmonen werden und so die Eigenschaften des Lichts verändern. Lokale Feldüberhöhungen lassen sich für sensorische Anwendungen ausnutzen. Evaneszente Nahfeldeffekte können für bildgebende Verfahren unterhalb der Beugungsgrenze verwendet werden.

Vorgehensweise

Anwendungen für nanooptische Strukturen im Bereich der Laserentwicklung, der Nahfeldmikroskopie und der Analytik werden entwickelt. Die Abstrahlungscharakteristik von Laserdioden kann durch nanooptische Strukturierung der Laserfacette optimiert werden (breite effektive Abstrahlfläche mit geringem Divergenzwinkel), hier könnte die Präzisionsmontage von Mikrolinsen durch ein kostengünstigeres Verfahren ersetzt werden. Parallel wird an der Entwicklung einer IR-Nahfeldmikroskopie mit spektral breitbandiger Laserstrahlquelle gearbeitet, die eine Infrarotspektroskopie mit Ortsauflösungen im Bereich weniger 10 nm ermöglichen soll. Der Einsatz von plasmonischen Resonatoren mit lokalen Feldüberhöhungen für analytische Sensoren auf der Basis evaneszenter Felder oder der oberflächenverstärkten Raman Spektroskopie (SERS) bildet einen dritten Arbeitspunkt.

Ergebnis

Simulationen zeigen, dass sich die Divergenz einer Laserdiode durch plasmonische Strukturen in weiten Bereichen einstellen lässt (so genannte integrierte Fast-Axis-Kollimation). Eine Realisierung der am Rechner optimierten Strukturen wird zurzeit verfolgt. Ein Konzept für eine durchstimbare und spektral breitbandige Laserstrahlquelle für die Nahfeldmikroskopie auf der Grundlage nichtlinearer Frequenzkonversion wurde erstellt. Im nächsten Schritt wird die technische Umsetzung experimentell untersucht. Abscheidungsverfahren für die Herstellung von nanoplasmonischen Strukturen wurden und werden entwickelt und können mit Rastersondenmikroskopen (AFM, SNOM) analysiert und kontrolliert werden.

Anwendungsfelder

Die einzelnen Aktivitäten im Bereich der Nanooptik zielen auf Anwendungsfelder in den Bereichen Hochleistungsdiodenlaser, Nahfeldmikroskopie und sensorgestützte Analytik.

Ansprechpartner

Prof. Thomas Taubner
Telefon +49 241 80-20260
thomas.taubner@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 AFM-Bild einer nanooptischen Struktur.
4 Ausschnitt eines Nahfeldmikroskops mit angestrahelter Spitze.

PATENTE

Patenterteilungen Deutschland

DE 102 48 207 B4
Verfahren zum Scherschneiden Verwendung dieser Vorrichtung und Verfahren dazu

DE 10 2007 031 244 B3
Vorrichtung und Verfahren zur Durchführung statischer und dynamischer Streulichtmessungen in kleinen Volumina

DE 10 2007 039 035 B3
Verfahren zur Herstellung eines Bauteils sowie Verwendung des nach dem Verfahren hergestellten Bauteils

DE 10 2007 018 40 B4
Optisches System für einen Lasermaterialbearbeitungskopf

DE 101 56 081 B4
Laseroszillator

DE 199 38 555 B4
Optisch gepumpter Festkörperlaser mit einem Lasermedium

DE 10 2007 003 759 B4
Verfahren zur Frequenzstabilisierung gütegeschalteter Laser

DE 10 2007 060 807 B4
Gasentladungsquelle insbesondere für EUV Strahlung

Patenterteilungen USA

US 7,592,563 B2
Verfahren zum Glätten und Polieren von Oberflächen durch Bearbeitung mit energetischer Strahlung

Patenterteilungen Japan

4 340 066
Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von Extrem-Ultraviolettstrahlung/weiche Röntgenstrahlung

5 330 344
Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von extrem ultravioletter Strahlung und weicher Röntgenstrahlung

Patenterteilungen Europa

EP 1 904 260 B1
Verfahren und Vorrichtung zur Vermessung der lateralen Relativbewegung zwischen Bearbeitungskopf und Werkstück

EP 1 654 914 B8
Vorrichtung zur Erzeugung von EUV- und weicher Röntgenstrahlung

Patentanmeldungen National

10 2009 005 620.3-54
Verfahren und Anordnung zur Erzeugung eines Elektronenstrahls

10 2009 008 232.8-52
Einrichtung und Verfahren zur Anbindung einer optischen Messeinrichtung an ein Messvolumen

10 2009 013 355.0-51
Koppelanordnung für Lichtwellenleiter

10 2009 013 355.0-51
Verfahren beim Schweißen und Bauteil

10 2009 033 077.1
Röntgenquelle, Computertomograph sowie Verfahren zum Betrieb der Röntgenquelle bzw. des Computertomographen

10 2009 038 590.9-34
Verfahren zur Bearbeitung von Material/Werkstücken mit Laserstrahlung

10 2009 049 464.7-16
Vorrichtung zur Erfassung der Fügetemperatur beim Laserstrahlschweißen von Thermoplasten

10 2009 149 518.5
Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen von Werkstücken aus hocharmfesten Superlegierungen

10 2009 057 186.8
Faserintegrierter optischer Isolator

DISSERTATIONEN

Patentanmeldungen International

PCT/EP2009/050314

Heizvorrichtung für eine Turbinenschaufel und ein Verfahren zum Schweißen

09150520.6

Verfahren zur Herstellung von Leiterbahnen auf Substraten

PCT/EP2009/051113

Vorrichtung zum Schweißen mit einer Prozesskammer und ein Schweißverfahren

PCT/EP2009/051010

Schweißverfahren mit geregelter Temperaturverfahren und eine Vorrichtung dafür

PCT/EP2009/053511

Bauteil mit Schweißnaht und Verfahren zur Herstellung einer Schweißnaht

PCT/EP2009/054306

Verfahren zum Schweißen in Abhängigkeit einer Vorzugsrichtung des Substrats

PCT/EP2009/002839

Verfahren zur Herstellung von keramischen Objekten mittels selektiven Laserschmelzens

PCT/EP2009/053444

Bauteil mit sich überlappenden Schweißnähten und ein Verfahren zur Herstellung

PCT/DE2009/000820

Verfahren zur Erzeugung gepulster Laserstrahlung mit einem Faserlaser

09167581.9

Ceramic of glass-ceramic article and methods for producing such article

09168289.8

Laser device within configurable intensity distribution

09168319.3

A vertical cavity surface emitting laser device with angular-selective feedback

PCT/EP2009/006176

System mit ein- oder zweidimensionalen Reihen von Strahlquellen

PCT/IB2009/051977

Providing power to gas discharge lamp

PCT/DE2008/002141

Verfahren zur Änderung des Strahldurchmessers eines Laserstrahls in einer Bearbeitungsebene sowie dafür ausgebildete Anordnung

19.01.2009 - Ilya Mingareev

Zeit- und orts aufgelöste Untersuchungen bei der Materialbearbeitung von Metallen und Dielektrika mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung

20.01.2009 - Thomas Pullen

Qualifizierung des CO₂-Laserstrahlschweißens von höherkohlenstoffhaltigen Stählen mit dem Prozessgas Stickstoff

03.02.2009

Thomas Kiedrowski

Oberflächenstrukturbildung beim Laserstrahlpolieren von Stahlwerkstoffen

08.07.2009

Alexander Bayer

Laserstrahlunterstütztes Umformen und Scherschneiden metallischer Kleinteile

02.10.2009 - Jan Wilkes

Selektives Laserschmelzen zur generativen Herstellung von Bauteilen aus hochfester Oxidkeramik

27.11.2009 - Ümit Aydin

Materialidentifikation bewegter Einzelkörner aus Aluminium-Legierungen mit der Laser-Emissionsspektrometrie

18.12.2009 - Jens Holtkamp

Laserunterstützte Umform- und Stanzverfahren

DIPLOMARBEITEN

Aleff, Michael

Konstruktive Umsetzung von Konzepten zur formflexiblen Anpressung von Bauteilen beim Laserstrahl-Kunststoffschweißen

Arning, Frederik

Verfahrensentwicklung zur lokalen Wärmebehandlung reparierter BLISK-Schaufeln aus Ti-6246

Brand, Andreas

A femtosecond white-light interference microscope for space- and time-resolved refractometry

Diatlov, Andrei

Oberflächenstrukturbildung beim Polieren mit gepulster Laserstrahlung

Franz, Christoph

Konzeption und Realisierung einer Versuchsanlage zum Fügen glasfaserverstärkter Kunststoffe mit Laserstrahlung

Giesberts, Martin

Untersuchungen zu dioden-gepumpten, gewinngeschalteten Faserlasern

Hagedorn, Yves-Christian

Herstellung von Volumenkörpern aus ZrO_2/Al_2O_3 Keramik-Pulvergemischen mittels Selective Laser Melting

Hawelka, Dominik

Optische Eigenschaften nanopartikulärer, oxidischer Schichten im NIR

Heidel, Nicolas

Laserstrahl-Auftragschweißen von Fe- und Ni-Basislegierungen mit reduzierter Aufmischungszone bei Magnesium- und Aluminiumlegierungs-Substrate

Herpers, Markus

Laserstrahl-Auftragschweißen auf thermisch gespritzten Zwischenschichten

Kaminsky, Michel

Untersuchung der Plasmadynamik innerhalb laserstrahl-erzeugter Bohrungen mit ns-Doppelpulsen

Keggenhoff, Martin

Mikrokanäle durch selektives Ätzen im Innern von Saphir (ISLE)

Kirfel, Michael

Qualifizierung des Selektiven Laserschmelzens (SLM) für die Verarbeitung von Kupferwerkstoffen K220 und K265 in Pulverform

Kruppe, Rahel Maria

Untersuchung zur Herstellung von Mikrokanalwärmesenken mit dem Selective Laser Melting

Lvovsky, Dennis

Integrierte planare Wellenleiter hergestellt mittels PLD

Mehlmann, Benjamin

Systemtechnik zur örtlichen Leistungsmodulation für das Laserstrahl-Mikrofügen mit Strahlquellen hoher Brillanz

Morsbach, Christian

Analyse des Temperatur- und Spannungsfeldes beim Selective Laser Melting von thermosensitiven Werkstoffen

Ryll, Joachim

Untersuchungen zur Laser-Mikrostrukturierung von Metall im Zweistrahlverfahren

Sauer, Robin Gabriel

Konzeption, Konstruktion und Erprobung einer applikationsbezogenen Schutzgasführung zum Laserstrahl-Auftragschweißen

