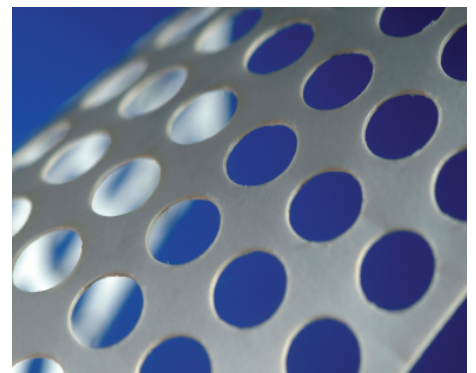
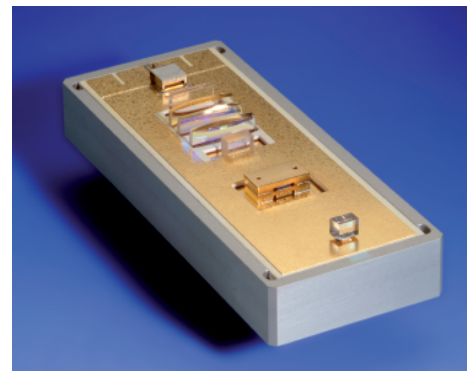




Fraunhofer Institut
Lasertechnik

Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2007



Jahresbericht
des Fraunhofer-Instituts
für Lasertechnik ILT
2007



Industrie und Gesellschaft werden immer anspruchsvoller. Einerseits sollen die Produkte ein sehr gutes Preis-Leistungsverhältnis aufweisen, was in der Regel nur über eine Serienfertigung zu gewährleisten ist. Andererseits verbreitet sich der Wunsch nach hochqualitativen Produkten mit ausgeprägter Individualität. »Mass customization« und »one piece flow« sind die Stichworte, mit denen sich Produktmanager zunehmend befassen müssen. In unterschiedlichen Branchen nimmt die Variantenvielfalt der Produkte bei gleichzeitiger Wahrung des Preis-Leistungsverhältnisses und der damit verbundenen markentypischen Merkmale wie ansprechendes Design, hohe Funktionalität, große Zuverlässigkeit und ausgeprägte Benutzerfreundlichkeit zu.

Die Lasertechnik bietet sich in diesem Zusammenhang als Problemlöser an, da sie hinsichtlich Flexibilität, Qualität und Automatisierbarkeit in idealer Weise in moderne Produktionssysteme integrierbar ist. Die Herausforderung der Scale-Scope-Problematik, die auch im Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnologien in Hochlohnländern« an der RWTH Aachen eingebunden ist, wird am Fraunhofer ILT seit langem betrieben. Erste Errungenschaften wie die serielle Herstellung von individuellem Zahnersatz mittels Selective Laser Melting wurden in enger Zusammenarbeit mit einem innovativen Industriepartner erfolgreich im Dentalbereich eingeführt. Ein weiteres Beispiel ist die Zusammenfassung verschiedener Laserfertigungsverfahren in einheitlichen Lasersystemen.

Das kombinierte Laserstrahlschweißen und -schneiden mit einer speziellen Optik ohne Werkzeugwechsel war ein erster Schritt. Dies dürfte Ansporn sein für weitere Synergien wie beispielsweise das Strukturieren und Polieren im Werkzeugbau. Die Miniaturisierung vieler Produkte bei gleichzeitig hoher Variantenvielfalt ist ebenfalls ein guter Ausgangspunkt für lasertechnische Lösungen. So wurden am Fraunhofer ILT in den letzten Jahren verschiedene Bearbeitungsstrategien wie das TWIST oder das SHADOW-Verfahren für das Präzisionsfügen bei hoher Geschwindigkeit und flexibler Bahnsteuerung entwickelt. Hiervon profitieren u. a. die Uhrenindustrie, die Medizintechnik und die Feinmechanik.

Die Markttrends in vielen Branchen fördern nachhaltig die Entwicklung der Lasertechnik. Am Fraunhofer ILT werden die anspruchsvollen Fragestellungen unserer industriellen FuE-Partner mit kreativen Lösungen beantwortet. Der vorliegende Jahresbericht gibt Ihnen einen Einblick in die Vielfalt unserer Projektergebnisse. Wir würden uns freuen, auch aus Ihrem Hause die ein oder andere anspruchsvolle Aufgabenstellung zu übernehmen. Mit diesem Ausblick wünsche ich eine inspirierende Lektüre unseres Jahresberichts und freue mich auf Ihre Resonanz.

Ihr

Professor Reinhart Poprawe M.A.

Das Institut im Profil	6	Ausgewählte Forschungsergebnisse aus den Geschäftsfeldern des ILT	
Leitbild	7		
Geschäftsfelder	8	Laserstrahlquellen und Plasmasysteme	35 - 60
Gremien	10	Laserfertigungsverfahren	61 - 106
Ansprechpartner	11	Laseranlagen und Systemtechnik	107 - 118
Kernkompetenzen	12		
Dienstleistungsangebot	14	Lasermess- und Prüftechnik	119 - 139
Das Institut in Zahlen	16		
Kundenreferenzen	19	Patente	140
Fraunhofer USA Center for Laser Technology CLT	20	Dissertationen	141
		Diplomarbeiten	141
Coopération Laser Franco-Allemande CLFA	22	Wissenschaftliche Veröffentlichungen	142
Fraunhofer-Verbund Oberflächen- technik und Photonik VOP	24	Vorträge	144
Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick	26	Kongresse und Seminare	148
		Messebeteiligungen	150
Lasertechnik an der RWTH Aachen	28	Publikationen	151
Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«	30	CD-Rom »Lasertechnik«	154
		Fachbuch »Lasertechnik für die Fertigung«	155
European Laser Institute ELI	32	Informations-Service	156
PhotonAix e.V. - Kompetenznetz Optische Technologien	33	Impressum	157



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

Kurzportrait

ILT - dieses Kürzel steht seit über 20 Jahren für gebündeltes Know-how im Bereich Lasertechnik. Innovative Lösungen von Fertigungs- und Produktionsaufgaben, Entwicklung neuer technischer Komponenten, kompetente Beratung und Ausbildung, hochspezialisiertes Personal, neuester Stand der Technik sowie internationale Referenzen: dies sind die Garanten für langfristige Partnerschaften. Die zahlreichen Kunden des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT stammen aus Branchen wie dem Automobil- und Maschinenbau, der Chemie und der Elektrotechnik, dem Stahlbau, der Feinmechanik und der Optik.

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

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

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

Im Anwenderzentrum des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik arbeiten Gastfirmen in eigenen, abgetrennten Labors und Büroräumen. Grundlage für diese spezielle Form des Technologietransfers ist ein langfristiger Kooperationsvertrag mit dem Institut im Bereich der Forschung und Entwicklung. Der Mehrwert liegt in der Nutzung der technischen Infrastruktur und dem Informationsaustausch mit ILT-Experten. Rund 10 Firmen nutzen die Vorteile des Anwenderzentrums. Neben Laserherstellern und Laseranwendern finden hier auch Unternehmensgründer aus dem Bereich des Sonderanlagenbaus, der Laserfertigungstechnik und der Lasermesstechnik ein geeignetes Umfeld zur industriellen Umsetzung ihrer Ideen.



Mission

Wir nehmen beim Transfer der Lasertechnik in die industrielle Nutzung eine internationale Spitzenposition ein.

Wir erweitern nachhaltig Wissen und Know-How unserer Branche und tragen maßgeblich zur Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik bei.

Wir schaffen mit unseren Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Politik Innovationen auf Basis neuer Strahlquellen und neuer Anwendungen.