Schurb, Julius Andreas

Untersuchungen zur Verarbeitung von Inconel 718 mittels Selective Laser Melting (SLM)

Schwarz, Thomas

Experimente und Simulationen zur Lasertätigkeit von Pr:YLF mit und ohne Wellenleitung

Winzen, Matthias

Verfahrensentwicklung zum Fügen von Fast-Axis-Kollimationsoptiken

Witzel, Johannes

Entwicklung eines Reparaturverfahrens mittels Laserstrahl-Auftragschweißen für einkristalline Shroudsegmente von Flugtriebwerken

WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN

M. Benk, K. Bergmann: Adaptive spatially resolving detector for the extreme ultraviolet with absolute measuring capability. *Rev. Sci. Instr.* / 80, 331131-331136, 2009

T. Biermann, G. Backes, A. Gasser, A. Weisheit: Adapted powder feed nozzles for different laser cladding applications. *The Laser User* / Nr. 57, 28-29, 2009

J. Miesner, A. Timmermann, J. Meinschien, B. Neumann, S. Wright, T. Tekin, H. Schröder, T. Westphalen, F. Frischkorn: Automated assembly of Fast Axis Collimation (FAC) lenses for diode laser bar modules. *Proc. SPIE* / 7198, 71980G (10 S.), 2009

P. Jander, R. Noll: Automated detection of fingerprint traces of high explosives using ultraviolet Raman spectroscopy. *Appl. Spectrosc.* / 63, Nr 5, 559-563, 2009

N. C. Stache, A. Stollenwerk, J. Gedicke, A. Olowinsky, A. Knepper, T. Aach: Automatic calibration of a scanner-based laser welding system. *J. Laser Appl.* / 21, Nr 1, 10-15, 2009

C. Gehlen, J. Makowe, R. Noll: Automatisierte Verwechslungsprüfung von Edelstahlhalbzeugen in der Produktion. *Stahl und Eisen* / 129, Nr 7, 70-72, 2009

W. Schulz, U. Eppelt: Basic concepts of laser drilling. In: *The Theory of Laser Materials Processing: Heat and Mass Transfer in Modern Technology*. Ed. J. M. Dowden / Dordrecht: Springer 2009, Springer Series in Materials Science, Vol.119, pp. 129-165

D. Petring: Calculable laser cutting. *Proc. of the 5th Int. WLT-Conf. on Lasers in Manufacturing 2009*, Munich, June 15 -18, 2009 Ed. by A. Ostendorf [u.a.] / Stuttgart: AT Fachverl. 2009, pp. 209-214

M. Banyay, L. Juschkin, P. Loosen, M. Roeckerath, J. Schubert: Characterization of ultra-thin layers in MOS-devices with XUV reflectometry. *JARA FIT Jülich-Aachen Research Alliance for Fundamentals of Future Information Technology - Annual Report 2008* / pp. 47-48, 2009

G. L. Georgiev, R. J. Baird, E. F. McCullen, G. Newaz, G. Auner, R. Patwa, H. Herfurth: Chemical bond formation during laser bonding of Teflon (R) FEP and titanium. *Appl. Surf. Sci.* / 255, Nr 15, 7078-7083, 2009

C. D. Gehlen, E. Wiens, R. Noll, G. Wilsch, K. Reichling: Chlorine detection in cement with laser-induced breakdown spectroscopy in the infrared and ultraviolet spectral range. *Spectrochim. Acta. Part B: Atomic Spectroscopy* / 64, 1135-1140, 2009

J. Diettrich, J. Stollenwerk, M. Kogel-Hollacher, M. Traub, C. Schnitzler: Coaxial laser brazing head. *Proc. of the 5th Int. WLT Conf. on Lasers in Manufacturing 2009*, Munich, June 15 -18, 2009. Ed. by A. Ostendorf [u.a.] / Stuttgart: AT-Fachverlag 2009, 5 S.

D. Trusheim, M. Schulz-Ruhtenberg, J. L. Hernandez, A. Uruena, S. Krantz, C. Morilla, T. Sarnet, A. Olowinsky: Damage-less laser ablation of thin films for silicon solar cells. *Proc. of the 5th Int. WLT-Conf. on Lasers in Manufacturing 2009*, Munich, June 15-18, 2009. Ed. by A. Ostendorf [u.a.] / Stuttgart: AT Fachverl. 2009, 5 S.

M. Dahmen, A. Drenker, M. Ungers, S. Pfeiffer, S. Kaierle: Detection of phase boundaries and defect detection in CO₂-laser beam welding. *Proc. of LAMP 2009 - the 5th Congress on Laser Advanced Materials Processing*, June 29 - July 2, 2009, Kobe, Japan / 5 S.

J. Jahnke, D. M. Mahlmann: Differences in the cellular dry weight per unit biovolume of *Phormidium autumnale* (Cyanobacteria) dependent on growth conditions. *J. Appl. Phycol.* / DOI 10.1007 / s10811-0, 7 S., 2009

M. Schulz-Ruhtenberg, J. L. Hernandez, V. Prajapati, R. Bleidiessel, C. Morilla, Y. Larmanda, V. Vervisch, T. Sarnet, A. Olowinsky: Direct laser doping for high-efficiency solar cells. ICALEO 2009, 28th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, November 2-5, 2009, Orlando, Fl. / 4 S.

M. Strotkamp, T. Schwarz, B. Jungbluth: Efficient, green laser based on a blue-diode pumped rare earth doped fluoride crystal in an extreme short resonator. Conference on Lasers and Electro-Optics 2009 and the European Quantum Electronics Conference. CLEO Europe - EQEC 2009, Munich, 14-19 June 2009 / Mulhouse: European Physical Society, 1 S., 2009

J. Dietrich, M. Brajdic, S. Engbers, L. Klinkmüller, I. Kelbassa: Enhancing the quality and productivity of laser drilling by changing process gas parameters while processing. ICALEO 2009, 28th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, November 2-5, 2009, Orlando, Fl. / 4 S. (Paper 1705)

L. Juschkin, R. Freiburger, K. Bergmann: EUV microscopy for defect inspection by dark-field mapping and zone plate zooming. J. Phys.: Conf. Ser. / 186, 012030 (3 S.), 2009

O. Fitzau, J. Geiger, H.-D. Hoffmann: Experimental and theoretical studies on kW class polarized fiber lasers for cw operation. Proc. SPIE / 7195, 719509 (9 S.), 2009

J. Schüttler, J. Lose, R. Schmitt, W. Schulz: Exploring processing domain boundaries of complex production processes using a metamodeling approach. 12th CIRP Conf. on Modelling of Machining Operations, May 7-8, 2009, San Sebastian (Spain). Ed.: P.J. Arrazola. Vol. 2 / Paris: CIRP 2009, pp. 835-841

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. / 255, 5641-5646, 2009

M. Duering, V. Kolev, B. Luther-Davies: Generation of tuneable 589 nm radiation as a Na guide star source using an optical parametric amplifier. Opt. Expr. / 17, 437-446, 2009

A. Weisheit, K. Wissenbach: Graded layers for wear and corrosion protection produced by laser cladding. In: Friction, Wear and Wear Protection. (Eds.) A. Fischer, K. Bobzin / Weinheim: Wiley-VCH 2009, 6 S.

D. Gu, Y. Shen, G. Meng: Growth morphologies and mechanisms of TiC grains during Selective Laser Melting of Ti-Al-C composite powder. Materials Lett. / 63, 2536-2538, 2009

A. S. Khanna, S. Kumari, S. Kanungo, A. Gasser: Hard coatings based on thermal spray and laser cladding. Int. J. Refract. Met. Hard Mat. / 27, Nr 2, 485-49, 2009

R. Wester, R. Noll: Heuristic modeling of spectral plasma emission for laser-induced breakdown spectroscopy. J. Appl. Phys. / 106, 123302 (10 S.), 2009

M. Traub, M. Giesberts, J. Geiger, C. Johnigk, H.-D. Hoffmann: High peak power fiber coupled super-pulsed diode lasers. Proc. SPIE / 7198, 71980W (10 S.), 2009

G. Kochem, M. Traub, S. Hengesbach, D. Hoffmann: High power fiber coupled modules based on tapered diode-lasers at 975 nm. Proc. SPIE / 7198, 71980R (10 S.), 2009

H. Schleifenbaum, W. Meiners, K. Wissenbach, C. Hinke: High Power Selective Laser Melting: A new approach for individualized series production. ICALEO 2009, 28th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, November 2-5, 2009, Orlando; Fl. / 10 S.

M. Benk, D. Schäfer, T. Wilhein, K. Bergmann: High power soft x-ray source based on a discharge plasma. J. Phys.: Conf. Ser. / 186, 012024 (3 S.), 2009

B. Gronloh, M. Höfer, R. Wester, H.-D. Hoffmann: High power UV generation at 355 nm by means of extracavity frequency conversion of a high repetition rate Innoslab MOPA system. *Proc. SPIE / 7193*, 71930Y (11S.), 2009

J. Gottmann, M. Hörstmann-Jungemann, M. Hermans, D. Beckmann: High speed and high precision Fs-laser writing using a scanner with large numerical aperture. *J. Laser Micro/Nanoeng / 4*, Nr 3, 192-196, 2009

N. Michel, M. Calligaro, Y. Robert, M. Lecomte, O. Parillaud, M. Krakowski, T. Westphalen, M. Traub: High wall-plug efficiency diode lasers with an Al-free active region at 975 nm. *Proc. SPIE / 7198*, 71981H (8 S.), 2009

T. Mans, P. Rußbüldt: Höchste mittlere Leistung für Ultrakurzpuls-laser. *Laser + Photonik / Nr 3*, 20-24, 2009

D. Petring, F. Schneider, N. Wolf, V. Nazery Goneghany: How beam quality, power and wavelength influence laser cutting and welding processes. *Proc. of LAMP 2009, 5th Int. Congr. on Laser Advanced Materials Processing*, June 29 - July 2, 2009, Kobe, Japan / 8 S.

T. Biermann, A. Goettmann, J. Zettler, M. Bambach, A. Weisheit, G. Hirt, R. Poprawe: Hybrid laser assisted incremental sheet forming - improving formability of Ti- and Mg-based alloys. *Proc. of the 5th Int. WLT Conf. on Lasers in Manufacturing 2009, Munich*, June 15-18, 2009. Ed. by A. Ostendorf [u.a.] / Stuttgart: AT-Fachverlag 2009, pp. 273-278

J. K. Kristensen, S. Webster, D. Petring: Hybrid laser welding of thick section steels - the HYBLAS Project. *NOLAMP 12. 12th Nordic Conference in Laser Processing of Materials*, 24th - 26th August 2009 Copenhagen, Lyngby, Denmark: ATV-SEMAPP/The Technical University of Denmark, 2009, 18 S.

D. Gu, Z. Wang, Y. Shen, Q. Li, Y. Li: In-situ TiC particle reinforced Ti-Al matrix composites: Powder preparation by mechanical alloying and Selective Laser Melting behavior. *Appl. Surf. Sci. / 255*, 9230-9240, 2009

D. Esser, D. Wortmann, J. Gottmann: In-volume waveguides by fs-laser direct writing in rare-earth-doped fluoride glass and phosphate glass. *Proc. SPIE / 7205*, 7205101-7205109, 2009

H. Schleifenbaum, W. Meiners, K. Wissenbach: Individualisierte Produktion mittels High Power Selective Laser Melting (SLM). *WT-Online / 99*, Nr 6, 376-383, 2009

H. Schleifenbaum, W. Meiners, K. Wissenbach: Individualized production by means of High Power Selective Laser Melting. 42nd CIRP Conference on Manufacturing Systems - Sustainable development of Manufacturing Systems, Grenoble, France, June 3-5, 2009 Paris: CIRP 2009 / 8 S.

D. Esser, D. Mahlmann, D. Wortmann, J. Gottmann: Interference microscopy of femtosecond laser written waveguides in phosphate glass. *Appl. Phys. B: Lasers and Optics / 96*, Nr 2-3, 5 S. 2009

M. Leers, T. Westphalen, R. Pathak, C. Scholz: Investigation of n-side cooling in regards to bar geometry and packaging style of diode laser. *Proc. SPIE / 7198*, 71980H, (9 S.), 2009

F. Schmitt, B. Mehlmann, J. Gedicke, A. Olowinsky, A. Gillner, R. Poprawe: Laser beam micro welding with high brilliant fiber lasers. *Proc. of LAMP 2009, 5th Int. Congr. on Laser Advanced Materials Processing*, June 29 - July 2, 2009, Kobe, Japan / 6 S.

G. L. Georgiev, T. Sultana, R. J. Baird, G. Auner, G. Newaz, R. Patwa, H. Herfurth: Laser bonding and characterization of Kapton(A (R)) FNI Ti and Teflon(A (R)) FEP/Ti systems. *J. Mat. Sci / 44*, 882-888, 2009

F. Schmitt, M. Schulz-Ruthenberg, A. Olowinsky, A. Gillner: Laser joining process for photovoltaic module production. *Proc. of the 5th Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing 2009, Munich, June 15 - 18 2009*. Ed. by A. Ostendorf [u.a.]. Stuttgart: AT-Fachverlag 2009, pp. 625-630

A. Richmann, E. Willenborg, K. Wissenbach: Laser polishing of fused silica. *Proc. of the 5th Int. WLT Conference on Lasers in Manufacturing 2009, Munich, June 15 - 18, 2009*. Ed. by A. Ostendorf [u.a.]. Stuttgart: AT-Fachverlag 2009, pp. 691-702

R. Ostholt, E. Willenborg, K. Wissenbach: Laser polishing of metallic freeform surfaces. *Proc. of the 5th Int. WLT Conf. on Lasers in Manufacturing 2009, Munich, June 15 - 18, 2009*. Ed. by A. Ostendorf [u.a.]. Stuttgart: AT-Fachverlag 2009, pp. 397-401

F. Sari, D. Flock, A. Gillner, R. Poprawe, E. Haberstroh: Laserdurchstrahlfügen für Mikrosysteme und Halbleitertechnik. 4. Kolloquium Mikroproduktion. Hrsg. F. Vollertsen, S. Büttgenbach, Bremen: BIAS Verl. 2009 / 12 S.

R. Noll, V. Sturm, J. Makowe: Laseremissionsspektrometrie analysiert zeitnah Stahlproben. *Stahl und Eisen* / 129, 61-65, 2009

J. Powell, D. Petring, R.V. Kumar, S.O. Al-Mashikhi, A.F.H. Kaplan, K.T. Voisey: Laser-oxygen cutting of mild steel: the thermodynamics of the oxidation reaction. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 42 / 015504 (11 S.), 2009

M. Banyay, S. Brose, L. Juschkin: Line image sensors for spectroscopic applications in the extreme ultraviolet. *Meas. Sci. Technol.* 20 / 105201 (5 S.), 2009

S. Hoeges, M. Lindner, H. Fischer, W. Meiners, K. Wissenbach: Manufacturing of bone substitute implants using Selective Laser Melting. In: *ECIFMBE 2008, IFMBE Proc. 22*. (Eds.) J. Vander Sloten [u.a.] Berlin, Heidelberg: Springer 2009 / pp. 2230-2234

I. Mingareev, A. Horn: Melt dynamics of aluminium irradiated with ultrafast laser radiation at large intensities. *J. Appl. Phys.* 106 / 13513 (7 S.), 2009

H. Schmidt, A. C. Rota, Ph. Imgrund, M. Leers: Micro metal injection moulding for thermal management applications using ultrafine powders. *Powder Injection Moulding Int.* 3 / Nr 2, 55-59, 2009

D. Gu, Y. Shen: Microstructures and properties of high Cr content coatings on inner surfaces of carbon steel tubular components prepared by a novel mechanical alloying method. *Appl. Surf. Sci.* 256, 223-230, 2009

D. Wortmann, I. Mingareev, A. Brand, A. Horn: Micro-welding of glass by fs-laser irradiation and process observation using fs-pump-probe white light interference microscopy. *Conference on Lasers and Electro-Optics 2009 and the European Quantum Electronics Conference. CLEO Europe - EQEC 2009, Munich, 14-19 June 2009* Mulhouse: European Physical Society / CM2.2 THU, 1 S.

D. Wortmann, T. Mans, J. Weitenberg: Multi-100 W average power fs-laser for material processing applications. *ICALEO 2009, 28th Int. Congr. on Applications of Lasers & Electro-Optics, November 2-5, 2009, Orlando, Fl.* / paper M101, pp. 856-860, 2009

S. Ocylok, A. Weisheit: Multi-graded layers by laser cladding for wear and corrosion protection of die-casting moulds. *Proc. of the 5th WLT-Conference on Lasers in Manufacturing 2009, Munich, June 2009*. Ed. by A. Ostendorf [u.a.] / Stuttgart: AT Fachverl. 2009, 4 S.

M. Giesberts, J. Geiger, M. Traub, H.-D. Hoffmann: Novel design of a gain-switched diode-pumped fiber laser. *Proc. SPIE* 7195, 71952P (9 S.), 2009

D. Petring, F. Schneider: One machine does it all for laser beam welding and cutting. *Welding J. March* / 38-41, 2009

D. Donst, P. Abels, M. Ungers, F. Klocke, S. Kaierle: On-line quality control system for laser brazing. ICALEO 2009, 28th Int. Congr. on Applications of Lasers & Electro-Optics, November 2-5, 2009, Orlando, Fl. / 10 S., 2009

R. Noll, M. Krauhausen: Online-Prüfung von Rohren mit Lasertechnik. Stahlmarkt / H. 1, 40, 2009

I. Mingareev, D. Wortmann, A. Brand, A. Horn: Optical phase measurements during fs-processing of materials using time-resolved white-light interferometry. Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), June 2-4, 2009 / Piscataway, N.J.: IEEE 2009, 2 S.

D. Schäfer, M. Benk, K. Bergmann, T. Nisius, U. Wiesemann, T. Wilhein: Optical setup for tabletop soft X-ray microscopy using electrical discharge sources. J. Phys.: Conf. Ser. 186, 063507 (3 S.), 2009

K. Bergmann, S.V. Danylyuk, L. Juschkin: Optimization of a gas discharge plasma source for extreme ultraviolet interference lithography at a wavelength of 11 nm. J. Appl. Phys. / 106, 073309 (5 S.), 2009

T. Westphalen, M. Leers, M. Werner, M. Traub, H.-D. Hoffmann, R. Ostendorf: Packaging influence on laser bars of different dimensions. Proc. SPIE / 7198, 71980K (8 S.), 2009

C. Fricke-Begemann: Partikel-Zusammensetzung mit Laserspektroskopie messen. Laborpraxis Nr. 12, 48-50, 2009

B. Jungbluth, D. Oberbeckmann, J. Wueppen: Power-scaling and prototyping of a gain switched Ti:Sapphire laser with a tuning range of 400 nm. Proc. SPIE 7193, 71930 (8 S.), 2009

D. Gu, Y. Shen, Z. Lu: Preparation of TiN-TiSSi₃ in-situ composites by Selective Laser Melting. Materials Lett. 63, 1577-1579, 2009

D. Buchbinder, W. Meiners, K. Wissenbach, K. Müller-Lohmeier, E. Brandl, N. Skrynecki: Rapid manufacturing of aluminium parts for serial production via Selective Laser Melting (SLM). 4. International Conference on Rapid Manufacturing, 8th & 9th July 2009 Loughborough: University 2009 / 12 S.

D. Buchbinder, W. Meiners: Rapid Manufacturing von Aluminiumbauteilen. Ingenieur Forum 1, 22-25, 2009

C. Brecher, N. Pyschny, P. Loosen, M. Funck, V. Morasch, R. Schmitt, A. Pavim: Self-optimising flexible assembly systems. In: Self-x in Engineering. B. Klöpper, W. Dangelmaier (Eds.) / Münster: Monsenstein und Vannerdat 2009 / pp. 23-38, ISBN 978-3-86582-938-2

W. Schulz, M. Nießen, U. Eppelt, K. Kowalick: Simulation of laser cutting. In: The Theory of Laser Materials Processing: Heat and Mass Transfer in Modern Technology. Ed. J. M. Dowden / Dordrecht: Springer 2009, Springer Series in Materials Science, Vol.119, pp. 21-69

J. Löhring, A. Meissner, V. Morasch, P. Becker, W. Heddrich, D. Hoffmann: Single-frequency Nd:YGG laser at 935 nm for future water-vapour DIAL systems. Proc. SPIE / 7193, 71931Y (7 S.), 2009

J. Dolkemeyer, M. Funck, V. Morasch, C. Schnitzler, P. Loosen: Soldering techniques for the assembly of high power solid-state lasers. European Conference on Lasers and Electro-Optics and the XIth European Quantum Electronics Conference, Munich, June 14-19, 2009 / 1 S.