Kunden

Wir arbeiten kundenorientiert.

Diskretion, Fairness und Partnerschaftlichkeit haben für uns im Umgang mit unseren Kunden oberste Priorität. Unsere Kunden können sich auf uns verlassen.

Entsprechend der Anforderung und Erwartung unserer Kunden erarbeiten wir Lösungen und deren wirtschaftliche Umsetzung. Ziel ist die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen.

Wir fördern den Nachwuchs an Fach- und Führungskräften für die Industrie durch projektbezogene Partnerschaften mit unseren Kunden.

Wir wollen, dass unsere Kunden zufrieden sind und gerne wiederkommen.

Chancen

Wir erweitern unser Wissen strategisch im Netzwerk.



Faszination Laser

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

Mitarbeiter

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

Stärken

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

Führungsstil

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

Position

Wir arbeiten in vertikalen Strukturen von der Forschung bis zur Anwendung.

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

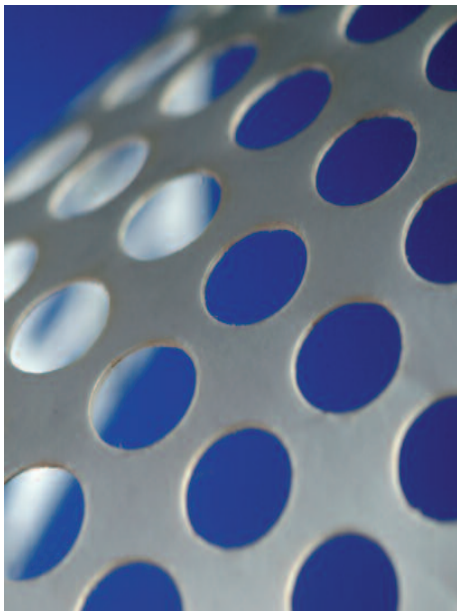
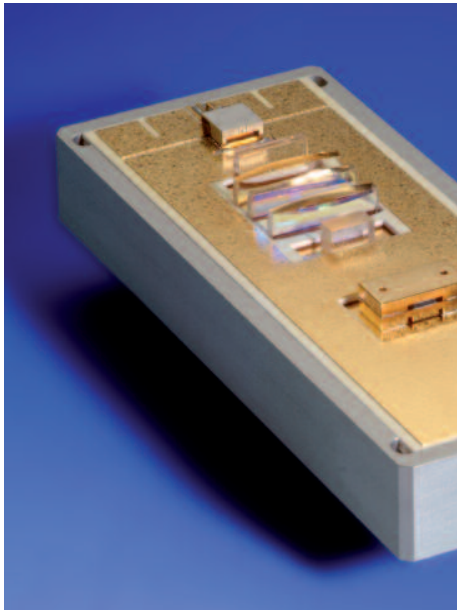
Laserstrahlquellen und Plasmasysteme

Das Geschäftsfeld umfasst die Entwicklung von Diodenlaser-Modulen und Systemen sowie diodengepumpter Festkörperlaser mit verschiedenen Resonatorstrukturen (Stab, Slab, Faser), das Design neuer Diodenlaserstrukturen, die Mikromontage von Diodenlasern und optischen Komponenten sowie die Entwicklung von Plasmasystemen.

Im Umfeld einiger Projekte werden seit über 10 Jahren Spin-offs des Fraunhofer ILT gegründet. In Kooperation mit dem Fraunhofer IAF werden neue Strukturen entworfen, die die Herstellung von Diodenlasern höherer Strahlqualität erlauben. Zu den Alleinstellungsmerkmalen des Geschäftsfelds zählt weiterhin die Montage von Hochleistungs-Diodenlasern und insbesondere 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 gesamten Geschäftsfelds sind die Lasermaterialbearbeitung, die Medizintechnik, die Messtechnik sowie der Komponentenmarkt für die Informations- und Kommunikationstechnik.

Laserfertigungsverfahren

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



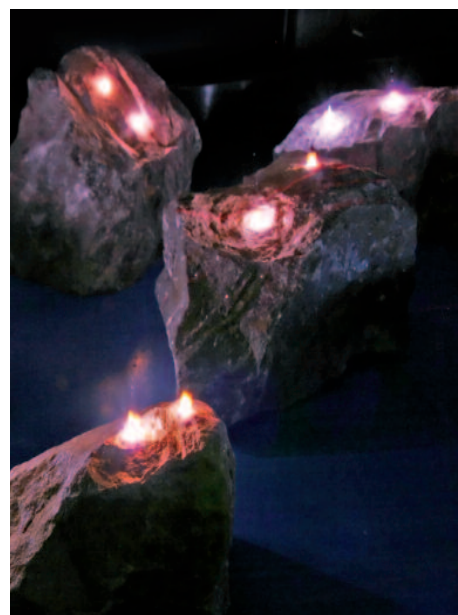
Laseranlagen und Systemtechnik

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

Lasermess- und Prüftechnik

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

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



Kuratorium

Das Kuratorium berät die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung und fördert die Verbindung zu den an Forschungsarbeiten des Instituts interessierten Kreisen. Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

C. Baasel (Vorsitzender)

Carl Baasel Lasertechnik GmbH

Dr. Ulrich Hefter

Rofin-Sinar Laser GmbH

Dipl.-Ing. H. Hornig

BMW AG

Dr. U. Jaroni

ThyssenKrupp Stahl AG

Prof. Dr. G. Marowsky

Laserlaboratorium Göttingen e. V.

MinRat Dipl.-Phys. T. Monsau

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

Dr. Rüdiger Müller

Osram Opto Semiconductors GmbH & Co. OHG

Dr. Joseph Pankert

Philips Lighting B.V.

Prof. R. Salathé

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

MinR Dr. Frank Schlie-Roosen

Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF

Dr. Dieter Steegmüller

DaimlerChrysler AG

Dr. Ulrich Steger

Ministerium für Innovation, Wissenschaft, Forschung und Technologie des Landes NRW

Dr. Klaus Wallmeroth

TRUMPF Laser GmbH & Co. KG

Die 23. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 19. September 2007 im Fraunhofer ILT in Aachen statt.

Institutsleitungskreis ILEI

Der Institutsleitungskreis ILEI berät die Institutsleitung und wirkt bei der Entscheidungsfindung über die Grundzüge der Forschungs- und Geschäftspolitik des Instituts mit. Mitglieder des ILEI sind: Dipl.-Betw. (FH) Vasvija Alagic MBA, Dipl.-Phys. A. Bauer, Dr. K. Boucke, Dr. A. Gillner, Dr. J. Gottmann, Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Dr. S. Kaierle, Dr. I. Kelbassa, Dr. E.-W. Kreutz, 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, Dr. E.-W. Kreutz, A. Lennertz, Dr. W. Neff, E. Neuroth, Dipl.-Ing. M. Poggel, Prof. Dr. R. Poprawe, B. Theisen, F. Voigt, Dipl.-Ing. N. Wolf, Dr. R. Keul (Berufsgenossenschaftlicher Arbeitsmedizinischer Dienst BAD).

Wissenschaftlich-Technischer Rat WTR

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

Mitglieder im Wissenschaftlich-Technischen Rat sind: Prof. Dr. R. Poprawe, B. Theisen, Dr. C. Janzen.