M. C. Funck, P. Loosen: Statistical simulation of selectively assembled optical systems. Proc. SPIE 7427, 7427B (10 S.), 2009

A. Temmler, E. Willenborg, N. Pirch, K. Wissenbach: Structuring by remelting. Proc. of the 5th Int. WLT Conf. on Lasers in Manufacturing 2009, Munich, June 15 -18, 2009. Ed. by A. Ostendorf [u.a.] Stuttgart: AT-Fachverlag 2009 / pp. 403-407

T. Sultana, G. L. Georgiev, R. J. Baird, G. W. Auner, G. Newaz, R. Patwa, H. J. Herfurth: Study of two different thin film coating methods in transmission laser micro-joining of thin Ti-film coated glass and polyimide for biomedical applications / *J. Mech. Behav. Biomed. Mat.* 2, 237-242, 2009

H. Maurer, G. Vossen: Sufficient conditions and sensitivity analysis for optimal bang-bang control problems with state constraints. In: *System Modeling and Optimization*. Ed.: A. Korytowski u.a. 23rd IFIP TC 7 Conference, Cracow, Poland, July 23-27, 2007/ Berlin [u.a]: Springer 2009, *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Vol. 312. / ISBN 978-3-642-04801-2, pp. 82-99

G. Vossen: Switching time optimization for bang-bang and singular controls. *J. Optim. Theory Appl.* / Online first 1-18 (2009)

R. Poprawe, F. Schmitt, J. Gedicke, B. Mehlmann, A. Olowinsky, A. Gillner: Systemtechnik zur örtlichen Leistungsmodulation beim Laserstrahl-Mikroschweißen. 4. Kolloquium Mikroproduktion. Hrsg.: F. Vollertsen, [u.a.] Bremen: BIAS Verl. 2009, 10 S.

M. Banyay, L. Juschkin: Table-top reflectometer in the extreme ultraviolet for surface sensitive analysis. *Appl. Phys. Lett.* 94, (6), 063507 (3 S.), 2009

M. Dahmen, S. Kaierle: The ecological footprint of laser beam welding. *Proc. of LAMP 2009 - the 5th Int. Congr. on Laser Advanced Materials Processing*, June 29 - July 2, 2009, Kobe, Japan 1-4 (2009)

D. Petring, F. Schneider, N. Wolf, V. Nazery Goneghany: The influence of beam quality, power and wavelength on laser cutting and welding. *The Laser User* 56, Autumn, 20-23, 2009

J. Dietrich, M. Brajdic, A. Mirau, L. Klinkmueller, I. Kelbassa: The influence of process gases on laser drilling. *Proc. of the 5th Int. WLT Conf. on Lasers in Manufacturing 2009, Munich, June 15 -18, 2009*. Ed. by A. Ostendorf [u.a.] / Stuttgart: AT-Fachverlag 2009, pp. 815-818

H. Schleifenbaum, J.-Y. Uam, G. Schuh, C. Hinke: Turbulence in production systems - fluid dynamics and its contributions to production theory. *Proc. of the World Congress on Engineering and Computer Science 2009. WCECS 2009, October 20-22, 2009, San Francisco/USA*. Vol. 2, 6 S.

L. Juschkin, R. Freiburger: Two magnification steps EUV microscopy with a Schwarzschild objective and an adapted zone plate lens. *Proc. SPIE* 7360, 736005 (8 S.), 2009

T. Mans, P. Rußbüldt, J. Weitenberg, G. Rotarius, D. Hoffmann, R. Poprawe: Ultrafast Ytterbium doped INNOSLAB amplifier with high average power. *Conf. on Lasers and Electro-Optics/International Quantum Electronics Conference, OSA Technical Digest (CD) / Optical Society of America, 2009, paper CThJ2* (2 S.)

M. Mir, N. Gutknecht, R. Poprawe, L. Vanweersch, F. Lampert: Visualising the procedures in the influence of water on the ablation of dental hard tissue with erbium:yttrium-aluminium-garnet and erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser pulses. *Lasers Med. Sci.* 24, 365-374, 2009

D. Buchbinder, H. Schleifenbaum: Wirtschaftliche Alternative. *Giesserei-Erfahrungsaustausch* 53, 18-20, 2009

M. Banyay, L. Juschkin, T. Bücke, P. Loosen [u.a.]: XUV metrology: Surface analysis with Extreme Ultraviolet Radiation. *Proc. SPIE* 7361, 736113 (12 S.), 2009

S. Danylyuk, L. Juschkin, S. Brose, K. Bergmann, P. Loosen [u.a.]: XUV interference lithography for sub-10 nm patterning. *JARA FIT Jülich-Aachen Research Alliance for Fundamentals of Future Information Technology - Annual Report 2008*, pp. 49-50, 2009

T. Mans, P. Rußbüldt, J. Weitenberg: Yb:KYW Innoslab-Amplifier. *Conference on Lasers and Electro-Optics 2009 and the European Quantum Electronics Conference. CLEO Europe - EQEC 2009, Munich, 14-19 June 2009 / Mulhouse: European Physical Society paper CA3_2* (1S.), 2009

VORTRÄGE

M. Werner, C. Wessling, S. Hengesbach, M. Traub, H.-D. Hoffmann: 100 W/100 μm passively cooled, fiber coupled diode laser at 976 nm based on multiple 100 μm single emitters. *Proc. SPIE / 7198, 71980P* (7 S.), 2009

F. Schneider, D. Petring, V. Nazery, C. Nuesser: 2D and 3D laser cutting and welding with the combi-head: Efficient production by flexible process changes. *Proc. 5th Int. WLT-Conf. on Lasers in Manufacturing 2009, Munich, June 15 - 18, 2009. Ed. by A. Ostendorf [u.a.] / Stuttgart: AT-Fachverlag 2009, pp. 245-249*

D. Petring [u.a.]: 3D-Laserschneiden und -schweißen in einer Maschine. *MM MaschinenMarkt Nr 23, 20-23, 2009*

P. Russbueldt, T. Mans, G. Rotarius, J. Weitenberg, H.D. Hoffmann, R. Poprawe: 400 W Yb:YAG Innoslab fs-amplifier. *Opt. Expr.* 17, Nr 15, 12230-12245, 2009

25.01.2009 - H.-D. Hoffmann: Q-switched 1.7-kW average power laser with fiber beam delivery. *Photonics West 2009, San Jose, CA, USA*

25.01.2009 - B. Jungbluth: Power scaling and prototyping of a gain switched Ti: Sapphire Laser with a tuning range of 400 nm. *Photonics West 2009, San Jose, CA, USA*

26.01.2009 - B. Gronloh: High power UV generation at 355 nm by means of extracavity frequency conversion of a 40 MHz Innoslab MOPA system. *Photonics West 2009, San Jose, CA, USA*

26.01.2009 - T. Westphalen: Packaging influences on laser bars of different dimensions. *Photonics West 2009, San Jose, CA, USA*

26.01.2009 - M. Leers: Investigation of n-side cooling in regards to bar geometry and packaging style of diode laser. *Photonics West 2009, San Jose, CA, USA*

26.01.2009 - P. Rußbültdt: Power scaling of Yb INNOSLAB amplifiers beyond 100-W average power. *Photonics West 2009, San Jose, CA, USA*

26.01.2009 - O. Fitzau: Experimental and theoretical studies on kW class polarized fiber lasers for cw operation. *Photonics West 2009, San Jose, CA, USA*

27.01.2009 - M. Traub: High-peak-power fiber coupled super-pulsed diode laser. *Photonics West 2009, San Jose, CA, USA*

27.01.2009 - M. Werner: 100 W / 100 μm / NA0.17 passively cooled, fiber coupled diode laser at 976 nm based on multiple 100 μm single emitters. *Photonics West 2009, San Jose, CA, USA*

27.01.2009 - M. Giesberts: Novel design of a gain-switched diode-pumped fiber laser. *Photonics West 2009, San Jose, CA, USA*

27.01.2009 - G. Kochem: High-power fiber-coupled modules based on tapered diode lasers at 975 nm. *Photonics West 2009, San Jose, CA, USA*

28.01.2009 - D. Esser: In-volume waveguides by fs-laser direct writing in rare-earth doped fluoride glass and phosphate glass. Photonics West 2009, San Jose, CA, USA

28.01.2009 - R. Poprawe: Tailored light - Innovation by new laser concepts and new applications. Photonics West 2009, San Jose, CA, USA

29.01.2009 - J. Loehring: Single frequency Nd:YGG laser at 935 nm for future water vapour DIAL systems. Photonics West 2009, San Jose, CA, USA

01.02.2009 - P. Rußbüldt: Hybrid 400 W fiber-Innoslab fs-amplifier. Advanced Solid-State Photonics ASSP 09, Denver, CO, USA

01.02.2009 - J. Gottmann: Wellenleiter und Nanostrukturen durch fs-Laserstrahlung auf Oberflächen und im Volumen. Seminar Ultrakurzpulstechnik, Universität Kassel, Kassel

03.02.2009 - S. Kaierle: Cost-effective production through quality assurance: Patented sensor system simultaneously measures the weld, beam position and speed of processing on workpieces. EALA European Automotive Laser Applications Conference, Bad Nauheim

04.02.2009 - H. Schleifenbaum: Werkzeug Licht - Werkstoff- und funktionsgerechte Bauteilherstellung mittels Selective Laser Melting (SLM). IKM Seminar, Dresden

16.02.2009 - E. Willenborg: Polieren mit Laserstrahlung - Stand der Entwicklung und Perspektiven für die Anwendung. Schleiftagung 2009, Fellbach

02.03.2009 - I. Kelbassa: Laser additive manufacturing - a key enabler for future factories? LAM 2009, Laser Additive Manufacturing, San Antonio, TX, USA

03.03.2009 - F. Küpper: Power scaling of an extreme ultra-violet discharge source. 21st Symposium Plasma & Radiation Technology, Lunteren, Niederlande

03.03.2009 - M. Schulz-Ruhtenberg: The use of lasers in cell manufacturing: chances and limits. Photon Expo, München

04.03.2009 - A. Gillner: Neue Laser-Fertigungsverfahren mit ultra-kurzen Pulsen und angepassten Wellenlängen. Technologietag Osram, Regensburg

04.03.2009 - S. Kaierle: Qualitätssicherung und Prozessüberwachung beim Schweißen und Schneiden. Laser + Blech - Lasereinsatz in der Blechbearbeitung, Dortmund

11.03.2009 - R. Poprawe: The comparative innovation advantage of a network research center structure. CLAN-Workshop, Toronto, ON, Kanada

17.03.2009 - K. Wissenbach: Der Laser im Werkzeug-und Formenbau. Fachtag Spritzgiesstechnik, Aalen

19.03.2009 - R. Poprawe: Innovative laser beam shaping and optics production with lasers. Kolloquium »Optik-Schlüsseltechnologie mit Zukunft«, Aachen

26.03.2009 - T. Biermann: New developments in laser cladding for industrial manufacturing processes. AILU Workshop: Additive layer manufacturing: laser techniques and opportunities, Bristol, Großbritannien