Betriebsrat

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



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



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



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



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



Dr. Konstantin Boucke (-132)
Abt. Laserkomponenten



Dr. Konrad Wissenbach (-147)
Abt. Oberflächentechnik



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



Dipl.-Ing. Dieter Hoffmann (-206)
Abt. Festkörper- und Diodenlaser



Dr. Arnold Gillner (-148)
Abt. Mikrotechnik



Dr. Bruno Weigl (-134)
IT-Management



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



Dr. Stefan Kaierle (-212)
Abt. Systemtechnik



Dr. Alexander Drenker (-223)
Qualitätsmanagement



Dr. Willi Neff (-142)
Abt. Plasmatechnologie



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

Laserkomponenten Dr. Konstantin Boucke

- 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
- Auslegung und Montage mikrooptischer Systeme
- Faserkopplung für Singlemode- und Multimodefasern
- Automatisierung von Mikromontageprozessen für Laser- und Optiksyste

Festkörper- und Diodenlaser Dipl.-Ing. Dieter Hoffmann

- Entwicklung von Festkörper- und Diodenlasern
- Entwicklung von Faserlasern
- Verfahren und Komponenten zur Frequenzkonversion
- Optik-Design für Laser, Strahlführung und -formung von Laserstrahlung
- Entwicklung von Diodenlasermodulen und -systemen
- Design und Charakterisierung von optischen Komponenten
- Entwicklung von Komponenten für Festkörper- und Diodenlaser

Lasermess- und Prüftechnik Dr. Reinhard Noll

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

Plasmatechnologie Dr. Willi Neff

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

Trenn- und Fügeverfahren Dr. Dirk Petring

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

Oberflächentechnik Dr. Konrad Wissenbach

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

Mikrotechnik

Dr. Arnold Gillner

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

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

Modellierung und Simulation

Prof. Dr. Wolfgang Schulz

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

Systemtechnik

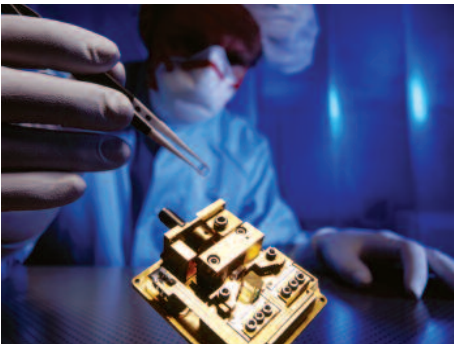
Dr. Stefan Kaierle

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

Dienstleistungen

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

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



Kooperationen mit FuE-Partnern

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

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

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

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

Ausstattung

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

Technische Infrastruktur

Zur technischen Infrastruktur des Instituts gehören eine mechanische und eine elektronische Werkstatt, ein Metallographielabor, ein Fotolabor, ein Labor für optische Messtechnik sowie eine Konstruktionsabteilung. Das Fraunhofer ILT verfügt über einen Videokonferenzraum und ein vernetztes Rechnersystem.

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 8 kW
- Faserlaser bis 4 kW
- Diodenlasersysteme bis 3 kW
- SLAB-Laser
- Excimerlaser
- Ultrakurzpulslaser
- Breitbandig abstimmbare Laser
- Fünfsichtige Portalanlagen
- Dreiachsige Bearbeitungsstationen
- Strahlführungssysteme
- Robotersysteme

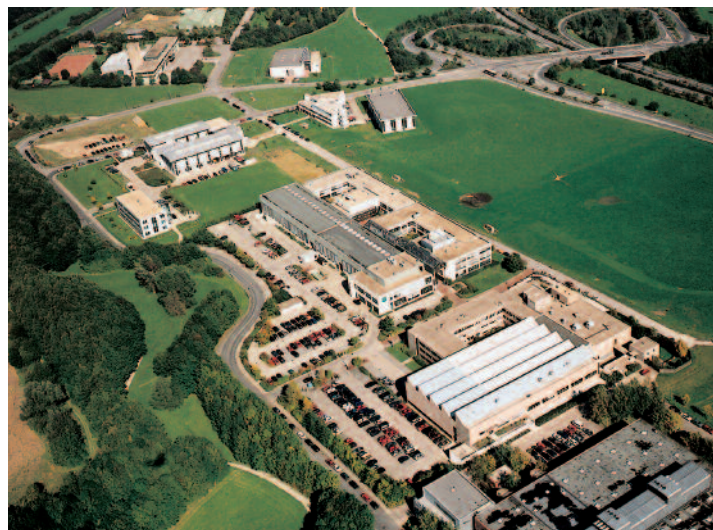
- Sensoren zur Prozessüberwachung für die Lasermaterialbearbeitung
- Direct-writing- und Laser-PVD-Stationen
- Reinräume zur Montage von Diodenlasern, Diodenlasersystemen und diodengepumpten Festkörperlaser
- Life Science Labor mit S1 und S2 Klassifizierung
- Geräte zur Verfahrens- und Prozessdiagnostik 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

Fraunhofer ILT im Ausland

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

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

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



Mitarbeiter

Mitarbeiter am Fraunhofer ILT 2007	Anzahl
Stammpersonal	137
- Wissenschaftler und Ingenieure	81
- Mitarbeiter der technischen Infrastruktur	35
- Verwaltungsangestellte	21
Weitere Mitarbeiter	123
- wissenschaftliche Hilfskräfte	113
- externe Mitarbeiter	7
- Auszubildende	3
Mitarbeiter am Fraunhofer ILT, gesamt	260

- 3 Mitarbeiter haben ihre Promotion abgeschlossen
- 29 Studenten haben ihre Diplomarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt

Mitarbeiter 2007

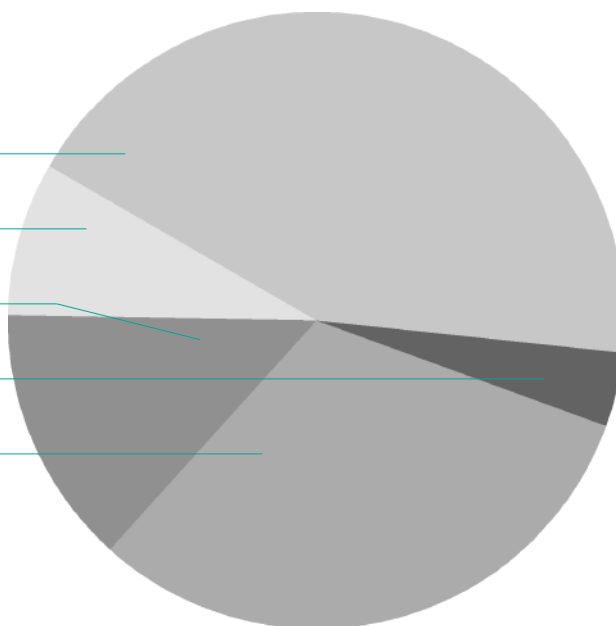
44 % wissenschaftliche Hilfskräfte

8 % Verwaltungsangestellte

13 % technische Infrastruktur

4 % Auszubildende / externe Mitarbeiter

31 % Wissenschaftler und Ingenieure



Aufwendungen und Erträge

Aufwendungen 2007 Mio EUR

- Personalaufwendungen	8,5
- Sachaufwendungen	9,6
Aufwendungen Betriebshaushalt	18,1

Investitionen	3,8
----------------------	------------

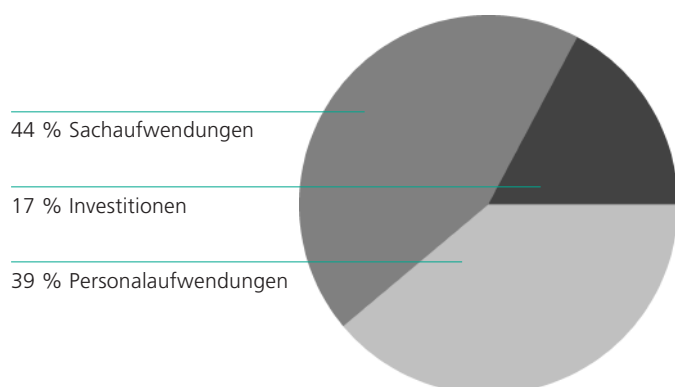
Erträge 2007 Mio EUR

- Erträge aus der Industrie	8,0
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	6,3
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	3,8
Erträge Betriebshaushalt	18,1
- davon entfallen auf Auslandsprojekte	2,1