29.03.2009 - M. Benk: Labor-Röntgenmikroskopie mit einer Gasentladungsquelle. DPG Frühjahrstagung, Greifswald

30.03.2009 - J. Weitenberg: Temperaturabhängigkeit von Verstärkung und Bandbreite in einem Yb:YAG Innoslab fs-Verstärker mit hohen mittleren Leistungen. DPG-Frühjahrstagung, Greifswald

31.03.2009 - F. Küpper: Leistungsskalierung einer Lichtquelle basierend auf einer Zinn-Gasentladung für die EUV-Lithographie. DPG Frühjahrstagung, Greifswald

31.03.2009 - S. Engelhardt: Mikrostrukturierung von Biomolekülen mittels Multiphotonenpolymerisation für optimiertes Zellwachstum in Tissue Engineering Anwendungen. DPG Frühjahrstagung, Greifswald

31.03.2009 - C.-A. Hartmann: Präzise Laserstrukturierung zur Erzeugung von Bauteilen mit funktionalen Oberflächen. DPG Frühjahrstagung, Greifswald

31.03.2009 - D. Riester: Lasergestütztes Drucken von Zellen und bioaktiven Substanzen. DPG Frühjahrstagung, Greifswald

31.03.2009 - R. Noll: Eigenschaften der Laserstrahlung. Aachener Laserseminar »Einführung in die Grundlagen der Lasermesstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

31.03.2009 - R. Wester: Wechselwirkung Laserstrahlung - Messobjekt. Aachener Laserseminar »Einführung in die Grundlagen der Lasermesstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

31.03.2009 - C. Janzen: Strahlformung und -führung. Aachener Laserseminar »Einführung in die Grundlagen der Lasermesstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

31.03.2009 - R. Noll: Detektion elektromagnetischer Strahlung. Aachener Laserseminar »Einführung in die Grundlagen der Lasermesstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

31.03.2009 - S. Hölters: Laser-Interferometrie. Aachener Laserseminar »Einführung in die Grundlagen der Lasermesstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

31.03.2009 - T. Schwendt: Speckle-Messtechnik. Aachener Laserseminar »Einführung in die Grundlagen der Lasermesstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

31.03.2009 - R. Noll: Laser-Triangulation. Aachener Laserseminar »Einführung in die Grundlagen der Lasermesstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

31.03.2009 - R. Noll: Laser-Doppler-Verfahren. Aachener Laserseminar »Einführung in die Grundlagen der Lasermesstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

31.03.2009 - P. Jander: Laser-Spektroskopie. Aachener Laserseminar »Einführung in die Grundlagen der Lasermesstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

31.03.2009 - I. Kelbassa: Advances in Europe for laser application in aerospace industry. SALA 2009, East Hartford, CT, USA

01.04.2009 - R. Noll: Grundlagen der Methoden der Lasermesstechnik - Stand der Technik und neue Entwicklungen. Aachener Laserseminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«, Fraunhofer ILT, Aachen

17.04.2009 - R. Poprawe: The art of innovations - laser technology for new markets. CREOL, Orlando, FL, USA

20.04.2009 - A. Gillner: Ultra short pulsed lasers for micro manufacturing. Hannovermesse, Hannover

20.04.2009 - L. Juschkin: Two magnification steps EUV microscopy with a Schwarzschild objective and an adapted zone plate lens. SPIE Europe Optics + Optoelectronics, Prag, Tschechische Republik

23.04.2009 - M. Dahmen: Aspects of motion and process control for laser beam welding. 14th IIW WG-Shipbuilding Meeting, Krimpen a.d. IJssel, Niederlande

29.04.2009 - R. Poprawe: *Laseranwendungen in der Medizin.*
126. Kongress der deutschen Gesellschaft für Chirurgie, München

04.05.2009 - A. Gillner: *Laser applications in micro technology.*
Technologietag CIBA, Basel, Schweiz

05.05.2009 - C.-A. Hartmann: *Laserstrukturierung von Kontaktflächen zur Verschleißminderung.* ATK, Aachen

06.05.2009 - P. Loosen: *Laserlicht im Fokus: Die neue Art der Produktion.* Seniorenstudium der RWTH-Aachen, Aachen

08.05.2009 - D. Petring: *Gelungener Spagat zwischen Flexibilität und Produktivität - Schweißen und Schneiden mit neuen Strahlquellen.* Fraunhofer Technologiezirkel »Innovation mit Lichtgeschwindigkeit«, Aachen

08.05.2009 - W. Meiners: *Produkte aus dem Laserdrucker - Selective Laser Melting auf dem Weg in die industrielle Serienproduktion.* Fraunhofer Technologiezirkel »Innovation mit Lichtgeschwindigkeit«, Aachen

09.05.2009 - R. Poprawe: *Naturwissenschaften im Alltag. »Teach-Ing.«* Veranstaltung des Rotary Club Aachen, Köln

13.05.2009 - A. Gillner: *Mikro- und Nanostrukturierung mit Ultrakurzpulslasern für Werkzeugtechnik und funktionale Oberflächen.* EPMT-Conference, Lausanne, Schweiz

13.05.2009 - R. Poprawe: *Trends and developments in laser applications for fuel cells and batteries.* ALAW 2009, Plymouth MI, USA

25.05.2009 - M. Dahmen: *Laser materials processing for the chemical industry.* SASOL Mech & Met engineering: training day, Mondoro Lodge, Heidelberg, Republik Südafrika

25.05.2009 - S. Hoeges: *SLM von Polylactiden zur Herstellung von resorbierbaren Implantaten.* RapidTech, Erfurt

29.05.2009 - M. Dahmen: *Materials processing with lasers, laser measurement and sensing. Workshop & open Forum: R&D in Laser Technology and Opto-Electronics-Cooperation with Fraunhofer,* Cape Town, Republik Südafrika

30.05.2009 - T. Mans: *Ultrafast ytterbium doped Innoslab amplifier with high average power.* Conference on Lasers and Electro-Optics, CLEO 2009, Baltimore, MD, USA

02.06.2009 - H. Schleifenbaum: *Individualized production by means of high power selective laser melting.* Cirp-Manufacturing Systems, Grenoble, Frankreich

02.06.2009 - M. Dahmen: *Materials processing with lasers, laser measurement and sensing. Workshop & Open Forum: R&D in laser technology and Opto-Electronics-Cooperation with Fraunhofer,* Pretoria, Republik Südafrika

05.06.2009 - M. Dahmen: *Drilling with laser radiation.* CSIR-NLC, Pretoria, Republik Südafrika

05.06.2009 - S. Danylyuk: *Nanopatterning with XUV interference lithography.* JARA-FIT Science Days, Schleiden

15.06.2009 - S. Ocylok: *Multi graded layers by laser cladding for wear and corrosion protection of die casting moulds.* Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

15.06.2009 - T. Mans: *Yb:KYW Innoslab-Amplifier.* CLEO® / Europe - EQEC Conference 2009, München

16.06.2009 - J. Dolkemeyer: *Soldering techniques for the assembly of high power solid-state lasers.* CLEO® / Europe - EQEC Conference 2009, München

16.06.2009 - D. Becker: Additive manufacturing of components out of copper by selective laser melting. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

16.06.2009 - T. Biermann: Hybrid laser-assisted incremental sheet forming - improving formability of Ti- and Mg-based alloys. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

16.06.2009 - K. Wissenbach: Selective Laser Melting - Grundlagen und Übersicht. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

16.06.2009 - R. Ostholt: Laser polishing of metallic freeform surfaces. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

16.06.2009 - A. Temmler: Structuring by remelting. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

16.06.2009 - J. Gedicke: Performances of micro ring welding as an alternative method for laser spot welding. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

17.06.2009 - D. Trusheim: Damage-less laser ablation of thin films for silicon solar cells. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

17.06.2009 - F. Schmitt: Laser joining processes for photovoltaic module production. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

17.06.2009 - A. Richmann: Laser polishing of fused silica. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

17.06.2009 - F. Schneider: 2D und 3D Laser cutting and welding with the combi-head: Efficient production by flexible process changes. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

17.06.2009 - J. Dietrich: The influence of process gases on laser drilling. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

17.06.2009 - M. Hörstmann-Jungemann: In volume selective laser etching of sapphire. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

17.06.2009 - D. Petring: Calculable laser cutting. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

17.06.2009 - J. Dietrich: Coaxial laser brazing head. Lasers in Manufacturing - LIM2009, München

17.06.2009 - W. Schulz: Monitoring and simulation of laser welding for industrial applications. NAFEMS WORLD CONGRESS 2009 Simulation, Limin Hersonissou, Kreta, Griechenland

17.06.2009 - H.-D. Hoffmann: Laserstimulierbare Hochstromkathode für zukünftige Computertomographen. Abschlusstagung des Projektverbands FEMTONIK, LASER 2009, München

18.06.2009 - J. Gottmann: High speed fabrication of periodical nanostructures by fs-laser direct writing on the surface and in the volume of transport materials. CLEO® / Europe - EQEC Conference 2009, München

18.06.2009 - D. Wortmann: Microwelding of glass by fs-laser irradiation and process observation using fs-pump-probe white-light interference microscopy. CLEO® / Europe - EQEC Conference 2009, München

18.06.2009 - J. Gottmann: Fabrication of micro-channels and waveguides by fs-laser direct writing in glass. CLEO® / Europe - EQEC Conference 2009, München

18.06.2009 - M. Strotkamp: Efficient, green laser based on a blue-diode pumped rare earth doped fluoride crystal in an extreme short resonator. CLEO® / Europe - EQEC Conference 2009, München

19.06.2009 - P. Loosen: EPS council strategy discussion innovation and applied physics. Board Meeting of the EPS, Engineering College of Århus, Århus, Dänemark

21.06.2009 - A. L. Boglea: Extending the limits of laser polymer welding using advanced irradiation strategies. LAMP2009, Kobe, Japan

22.06.2009 - A. Gillner: Neue Laser für die Photovoltaik. EFTS Tagung Photovoltaik, Wörlitz

24.06.2009 - D. Wortmann: Mikro- und Nanostrukturierung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung. MECS Kolloquium, Uni Saarbrücken, Saarbrücken

26.06.2009 - M. Brajdic: Process development for laser drilled cooling holes in multilayer-systems. SFB Workshop, Aachen

27.06.2009 - T. Mans: Multi 100 W fs-Innoslab-Amplifier. LAMP2009, Kobe, Japan

29.06.2009 - D. Petring: How beam quality, power and wavelength influence laser cutting and welding processes. LAMP2009, Kobe, Japan

29.06.2009 - M. Dahmen: On the correlation between void formation and melt pool dynamics during welding with CO₂ laser. LAMP2009, Kobe, Japan