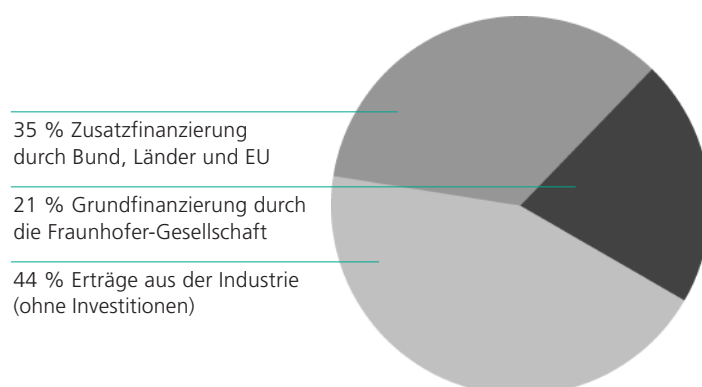
Investitionserträge aus der Industrie	0,5
--	------------

Fraunhofer Industrie p_{Ind}	47,2 %
---	---------------

Gesamtaufwendungen 2007 (100 %)

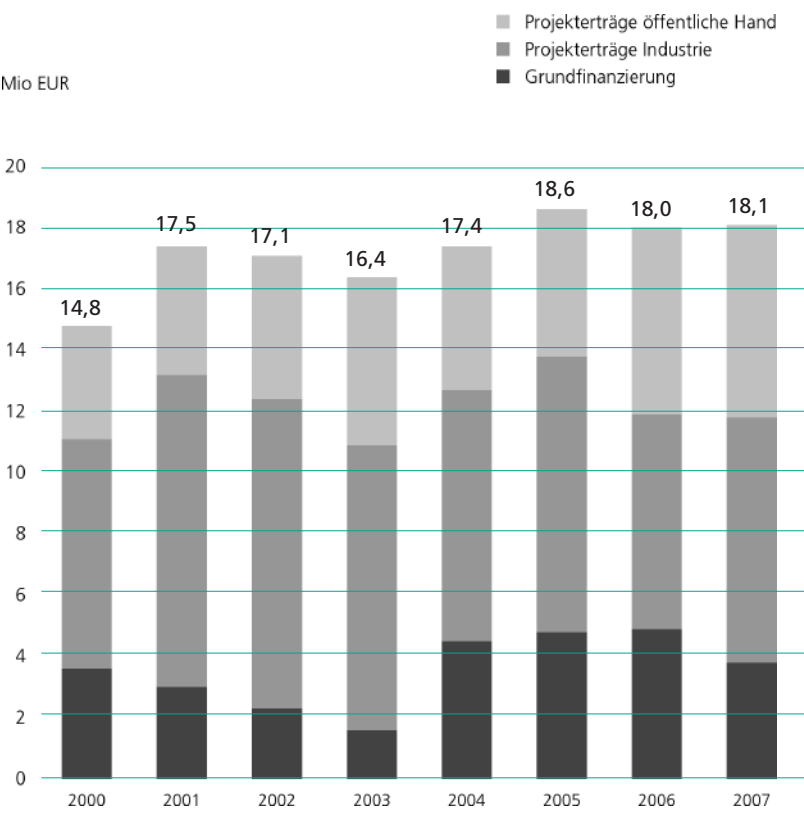


Betriebshaushalt 2007 (100 %)



Betriebshaushalt

Die Graphik verdeutlicht die Entwicklung des Betriebshaushaltes in den letzten 8 Jahren.





HEIDELBERG INSTRUMENTS



LEYER & KIWUS
ULTRASCHALL + LASERTECHNIK



Stand März 2008
Mit freundlicher Genehmigung
der Kooperationspartner.

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

Kurzportrait

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



Die verfolgten Ziele des CLT sind:

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

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

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

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

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

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

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

Dienstleistungen

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

Mitarbeiter

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

Ausstattung

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

Kundenreferenzen

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

Aufwendungen Betriebshaushalt 2007*

Betriebshaushalt	Mio. US\$
- Personalaufwendungen	2,4
- Sachaufwendungen	1,1
	1,3

*Nachkalkulation ist noch nicht erfolgt

Ihr Ansprechpartner



Dr. Stefan Heinemann
Direktor

46025 Port Street
Plymouth
Michigan 48170
USA

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

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



Coopération Laser
Franco-Allemande
Deutsch-Französisches
Lasierzentrum



Kurzportrait

In der CLFA in Paris kooperiert das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT seit 1997 erfolgreich mit führenden französischen Forschungseinrichtungen. Die wichtigsten Kooperationspartner sind ARMINES, die École Nationale Supérieure des Mines de Paris ENSMP, die École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques ENSMM in Besançon, die Ingenieur-Hochschule Louis de Broglie in Rennes sowie weitere namhafte Laseranwendungszentren in Frankreich. Interdisziplinäre Expertenteams aus Deutschland und Frankreich arbeiten gemeinsam am Transfer lasergestützter Fertigungsverfahren in die europäische Industrie. Die Coopération Laser Franco-Allemande ist Mitglied im Club Laser et Procédés, der französischen Vereinigung von Laserherstellern und -anwendern.

Die verfolgten Ziele der CLFA sind:

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

Die CLFA beteiligt sich aktiv an der Realisierung des europäischen Forschungsraums und ist eine Konsequenz der insbesondere im Bereich der Lasertechnik zunehmenden Vernetzung der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung in Europa.

Die Kooperation des Fraunhofer ILT mit den französischen Partnern ist 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 durch praxisnahe Ausbildung über Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten

Mit Unterstützung der französischen Kooperationspartner erfolgte die Ausgründung der Firma Poly-Shape durch Mitarbeiter der CLFA. Das neue Unternehmen bietet Dienstleistungen im Bereich generativer Fertigungsverfahren für französische Kunden an. Auf einem gemeinsamen Stand beim Pariser Luft- und Raumfahrtsalon Le Bourget wurde die Technologie im Juni 2007 interessierten Industriepartnern vorgestellt.

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 sowie den beteiligten Projektpartnern in Frankreich gefördert. Hierdurch wird den Mitarbeitern die Möglichkeit geboten, ihre Kompetenz insbesondere im Hinblick auf Mobilität und internationales Projektmanagement zu vertiefen.

Ausstattung

Neben den am Fraunhofer ILT zur Verfügung stehenden Einrichtungen 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 der Zugriff auf die Infrastruktur zur Materialanalyse des Instituts. Kunden- und projektorientiert kann auch die Infrastruktur der anderen französischen Partner mit genutzt werden.

Standorte

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

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

Ihr Ansprechpartner



Dr. Wolfgang Knapp
Direktor

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

Telefon: +33 1 4051-9476
Fax: +33 1 4634-2305
wolfgang.knapp@ilt.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de/clfa.html



Fraunhofer Verbund Oberflächentechnik und Photonik

Kompetenz und Vernetzung

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

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

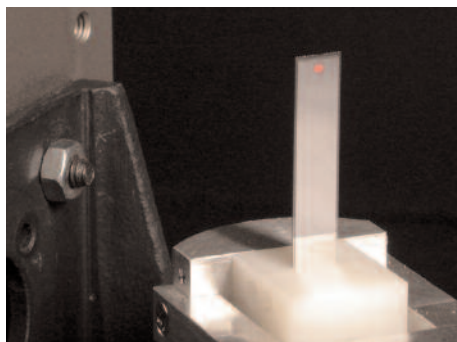
Das Fraunhofer IPM entwickelt optische Systeme für die Spektroskopie und Laserbelichtungstechnik. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Verwirklichung hochdynamischer Systeme. Neben der schnellen Laseransteuerung sind dafür besondere Kompetenzen bei der Signalverarbeitung gefragt. So wurden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

Fraunhofer-Institut für Elektronen- strahl- 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 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.



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

Kernkompetenzen	FEP Dresden	ILT Aachen	IGF Jena	IPM Freiburg	IST Braunschweig	MS Dresden
Schicht- und Oberflächentechnologie	●	●	●	●	●	●
Strahlquellen	●	●	●	●		
Mikro- und Nanotechnologie	●	●	●	●	●	●
Materialbearbeitung	●	●			●	●
Optische Messtechnik		●	●	●	●	●

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

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

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

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

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

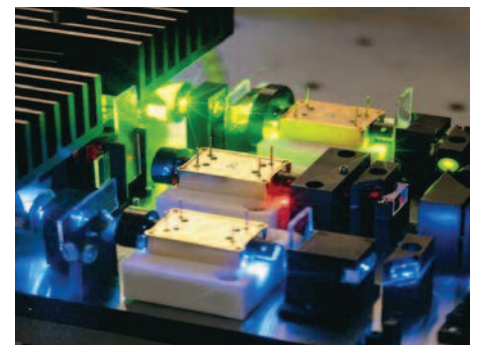
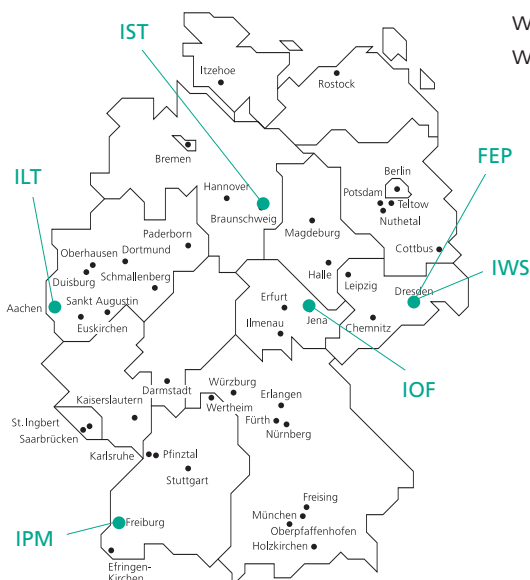
Das Fraunhofer IWS forscht auf den Gebieten der Lasertechnik (z. B. Laserschweißen, Laserschneiden, Laserhärten), der Oberflächentechnik (z. B. Auftragschweißen), der Mikrobearbeitung sowie der Dünnschicht- und Nanotechnologie. Die in die Forschung und Entwicklung integrierte Werkstoffprüfung und -charakterisierung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

Kontakt und Koordination

Sprecher des Verbunds
Prof. Dr. Eckhard Beyer

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

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



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

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Forschung für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung für die Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag von Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

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 Weiterentwicklung, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen auch für Information 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, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studentinnen und Studenten an Fraunhofer-Instituten eröffnen sich wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 56 Institute, an 40 Standorten in ganz Deutschland.

13.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,3 Milliarden Euro. Davon fallen mehr als 1 Milliarde 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.

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

Die Forschungsgebiete

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

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

Die Zielgruppen

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

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

Das Leistungsangebot

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

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

Die Vorteile der Vertragsforschung

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

Die Standorte der Forschungseinrichtungen





Gemeinsam Zukunft gestalten

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



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

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT

Der Lehrstuhl für Lasertechnik ist seit 1985 an der RWTH Aachen in der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung in den Bereichen integrierte Optik, integrative Produktion, Abtragen - Modifizieren - Diagnose (AMD), Bohren und generative Verfahren tätig. Untersuchungen zur Integration von Hochleistungsdiodenlasern mit Wellenleiterlasern und strahlformenden optischen Komponenten sowie die Entwicklung neuartiger integrierter Leistungslaser stehen im Fokus der Aktivitäten in der integrierten Optik. Die Integration von optischen Technologien in die Produktion sowie die Produktion von optischen Systemen sind wesentlicher Bestandteil des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«.

Mit Ultrakurzpuls-Laserstrahlung werden sowohl Grundlagenexperimente durchgeführt als auch praxisrelevante Nano- und Mikro-Bauteile durch Abtragen, Modifizieren oder Schmelzen bearbeitet. Beim Bohren werden Metalle sowie Mehrschichtsysteme aus zumeist Metallen und Keramiken mittels Einzelpuls-, Perkussions- und Wendelbohren sowie dem Trepanieren bearbeitet. Anwendungen finden sich beispielsweise bei Bohrungen in Turbinenschaufeln für die Luft- und Raumfahrt. Arbeitsthemen im Bereich generative Verfahren sind u. a. neue Werkstoffe, kleinere Strukturgrößen, größere Aufbauten, das Mikrobeschichten, die Prozesskontrolle und -regelung sowie die Neu- und Weiterentwicklung der eigenen Anlagen- und Systemtechnik.

Kontakt

Prof. Dr. Reinhart Poprawe M. A.
Leiter des Lehrstuhls
Telefon +49 241 8906-109
Fax +49 241 8906-121
reinhart.poprawe@llt.rwth-aachen.de

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

Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS

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

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

Kontakt

Prof. Dr. Peter Loosen
Leiter des Lehrstuhls
Telefon +49 241 8906-162
Fax +49 241 8906-121
peter.loosen@tos.rwth-aachen.de

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

Das 2005 gegründete Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD erforscht die Grundlagen der optischen Technologien mit Schwerpunkt auf Modellbildung und Simulation.

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

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

Kontakt

Prof. Dr. Wolfgang Schulz
Leiter des Lehr- und Forschungsgebiets
Telefon +49 241 8906-204
Fax +49 241 8906-121
wolfgang.schulz@nld.rwth-aachen.de





Exzellenzcluster

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

Insgesamt sind 18 Lehrstühle bzw. Institute der RWTH Aachen sowie das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT an dem bis Ende 2011 angelegten Projekt beteiligt.