29.06.2009 - J. Gottmann: High speed fabrication of coherent sub-wavelength ripples by fs-laser direct writing on surfaces and in the volume. LAMP2009, Kobe, Japan

29.06.2009 - F. Schmitt: Laser beam micro welding with high brilliant fiber lasers. LAMP2009, Kobe, Japan

30.06.2009 - A. Gillner: Liftec - Laserfügen Kunststoff-Metall. Systems Integration 2009, Minden

30.06.2009 - M. Hörstmann-Jungemann: 3D micro structuring of sapphire using fs-laser irradiation and selective laser etching. LAMP2009, Kobe, Japan

01.07.2009 - D. Wortmann: High average power fs-laser processing of ceramic-matrix composites, metals and dielectrics. LAMP2009, Kobe, Japan

02.07.2009 - M. Dahmen: The ecological footprint of laser beam welding. LAMP2009, Kobe, Japan

02.07.2009 - J. Gottmann: High speed and high precision fs-laser writing using a scanner with large numerical aperture. LAMP2009, Kobe, Japan

07.07.2009 - D. Buchbinder: Rapid manufacturing of aluminium parts for serial production via Selective Laser Melting (SLM). Rapid Manufacturing Konferenz, Loughborough, Großbritannien

08.07.2009 - I. Kelbassa: Laser additive manufacturing: possibilities and advantages for the factory of the future. Industrial Laser Applications Symposium 2009, Cambridge, Großbritannien

08.07.2009 - D. Petring: Broadening the horizon of laser welding by hybrid techniques and combined processes. Industrial Laser Applications Symposium 2009, Cambridge, Großbritannien

07.08.2009 - M. C. Funck: Statistical simulation of selectively assembled optical systems. Optics + Photonics, San Diego, CA, USA

25.08.2009 - J. Geiger: Design und Realisierung von High-Performance Faserlasern. IFSW, Stuttgart

25.08.2009 - R. Poprawe: Fraunhofer Corporate Motivation. Orlando, FL, USA

08.09.2009 - C. Fricke-Begemann: Laser-induced breakdown spectroscopy for on-line measurements of particle composition. EAC Karlsruhe, Karlsruhe

09.09.2009 - A. Weisheit: Verschleiß- und Korrosionsschutz auf Mg- und Al-Legierungen mittels Laserstrahl-Auftragschweißen. Clausthale Leichtmetalltage 2009, Clausthal-Zellerfeld

10.09.2009 - R. Poprawe: Naturwissenschaften im Alltag - Faszination der Lasertechnik. Rotary Club Köln-Ville, Köln

10.09.2009 - H. D. Hoffmann: Den Spurengasen hinterher: Deutsche Lidartechnologie. DGLR Tagung, Aachen

15.09.2009 - V. Morasch: Self-optimising flexible assembly systems. 32nd Annual Conference on Artificial Intelligence KI2009, Paderborn

21.09.2009 - A. Gillner: Micro structuring and nanofunctionalisation with laser radiation. AILU-Seminar, Oxon, Chilton, Didcot, Großbritannien

22.09.2009 - M. Niessen: Robust Design für das Laserschneiden. Fraunhofer-Alianz NUSIM, LBF Darmstadt, Darmstadt

23.09.2009 - M. Banyay: Lab-based XUV reflectometry for surface sensitive metrology. Graduate Student Workshop on Extreme UV Lithography, Optics and Sources, Dublin, Irland

23.09.2009 - S. Brose: Fabrication of transmission masks for the EUV-lithography at 11 nm. Graduate Student Workshop on Extreme UV Lithography, Optics and Sources, Dublin, Irland

23.09.2009 - S. Danylyuk: Nanopatterning with XUV interference lithography. Graduate Student Workshop on Extreme UV Lithography, Optics and Sources, Dublin, Irland

23.09.2009 - R. Freiburger: Two magnification steps EUV microscopy with a Schwarzschild objective and an adapted zone-plate. Graduate Student Workshop on Extreme UV Lithography, Optics and Sources, Dublin, Irland

23.09.2009 - S. Herbert: System modification of the EUV microscope to reflection mode for defect inspection of mask blanks. Graduate Student Workshop on Extreme UV Lithography, Optics and Sources, Dublin, Irland

23.09.2009 - A. Maryasov: Simulation of defect scattering efficiency for EUV mask inspection tool. Graduate Student Workshop on Extreme UV Lithography, Optics and Sources, Dublin, Irland

26.09.2009 - R. Poprawe: Laseranwendung in der Medizin. Ethik-Konferenz, Cadenabbia (Como), Italien

24.09.2009 - L. Juschkin: Present status of pinch plasmas for EUV and soft X-ray radiation. Graduate Student Workshop on Extreme UV Lithography, Optics and Sources, Dublin, Irland

27.09.2009 - M. Hörstmann-Jungemann: Laser assisted nano-and microstructuring of sapphire and fused silica. Nanotech, Berlin

27.09.2009 - R. Noll: Industrial LIBS applications - achievements and new perspectives. EMSLIBS 2009, Tivoli Terme, Rom, Italien

28.09.2009 - K. Bergmann: Compact and intense EUV and soft x-ray light sources for nano patterning and nanoscale imaging. MNE09, Gent, Belgien

29.09.2009 - D. Mahlmann: Automatisierte Mach-Zehnder Interferenzmikroskopie. DGG, Wertheim-Bronnbach

30.09.2009 - W. Meiners: Entwicklungstrends im Bereich des Selective Laser Melting - Aktuelle Forschungen im Fraunhofer ILT. IHK Veranstaltung Automotive Rheinland, Aachen

06.10.2009 - D. Becker: Additive manufacturing of components out of copper by selective laser melting. 4th International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping, Leiria, Portugal

06.10.2009 - P. Jander: Stand-Off Detektion mit Plasmaemissions- und Ramanspektroskopie. Carl-Cranz Seminar Detektion von Explosivstoffen, Pfinztal (Berghausen)

08.10.2009 - J. Holtkamp: Strukturieren, Abtragen, Bohren und Oberflächenmodifizieren. Laser in der Produktion, Detmold

08.10.2009 - P. Abels: Qualitätssicherung im Prozess. IHK Seminar solution OWL, Detmold

13.10.2009 - D. Petring: Techniques to expand the limits in high power laser beam welding. International Colloquium High Power Laser Welding, Berlin

16.10.2009 - H. Schleifenbaum: High power selective laser melting: a new approach for individualized series production. ICALEO®, Orlando, FL, USA

20.10.2009 - P. Loosen: The borderline between basic science and applied science and engineering. Seminar on Sandbjerg Castle, Engineering College of Århus, Sandbjerg, Dänemark

23.10.2009 - H. Schleifenbaum: Turbulence in production systems-fluid dynamics and its contribution to production theory. ICSEEM, San Francisco, CA, USA

25.10.2009 - T. Biermann: Laser cladding and thermal spraying: actual work on improving wear and corrosion resistance of magnesium alloys. Konferenz Magnesium Alloys and their Applications, Weimar

27.10.2009 - F. Sari: Laserdurchstrahlfügen für Mikrosysteme und Halbleitertechnik. Abschlusskolloquium SFB 440, Bremen

28.10.2009 - J. Gedicke: Laserstrahl-Mikroschweißen als robustes und präzises Fügeverfahren in der Aufbau- und Verbindungstechnik. Workshop Mikroschweißen, Landshut

28.10.2009 - F. Schmitt: Systemtechnik zur örtlichen Leistungsmodulation beim Laserstrahl-Mikroschweißen. Abschlusskolloquium SFB 440, Bremen

28.10.2009 - S. Hoeges: New methods in regenerative medicine: bio-degradable implants by Selective Laser Melting. World Conference on Regenerative Medicine, Leipzig

28.10.2009 - R. Poprawe: Perspektiven der Pico- und Femtosekundenlasertechnik in der Mikrobearbeitung. 20. Internationale Wissenschaftliche Konferenz, Mittweida

29.10.2009 - H.-D. Hoffmann: Festkörperlaser und Diodenlaser für das Schweißen von Kunststoffen. Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg

31.10.2009 - S. Kaierle: Concurrent laser spot and seam tracking for industrial CO₂ laser welding applications. ICALEO® 2009, Orlando, FL, USA

01.11.2009 - M. Schulz-Ruhtenberg: Direct laser doping for high efficiency solar cells. ICALEO® 2009, Orlando, FL, USA

02.11.2009 - D. Wortmann: Multi-100 W average power Fs-laser for material processing applications. ICALEO® 2009, Orlando, FL, USA

03.11.2009 - M. Hermans: Microstructuring of sapphire and fused silica by high speed and high precision in-volume selective laser etching. ICALEO® 2009, Orlando, FL, USA

04.11.2009 - S. Kaierle: Concurrent laser spot and seam tracking for industrial CO₂ laser welding applications. ICALEO® 2009, Orlando, FL, USA

05.11.2009 - J. Dietrich: Enhancing the quality and productivity of laser drilling by changing process gas parameters while processing. ICALEO® 2009, Orlando, FL, USA

06.11.2009 - M. Göbel: Comparison of powder additive qualities with regard to achievable LMD results. ICALEO® 2009, Orlando, FL, USA

22.11.2009 - M. Banyay: Laboratory based extreme ultraviolet reflectometry for analysis of ultra thin films. COST MP0601 Short Wavelength Laboratory Sources, Smolenice, Slowakische Republik

22.11.2009 - K. Bergmann: Discharge based XUV sources for applications on the nanoscale. COST MP0601 Short Wavelength Laboratory Sources, Smolenice, Slowakische Republik

22.11.2009 - L. Juschkin: System solutions for utilization of EUV radiation in selected nanotechnology applications. COST MP0601 Short Wavelength Laboratory Sources, Smolenice, Slowakische Republik

23.11.2009 - J. Gottmann: 3D microstructures in transparent materials by in-volume selective femtosecond laser-induced etching. COLA Conference on Laser Ablation 2009, Singapur, Singapur

23.11.2009 - J. Gottmann: Laser-induced coherent sub-wavelength ripples on surface and in the volume of dielectrics. COLA Conference on Laser Ablation 2009, Singapur, Singapur

25.11.2009 - D. Wortmann: Graphene production by fs-laser ablation of graphite. COLA Conference on Laser Ablation 2009, Singapur, Singapur

26.11.2009 - R. Poprawe: Future Photonic Production. SCOPE-Eröffnungsveranstaltung, Stuttgart

26.-29.11.2009 - M. Dahmen: Materials Processing with Laser Radiation. Workshop Series on Laser Welding Techniques for the Construction of Chemical Equipment Chamdor, Germiston, Sebenza Edenvale, Secunda, Republik Südafrika

10.12.2009 - P. Loosen: Wie gelingt der Quantensprung im Innovationsprozess? 6. Aachener Innovationstag - Vom Erfinder zum Innovator, AGIT GmbH, Aachen

15.12.2009 - H.-D. Hoffmann: Entwicklung von Lasern und Laser-optiken am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik. Seminarvortrag, Institut für Laserphysik, Universität Hamburg



KONGRESSE UND SEMINARE

15.01.2009

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Kolloquium Lasertechnik

Dr. L. Leininger, FiberTech GmbH, Berlin

»Optische Fasern zur Übertragung von Laserstrahlung«

22.01.2009

Schülerveranstaltung

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Physik-Leistungskurses des Anne-Frank-Gymnasiums.