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

Produktion in Hochlohnländern

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

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

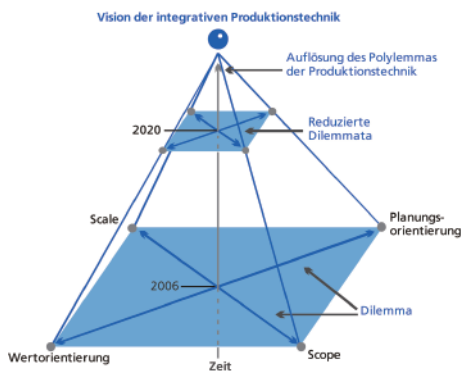
In der zweiten Dimension, der Planungs-wirtschaftlichkeit, bemühen sich die Hersteller in Hochlohnländern um eine immer weitergehende Optimierung der Prozesse mit entsprechend anspruchsvollen, kapitalintensiven Planungsmethoden und -instrumenten sowie technologisch überlegenen Produktionssystemen, während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

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

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

Integrative Produktion

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



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

Individualisierte Produktion

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

Virtuelle Produktion

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

Hybride Produktion

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

Selbstoptimierende Produktion

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

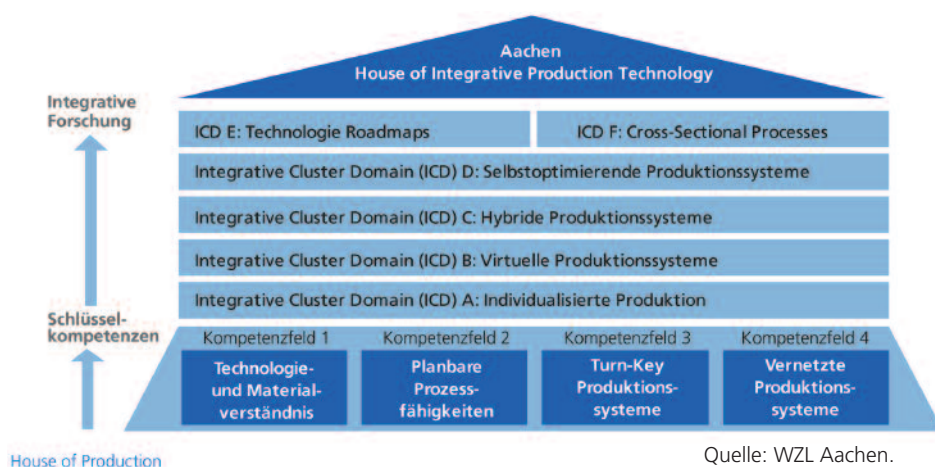
Ansprechpartner

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

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



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



Quelle: WZL Aachen.



Kurzportrait

Das European Laser Institute wurde 2003 auf Initiative und mit Förderung der Europäischen Union gegründet. Ziel von ELI ist es, die Position Europas in der Lasertechnik zu stärken und weiter auszubauen. Darüber hinaus will ELI den Stellenwert und die Perspektiven der europäischen Lasertechnik für eine breitere Öffentlichkeit sichtbar machen. Gemeinsam mit über 20 führenden Forschungseinrichtungen sowie kleinen und mittelständischen Unternehmen hat sich das Fraunhofer ILT zu einem europäischen Netzwerk zusammengeschlossen. Neben der Integration in regionale und nationale Netzwerke ist das Fraunhofer ILT damit auch auf europäischer Ebene in ein schlag-

kräftiges Netzwerk im Bereich der Lasertechnik eingebunden. Des Weiteren wird die internationale Kooperation von Industrie und Forschung, insbesondere im Bereich der EU-Forschungsförderung, durch ELI forciert. Durch die Organisation von Konferenzen, Workshops, Summerschools etc. schafft ELI unter anderem entsprechende Plattformen. Nicht zuletzt wird dies auch zukünftig durch die Zusammenarbeit mit den jeweiligen Interessensvertretungen (z. B. EPIC, AILU, WLT) gefördert. Eine enge Kooperation mit dem Laser Institute of America (LIA) besteht bereits unter anderem bei der Ausrichtung von internationalen Konferenzen (ICALEO, PICALO, ALAW) sowie dem Journal of Laser Applications (JLA).

Executive Committee

Das European Laser Institute wird durch das Executive Committee vertreten. Mitglieder im Executive Committee sind:

- Dr. Stefan Kaieler (Vorsitzender), Fraunhofer ILT, Deutschland
- Abdelkrim Chehaibou, Institut de Soudure, Frankreich
- Dr. François De Schutter, Lasercentrum Vlaanderen, Belgien
- Dr. Paul Hilton, TWI, Großbritannien
- Dr. Wolfgang Knapp, CLFA, Frankreich
- Prof. Dr. Veli Kujanpää, Lappeenranta University of Technology, Finnland
- Prof. Dr. José Luis Ocaña, Centro Láser U.P.M., Spanien

Kontakt

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



Kurzportrait

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

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

Highlights 2007

Neben den Gemeinschaftsständen der Kompetenznetze Optische Technologien auf der Photonics West 2007 in San Jose, USA und der LASER 2007 in München standen im vergangenen Jahr die europäische Technologieplattform Photonics21 und die Gründung der nordrhein-westfälischen Initiative NRW-Photonics 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.

Eine im Dezember 2007 gemeinsam mit der Europäischen Kommission veröffentlichte Studie sagt den Optischen Technologien auch weiterhin eine glänzende Zukunft voraus. Der Jahresumsatz im Bereich Optische Technologien in Europa soll von derzeit 49 Milliarden Euro bis zum Jahr 2015 mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 7,6 % steigen. Schon jetzt arbeiten in Europa ca. 250.000 Menschen im Bereich der Optischen Technologien.

Kontakt

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

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





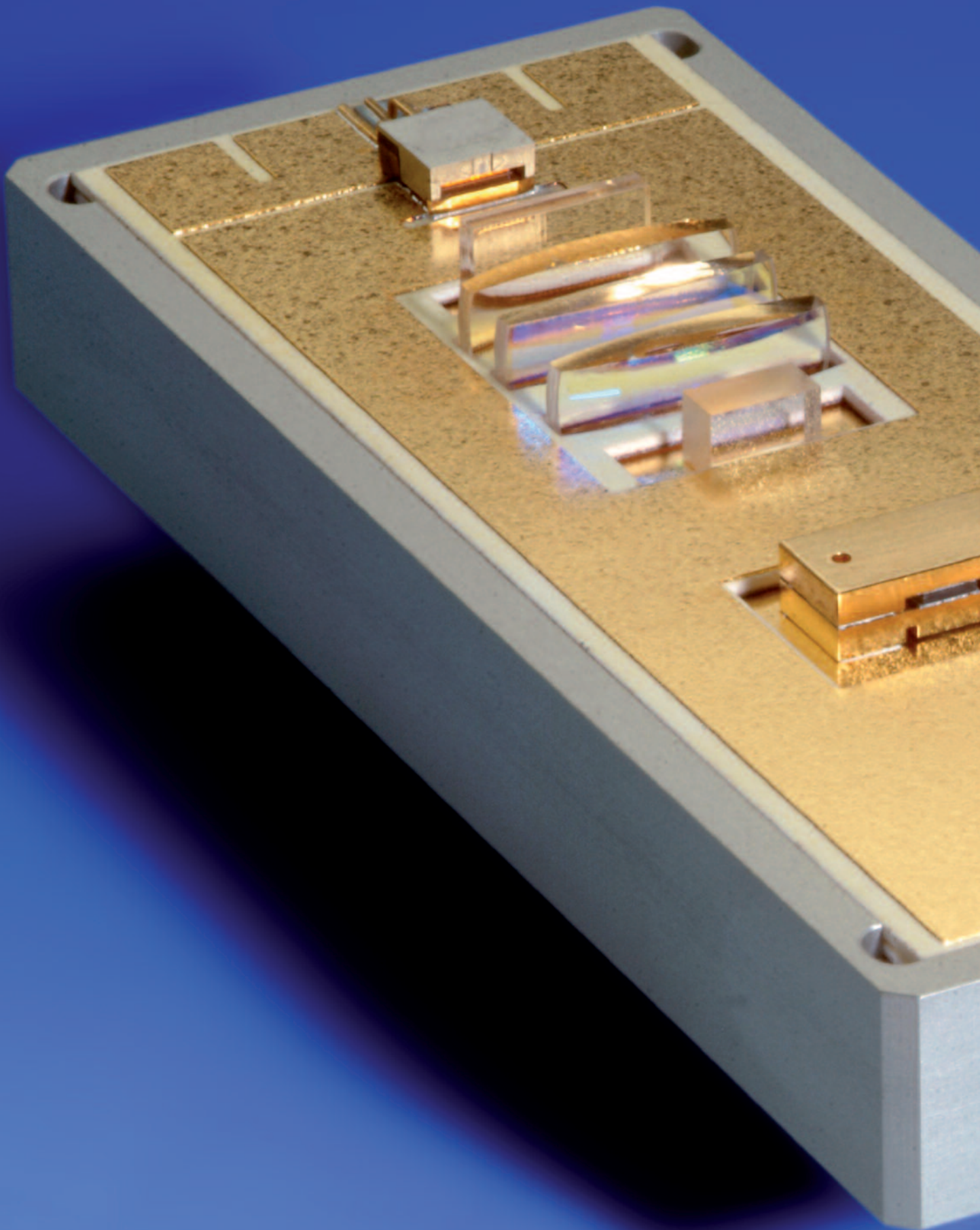
Ausgewählte Forschungsergebnisse aus den Geschäftsfeldern des Fraunhofer ILT

Laserstrahlquellen und Plasmasysteme	35 - 60
Laserfertigungsverfahren	61 - 106
Laseranlagen und Systemtechnik	107 - 118
Lasermess- und Prüftechnik	119 - 139

Anmerkung der Institutsleitung

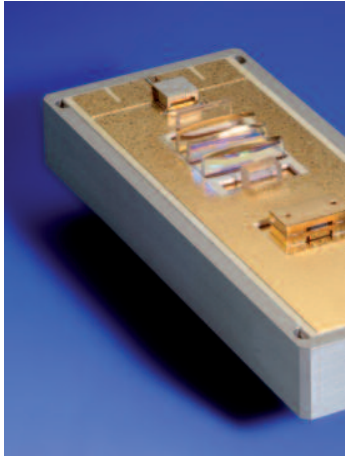
Wir weisen explizit darauf hin, dass die Offenlegung der nachfolgenden Industrieprojekte mit unseren Auftraggebern abgestimmt ist. Grundsätzlich unterliegen unsere Industrieprojekte der strengsten Geheimhaltungspflicht. Für die Bereitschaft unserer Industriepartner, die aufgeführten Berichte zu veröffentlichen,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

Laserstrahlquellen und Plasmasysteme



Das Geschäftsfeld umfasst die Entwicklung von Diodenlaser-Modulen und Systemen sowie diodengepumpter Festkörperlaser mit verschiedenen Resonatorstrukturen (Stab, Slab, Faser), das Design neuer Diodenlaserstrukturen, die Mikromontage von Diodenlasern und optischen Komponenten sowie die Entwicklung von Plasmasystemen.

Im Umfeld einiger Projekte werden seit über 10 Jahren Spin-offs des Fraunhofer ILT gegründet. In Kooperation mit dem Fraunhofer IAF werden neue Strukturen entworfen, die die Herstellung von Diodenlasern höherer Strahlqualität erlauben. Zu den Alleinstellungsmerkmalen des Geschäftsfelds zählt weiterhin die Montage von Hochleistungs-Diodenlasern und insbesondere 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 gesamten Geschäftsfelds sind die Lasermaterialbearbeitung, die Medizintechnik, die Messtechnik sowie der Komponentenmarkt für die Informations- und Kommunikationstechnik.



Automatisierbare Montage-
technologie für miniaturisierte
Laser für die Materialbearbeitung.
MicroSlab Demonstrator auf
Keramiksubstrat.



Verdampferwärmesenke für Diodenlaser	38	Breitbandig abstimmbarer Ti:Saphir-Laser mit Nanosekunden-Pulsen	51
Singelmode-Faserkopplung von frequenzstabilisierten Trapezlasern	39	Kompakter Frequenzkonverter für abstimmbare Laserstrahlung	52
Modellierung der Frequenzdoppelung in periodisch gepolten nichtlinearen Kristallen	40	Gütegeschalteter Nd:YAG-Laser mit mittlerer Leistung im kW Bereich für die Oberflächenbearbeitung	53
Supergepulste Diodenlaser für die Lasermaterialbearbeitung	41	Linear polarisierte Faserlaser hoher mittlerer Leistung	54
Fasergekoppelte Diodenlaser zum Pumpen von Faserlasern	42	Weißlichtinterferometer zur Charakterisierung optischer Schichten für Ultrakurzpulslaser	55
Transformationsoptik für das Entschichten von metallischen Bauteilen mit Hochleistungslasern	43	Erzeugung von sub-ns-Laserpulsen einstellbarer Pulsdauer mit Pulsenergie im mJ Bereich	56
Automatisierbare Montage-technologie für miniaturisierte Laser für die Materialbearbeitung	44	Sonde zur Analyse eines laserinduzierten Plasmas	57
INNOSLAB-basierter Verstärker für sub-ns-Laserpulse mit 100 mJ Pulsenergie	45	Raytracing in inhomogenen Medien	58
Femtosekunden INNOSLAB-Verstärker hoher mittlerer Leistung	46	Oberflächenanalytik mit extrem ultravioletter Strahlung zur Charakterisierung dünner Schichten	59
Hocheffiziente Laserpulsquelle für ein weltraumgestütztes LIDAR-System	47	Datenübertragung mit niedriger Latenzzeit	60
Dioden-geseedeter Faserverstärker für LIDAR-Anwendungen	48		
Integrierte Frequenzstabilisierungselektronik für LIDAR-Pulslaser in Luft- und Raumfahrt	49		
Energieskalierung gepulster ND:YGG-basierter Laserstrahlquellen bei 935 nm	50		

Aufgabenstellung

Das Wärmemanagement für industrielle Diodenlasersysteme, die aktiv gekühlt werden, erfordert hohe Wärmeströme bei geringer Temperaturdifferenz zwischen Kühlfläche und Kühlmedium. Dabei ist ein möglichst kleiner Kühlmitteldurchfluss von Vorteil, um Erosion und Korrosion in der Wärmesenke zu vermeiden, da diese die Lebensdauer der Wärmesenke und damit des Diodenlasers verkürzen. Diese Anforderungen können durch Nutzung des Verdampfungsvorgangs als Kühlprinzip erfüllt werden, da das Verdampfen einer Flüssigkeit unter entsprechenden Bedingungen der Umgebung große Mengen Wärme entzieht.

Vorgehensweise

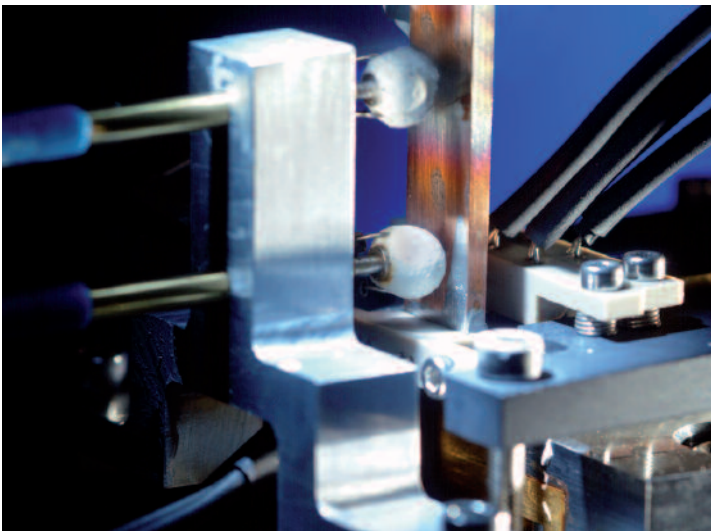
Den Anforderungen entsprechend wird eine Auswahl verschiedener Kühlmedien zusammengestellt und an Vorversuchen weiter eingeschränkt. Die Wärmesenkenprototypen, die ähnliche Abmessungen wie handelsübliche Mikrokanalwärmesenken haben, werden