12.02.2009

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Kolloquium Lasertechnik

Prof. Dr. T. W. Hänsch, Max-Planck-Institut für Quantenoptik, München

»Leidenschaft für Präzision«

03.03.2009, Aachen

Unihits für Kids

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Gymnasiums in Baesweiler zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

18.03. - 19.03.2009

Aachen

Kolloquium »Optik - Schlüsseltechnologie mit Zukunft«

Mit einem zweitägigen Kongress rund um die Themen Optik und Photonik boten das Fraunhofer IPT, das Fraunhofer ILT und die Innolite GmbH am 18. und 19. März 2009 eine Informationsplattform zu aktuellen Perspektiven, technologischen Innovationen und neuen Anwendungen aus Industrie und Forschung. Das internationale Kolloquium, das alle zwei Jahre in Aachen stattfindet, griff die drei Themenkomplexe Strategie und Märkte, Technologie und Produktion sowie Produkte und Innovation auf. Zahlreiche hochkarätige Referenten zeigten anwendungsnahe Präsentationen aktueller Entwicklungen und Trends. Die Vorträge wurden in deutscher und englischer Sprache gehalten sowie jeweils simultan übersetzt.

Weitere Informationen unter www.optik-kolloquium.de.

27.03.2009, Obernburg

33. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People

des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT bei Reis Robotics in Obernburg mit Begrüßung und Vorstellung der Firma Reis Robotics durch Dr. Eberhard Kroth, technischer Geschäftsführer der Firma Reis Robotics, sowie Vorträgen von Dipl.-Ing. Norbert Höpfe zu »Roboterbasierten Systemlösungen für die Lasermaterialbearbeitung« und von Günter Neumann, Geschäftsführer der Firma Reis Lasertec GmbH in Würselen, zum Thema »Roboterangepasste Sonderoptiken«. Anschließend fand eine Besichtigung der Werkshallen der Firma Reis Robotics in Obernburg statt.

30.03. - 31.03.2009, Aachen

Aachener Laser Seminar »Laser in der Medizintechnik - Mikroschweißen, Rapid Prototyping und Funktionalisierung medizintechnischer Produkte«

Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.

Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

1 Aix-Laser-People Treffen bei Reis Robotics in Obernburg.

2 Optik-Kolloquium in Aachen.

3 Aix-Laser-People Treffen anlässlich der LASER 2009 in München



2



3

31.03. - 01.4.2009, Aachen

Aachener Laser Seminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«

Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen. Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

01.04. - 02.04.2009, Aachen

Aachener Laser Seminar »Ultrakurzpulsbearbeitung mit Femtosekunden- und Pikosekundenlasern für Oberflächenstrukturierung und Werkzeugherstellung«

Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen. Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

07.05.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Dr. C. Over, inno-shape GmbH, Aachen
»Generative Fertigung mit Laserschmelzen - aus der Forschung zum Dienstleistungsunternehmen«

14.05.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. T. Taubner, RWTH Aachen, 1. Physikalisches Institut, Aachen
»Novel concepts in infrared imaging at nanoscale resolution«

28.05.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. J. Popp, Friedrich-Schiller-Universität, Lehrstuhl Physikalische Chemie IV, Jena
»Raman spectroscopy - A powerful tool in biophotonics«

04.06.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Dr. B. O'Neill, Institute for Manufacturing, Department of Engineering, University of Cambridge, UK
»Manufacturing developments across the length scales and timescales using high brightness Yb fibre lasers«

17.06.2009, München

34. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT anlässlich der LASER 2009 mit einer besonderen Form des Networkings, dem Business Speed Dating. Innerhalb kürzester Zeit wurden viele Kontakte der AKL e.V. Mitglieder untereinander sowie der derzeitigen ILT-LLT-TOS-NLD Mitarbeiter mit Alumni hergestellt.

25.06.2009, 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.

25.06.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. M. Gunzer, Otto-von-Guericke Universität, Magdeburg
»Die Analyse der Wanderung von Immunzellen in lebenden Tieren mittels intravitaler 2-Photonen-Mikroskopie«

02.07.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. D. T. Reid, Heriot-Watt University, Edinburgh
»Development and applications of ultrafast lasers at Heriot-Watt University«



09.07.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. M. Richardson, Townes Laser Institute, CREOL,
Orlando

»ILT-TLI Cooperation Fraunhofer - Florida Dialogue in Lasers
and Laser Technologies«

16.07.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Dr. C. Bollig, CSIR - National Laser Centre, Pretoria, Südafrika
»Mittinfrarote (2 und 4 μm) Hochleistungslaser«

08.10.2009, Aachen

**Interdisziplinärer Vortrag: Stradivari und die Physik
des Klanges oder Wie funktioniert eine Geige aus
materialtechnischer Sicht?**

von Dr. Alexander Olowinsky im Theater Aachen
Warum empfinden wir eine Stradivari als besonders wohlklin-
gend und andere Geigen nicht? Was ist überhaupt ein guter
Klang? Dr. Alexander Olowinsky näherte sich diesen Fragen
in seinem Vortrag aus materialtechnischer Sicht. Dabei ging
er insbesondere auf Herstellungsmethoden und Messtechnik
im modernen Geigenbau sowie auf die Erzeugung von
Klangkopien ein. Die Konzerteinlage eines Musikers des
Sinfonieorchesters Aachen rundete seinen Vortrag ab. Mit
einem atmosphärischen Get-together und vielen interessanten
Gesprächen unter den rund 400 Gästen klang der Abend
schließlich im Spiegelfoyer aus.

1 Bus der Fraunhofer-Linien.

*2 Prof. Poprawe, Herr Appel, Frau Prof. Schick,
Prof. Schuh und Prof. Fischer (von links nach rechts)
bei der Einweihung der Fraunhofer-Linien.*

15.10.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

B. H. Klimt, Lumera Laser GmbH, Kaiserslautern
»ps-Laser für die Materialbearbeitung«

23.10.2009, Stuttgart

35. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«

des Fraunhofer ILT und Lehrstuhls für Lasertechnik LLT bei
Mercedes-Benz in Stuttgart mit Vorträgen von Berthold
Hopf (Daimler AG), Holger Schubert (Daimler AG) und Ralf
Bernhardt (Daimler AG) zum Status der Laseranwendungen
bei Daimler, Besichtigung des Bereichs »Rohbau« im
Mercedes-Benz Werk Sindelfingen mit Schwerpunkt »Laser-
anwendungen« und Besichtigung des Mercedes Museums
in Stuttgart Untertürkheim.

27.10.2009, Aachen

Eröffnungsveranstaltung zu den »Fraunhofer-Linien«

Am 27. Oktober 2010 gingen die Busse der Linien 3A und 3B
unter der neuen Bezeichnung »Fraunhofer-Linien« auf Strecke.
Sechs Busse sowie 20 Haltestellen sind mit den Leitmotiven
der Aachener Fraunhofer-Institute versehen. Ein Konzept im
öffentlichen Nahverkehr, das bislang einzigartig in Deutschland
ist und das eine neue und sehr individuelle Informationsplatt-
form für Fahrgäste und Kooperationspartner aus der Städ-
tereion Aachen schafft. Die Aachener Fraunhofer-Institute
starten somit eine Initiative, um Nachwuchskräfte für den
naturwissenschaftlich-technischen Bereich zu begeistern. In
den Bussen der Fraunhofer-Linien liegt zudem das Studenten-
magazin »Fraunhofer-News« aus. Es greift technische Themen
der Institute auf und zeigt die Menschen, die dahinter stehen.
Die Eröffnungsveranstaltung fand am 27. Oktober 2010 auf
dem ASEAG Betriebsgelände mit den Leitern der 3 Aachener
Fraunhofer Institute, Frau Prof. Dr. Marion Schick, Vorstand
Personal und Recht der Fraunhofer-Gesellschaft, und



Herrn Hans-Peter Appel, Vorstandsvorsitzender der ASEAG, statt. Im Rahmen einer Podiumsdiskussion beantworteten Prof. Poprawe, Leiter des Fraunhofer ILT, Prof. Fischer, Leiter des Fraunhofer IME, und Prof. Schuh, Direktoriumsmitglied des WZL und des Fraunhofer IPT, Fragen zu ihren Instituten und ihren Fachbereichen und erläuterten Karrieremöglichkeiten, die Fraunhofer Studierenden bietet. Unter Anwesenheit der Presse wurden die Busse als krönender Abschluss der Veranstaltung durch Frau Prof. Schick und Herrn Appel getauft.

29.10.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. L. B. Glebov, CREOL - College of Optics and Photonics, Orlando

»Volume holographic grating diode lasers«

05.11.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. Philip Russell, Max-Planck-Institut für Optik, Information und Photonik, Erlangen

»Recent developments in photonic crystal fibres«

12.11.2009

ZDI-Ingenieurtag, Workshop »Tailored Light«

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT im Rahmen des Workshops »Tailored Light« des ZDI-Ingenieurtags.

12.11.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Dr. M. Mertin, Jenoptik AG, Jena

»Strategische Neuausrichtung eines Unternehmens«

24.11. - 25.11.2009

Aachener Laser Seminar »Mikroschweißen und Löten mit höchster Präzision - Schnelle und schonende Verbindungstechnik für Metalle, Keramiken und Gläser mit Faserlasern, Diodenlasern und Scheibenlasern«

Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen. Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

03.12.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. D. Fischer, Institut für experimentelle Neurologie, Universität Ulm, Ulm

»Laser und Co. in der Medizin - wie sich unser Aussehen verändern kann«

26.11.2009

Schülerveranstaltung

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler der Gesamtschule Herzogenrath im Rahmen der Projektwoche »Wege zum Traumjob«.

10.12.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. M. Wegener, Institut für angewandte Physik, Universität Karlsruhe, Karlsruhe

»Photonische Metamaterialien«



17.12.2009

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. R. Hibst, Institut für Lasertechnologien
in der Medizin- und Messtechnik, Universität Ulm, Ulm
»Optische Technologien für die (Zahn)-Medizin - von der
Simulation bis zur klinischen Anwendung«

18.12.2009, Aachen

36. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
des Fraunhofer ILT und Lehrstuhls für Lasertechnik LLT im
Hochschulgebäude Super C mit dem Thema: Der RWTH
Aachen CAMPUS - ein neues Modell der Kooperation
zwischen Hochschule und Industrie. Nach der Begrüßung der
Gäste durch Axel Bauer, Geschäftsführer AKL e. V., berichtete
Dr. Joseph Pankert, CEO Lasers and EUV Incubators Philips
Lighting, über »Erfahrungen von Philips in der Kooperation
mit Fraunhofer Instituten und Lehrstühlen der RWTH Aachen«.
Prof. Reinhart Poprawe, Leiter Fraunhofer ILT, referierte über
»Photonics Cluster - Ideenschmiede und Talenttiegel für
Innovatoren aus der optischen Industrie«.

*1 Dr. Arnold Gillner im Gespräch mit
Dr. Jens Banganz, Staatssekretär im
Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand
und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.*

MESSEBETEILIGUNGEN

27.01. - 29.01.2009

San Jose, USA

Photonics West

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik
Teilnahme der Abteilung »Laser & Laseroptik« des Fraunhofer
ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT an dem deutschen
Gemeinschaftsstand. ILT Themen: Laser-Modul, Burn-In
Neuentwicklung, Packaging von Laser und Laseroptiken.

20.04. - 24.04.2009

Hannover

HANNOVER Messe 2009

Internationale Industriemesse
Teilnahme der Abteilung Mikrotechnik des Fraunhofer ILT am
IVAM Gemeinschaftsstand. ILT Thema: Laser in der Mikrotechnik.

15.06. - 18.06.2009

München

LASER 2009

LASER 2009 World of Photonics and World of Photonics
Congress 2009

Vom 15. bis 18. Juni 2009 präsentierte das Fraunhofer ILT auf
dem Fraunhofer- Gemeinschaftsstand in der Halle C2.350
neue Strahlquellen-Entwicklungen sowie innovative Laserver-
fahren. Der Schwerpunkt lag bei der Lasermaterialbearbeitung
in der Photovoltaik. Als Eyecatcher wurde ein mit dem Design
Award ausgezeichnetes SolarCar gezeigt, welches von der
Hochschule Bochum und der Firma SolarWorld entwickelt
wurde. Im Bereich der Strahlquellenentwicklung konnte mit
dem 400 W Femtosekundenlaser ein Weltrekord demonstriert
werden.



13.10. - 17.10.2009

Friedrichshafen

Fakuma

Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung
Teilnahme der Abteilung Mikrotechnik des Fraunhofer ILT.
ILT Thema: Kunststoffschweißen.

03.11. - 05.11.2009

Orlando, Florida

ICALEO

28th International Congress on Applications
of Lasers & Electro-Optics
Teilnahme des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für
Lasertechnik LLT an den Vortragsessions und an dem Vendor
Ausstellungs-Programm der ICALEO.

10.11. - 13.11.2009

München

Productronica

18. Weltleitmesse für Innovative Elektronikfertigung
Die Abteilung Mikrotechnik des Fraunhofer ILT präsentierte
auf dem Stand 145 in Halle B3 die innovative INTAKT-Bearbei-
tungszelle zum Laserstrahlschweißen für Leistungselektronik-
Module. Sie ermöglicht eine umfangreiche Automatisierung
der Prozesskette sämtlicher Montage- und Fertigungsschritte
und eignet sich insbesondere für Kleinserien. Zudem wurde
die kompakte Schweißstation TWISTER für das Schweißen von
Kunststoffen vorgestellt.

18.11. - 20.11.2009

Düsseldorf

COMPAMED

Internationale Fachmesse
Teilnahme der Abteilung Mikrotechnik des Fraunhofer
ILT. Highlight war die kompakte Schweißstation TWISTER.
Das TWIST®-Verfahren ist ein neuartiges, kompaktes und

industrietaugliches Anlagenkonzept zum Laserschweißen von
Kunststoffen. Es zeichnet sich im Gegensatz zu konventionel-
len Fügeverfahren durch seine höhere Prozessgeschwindigkeit
und Flexibilität bei der Gestaltung von Schweißkonturen aus.
Besonders eignet es sich daher für Klein- und Mittelserien,
die einer schnellen Umrüstung bedürfen. Ein wichtiges
Einsatzgebiet dieses Verfahrens ist die Mikrofluidik und
die Medizintechnik, zum Beispiel für die Bearbeitung von
Mikrotiterplatten und medizinischen Einwegprodukten. Zudem
wurden den Besuchern laserpolierte Medizintechnikbauteile,
generativ hergestellte Implantate und das Folienschweißen
präsentiert.

02.12. - 05.12.2009

Frankfurt

EuroMold

Weltmesse für Werkzeug- und Formenbau, Design
und Produktentwicklung
Vom 02. bis 05. Dezember 2009 präsentierte die Abteilung
Oberflächentechnik des Fraunhofer ILT auf dem Fraunhofer
Gemeinschaftsstand neue Anwendungen aus dem Bereich
Generative Fertigung und Polieren mit Laserstrahlung.

*2 Prof. Reinhart Poprawe im Gespräch
mit Dr. Alfred Gossner, Vorstand der
Fraunhofer-Gesellschaft, und Klaus Dittrich,
Geschäftsführer der Messe München,
während der LASER 2009.*

3 SolarCar auf der LASER 2009.

EUROPEAN LASER INSTITUTE ELI



Kurzportrait

Das European Laser Institute wurde 2003 auf Initiative und mit Förderung der Europäischen Union gegründet. Ziel von ELI ist es, die Position Europas in der Lasertechnik zu stärken und weiter auszubauen. Darüber hinaus will ELI den Stellenwert und die Perspektiven der europäischen Lasertechnik für eine breitere Öffentlichkeit sichtbar machen. Gemeinsam mit knapp 30 führenden Forschungseinrichtungen sowie kleinen und mittelständischen Unternehmen hat sich das Fraunhofer ILT zu einem europäischen Netzwerk zusammengeschlossen. Neben der Integration in regionale und nationale Netzwerke ist das Fraunhofer ILT damit auch auf europäischer Ebene in ein schlagkräftiges Netzwerk im Bereich der Lasertechnik eingebunden. Des Weiteren wird die internationale Kooperation von Industrie und Forschung, insbesondere im Bereich der EU-Forschungsförderung, durch ELI forciert. Durch die Organisation von Konferenzen, Workshops, Summerschools etc. schafft ELI unter anderem entsprechende Plattformen. Nicht zuletzt wird dies auch durch die Zusammenarbeit mit den jeweiligen Interessensvertretungen (z. B. EPIC, AILU, WLT) gefördert. Eine enge Kooperation mit dem Laser Institute of America (LIA) besteht unter anderem bei der Ausrichtung von internationalen Konferenzen (ICALEO, PICALO, ALAW) sowie dem Journal of Laser Applications (JLA).

Executive Committee

Das European Laser Institute wird durch das Executive Committee vertreten. Mitglieder im Executive Committee sind:

- Dr. Stefan Kaierle (Vorsitzender)
Fraunhofer ILT, Deutschland
- Dr. Paul Hilton
TWI, Großbritannien
- Dr. Wolfgang Knapp
CLFA, Frankreich
- Prof. Dr. Veli Kujanpää
Lappeenranta University of Technology, Finnland
- Dr. Filip Motmans
Lasercentrum Vlaanderen, Belgien
- Prof. Dr. José Luis Ocaña
Centro Láser U.P.M., Spanien
- Prof. Dr. Andreas Ostendorf
Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

Kontakt

Dr. Stefan Kaierle
Telefon +49 241 8906-212
Fax +49 241 8906-212
kaierle@europeanlaserinstitute.org

PHOTONAIX E.V.

KOMPETENZNETZ OPTISCHE TECHNOLOGIEN



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 2009

Neben den Gemeinschaftsständen der Kompetenznetze Optische Technologien auf der Photonics West 2009 in San Jose, USA und der LASER 2009 in München 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 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

ARBEITSKREIS LASERTECHNIK AKL E.V.



Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.

Das Forum für industrielle Laseranwendungen

Der AKL e.V. wurde 1990 gegründet, um die faszinierenden Möglichkeiten, die das Werkzeug Laser in Hinblick auf Präzision, Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit eröffnet, durch Intensivierung des Informations- und 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«

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 Millennium 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



FACHBUCH

»LASERTECHNIK FÜR DIE FERTIGUNG«

»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, Thermomechanik, 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



INFORMATIONSSERVICE

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 2009**
(englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)

☐ **Jahresbericht 2008**
(englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)

☐ **Jahresbericht 2007**
(englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)

☐ **Tagungsband des International Laser Technology Congress AKL'10**

☐ **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«**

Themenbroschüren

☐ **Abtragen, Reinigen und Markieren**

☐ **Bohren mit Laserstrahlung** ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Entwicklung optischer Systeme** ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Faserlaser**

☐ **Festkörperlaser**

☐ **Hochleistungs-Diodenlaser** ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **In-Volume Micro Structuring**
with Femtosecond Lasers (englisch)

☐ **Lasermikroskopie**

☐ **Lasertechnik für Instandsetzung**
und Funktionalisierung ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Laser in der Kunststofftechnik** ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Laser in der Photovoltaik** ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Laser in Medizintechnik**
und Biotechnologie ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Mach-Zehnder**
Interferenzmikroskopie ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Materialanalyse und**
Prozesskontrolle mit Laser ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Mikrofügen mit Laserstrahlung** ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Mikro- und Nanostrukturierung**
mit Laserstrahlung ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Modellierung und Simulation**

☐ **Nichtlineare Optik**
und abstimmbare Laser ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Optik-Design und Diodenlaser**

☐ **Packaging**

☐ **Polieren mit Laserstrahlung**

☐ **Qualitätssicherung in der Lasermaterialbearbeitung**

☐ **Rapid Prototyping**
und Rapid Manufacturing ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Systemtechnik für das pulver-**
basierte Laserauftragschweißen ☐ deutsch ☐ englisch

☐ **Ultrakurzpulslaser**

☐ **Wärmebehandlung mit Laserstrahlung** ☐ deutsch ☐ englisch

Absender

Name, Vorname _____

Firma _____

Abteilung _____

Straße _____

PLZ/Ort _____

Telefon _____

Fax _____

E-Mail _____

bitte faxen an:

Fraunhofer ILT, Stefanie Flock

Fax +49 241 8906-121

IMPRESSUM

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,
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 2010

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