auf der Basis strömungstechnischer Untersuchungen ausgelegt. Zur genaueren Untersuchung der Wärmesenkenprototypen wird ein Teststand entwickelt, der den Wärmestrom vorgeben kann, an mehreren Positionen auf der Wärmesenke die Temperatur aufnimmt und den Durchfluss und die Temperatur des Kühlmittels misst.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit dem eigens hierfür aufgebauten Teststand werden Untersuchungen an verschiedenen Prototypen einer Verdampfungswärmesenke und unterschiedlichen Kühlmedien zur Überprüfung des Einflusses auf den Verdampfungsvorgang durchgeführt. Bei den Untersuchungen variieren die Oberflächenbeschaffenheit der Kühlfläche und die Geometrie des Verdampfungsraums. Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Untersuchung werden die Wärmesenken weiter optimiert und erreichen einen Wärmestrom von 40 W auf einer Fläche von $2 \times 10 \text{ mm}^2$ bei einer Temperaturdifferenz von 20 K zwischen Kühlmedium und Kühlfläche. In einem nächsten Entwicklungsschritt werden 80 W Kühlleistung angestrebt.

Teststand zur Untersuchung verschiedener Prototypen einer Verdampfungswärmesenke.



Ansprechpartner

Dipl. Phys. M. Werner, Tel.: -423
marcel.werner@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Zahlreiche Anwendungen erfordern frequenzstabilisierte Diodenlasermodule, die die Einkopplung der Laserstrahlung in eine Singlemode-Faser (SMF) ermöglichen. Anwendungsbeispiele sind Pumpquellen für Festkörperlaser, Faserlaser und Ramanverstärker sowie für Kristalle zur Frequenzverdopplung (Second Harmonic Generation).

Bisher werden in derartigen Modulen im Wesentlichen Ridgelaser verwendet, die eine Ausgangsleistung von bis zu 400 mW aus einer SMF erreichen. Aufgrund jüngster Verbesserungen in der Aufbautechnik sind nun Trapezlaser verfügbar, die im Vergleich zu Ridgelasern eine höhere optische Ausgangsleistung bei einer nur geringfügig schlechteren Strahlqualität aufweisen. Daher ist es das Ziel, ein frequenzstabilisiertes Trapezlasermodul zu entwickeln, das im Vergleich zu verfügbaren Ridgelasermodulen eine höhere Leistung aus einer SMF ermöglicht.

Vorgehensweise

Die Frequenzstabilisierung wird über einen externen Resonator erreicht. Dieser wird entweder vor der Frontfacette des Trapezlasers durch ein in eine Mikrolinse integriertes Volumen-Bragg-Gitter (VHG-FAC) oder auf der Rückseite des Trapezverstärkers mit einem Faser-Bragg-Gitter (FBG) aufgebaut. Dabei erfordert die Stabilisierung mit dem VHG-FAC keinen zusätzlichen Justageaufwand, während die rückseitige FBG-Stabilisierung dem Aufwand einer SMF-Kopplung entspricht.

Die Baugröße des Moduls beträgt 32 x 32 x 62 mm³. Kühlung und Temperaturregelung der Laserwärmesenke erfolgen mit einem Peltierelement. Die im Modul verwendeten Materialien

sind so gewählt, dass eine Beeinflussung der Effizienz der SMF-Kopplung durch die zu erwartende thermische Ausdehnung minimal ist. Die optischen Elemente zur Faserkopplung und Frequenzstabilisierung werden mit Quarzglas- und Macorbauteilen gehalten und nach der Justage mit UV-aushärtendem Klebstoff fixiert.

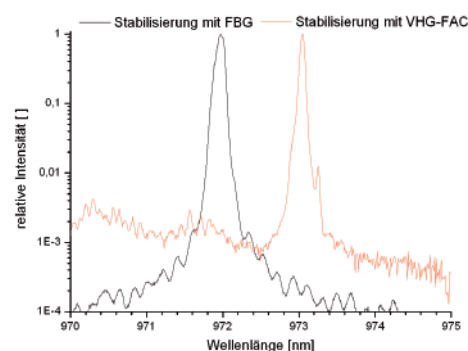
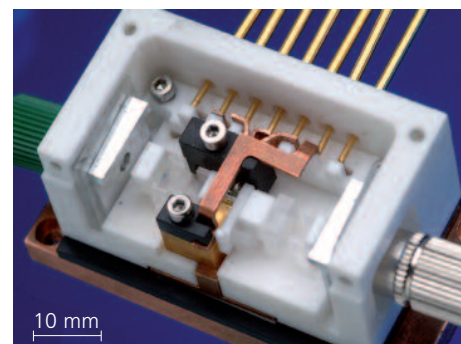
Zur SMF-Kopplung eines Trapezlasers werden separate Linsen zur Kollimation von Fast- und Slow-Axis verwendet, da Trapezlaser einen ausgeprägten Astigmatismus aufweisen. Das optische System zur SMF-Kopplung besteht daher aus drei Linsen. Die SMF wird in einem FC/APC Stecker gehalten. Bei diesen Steckern ist die Faserfacette um 8° zur optischen Achse geneigt, um Rückreflexe in den Laser zu vermeiden.

Ergebnisse und Anwendungen

Bezüglich der Frequenzstabilisierung zeigt sich, dass der FBG-stabilisierte Trapezverstärker mit einer Linienbreite von 0,11 nm schmalbandiger ist als der VHG-FAC-stabilisierte Trapezlaser mit 0,13 - 0,4 nm Linienbreite. Der Trapezlaser liefert allerdings mit 5 W eine höhere Ausgangsleistung als der Trapezverstärker mit 1,6 W. Hinsichtlich der SMF-Kopplung wurden als erstes Zwischenergebnis eine Koppeffizienz > 50 Prozent und eine eingekoppelte Leistung von ≈ 500 mW erreicht. Mit einem für die eingesetzten Trapezlaser weiter optimierten Linsensystem sollen diese Werte und damit die Leistung am Markt erhältlicher Module in naher Zukunft deutlich übertroffen werden.

Ansprechpartner

Dip.-Ing. G. Kochem, Tel.: -422
gerd.kochem@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fraunhofer.de



Oben: Modul mit frequenzstabilisiertem Trapezverstärker.
Unten: Frequenzstabilisierung durch FBG und VHG-FAC.



Aufgabenstellung

Mit Halbleiterlaserdioden kann heute Laserstrahlung mit guter Strahlqualität in einem weiten Frequenzbereich und mit Leistungen bis zu einigen Watt erzeugt werden (bei weniger guter Strahlqualität über 100 W). Lediglich im grünen Frequenzbereich stehen keine geeigneten Halbleitermaterialien zur Verfügung. Eine Möglichkeit grüne Strahlung zu erzeugen ist die Frequenzverdoppelung von Infrarotstrahlung. Im vorliegenden Fall soll 1060 nm cw-Strahlung mit einer Leistung von 5 W in 530 nm Strahlung konvertiert werden. Da diese Leistung für effiziente nichtlineare Prozesse relativ klein ist, sollen periodisch gepolte Kristalle für das Phasematching verwendet werden, da hierbei große effektive Kopplungskoeffizienten genutzt werden können. Die Optimierung des Prozesses soll durch Simulationsrechnungen unterstützt werden.

Vorgehensweise

Die Dreiwellen-Kopplung, von der die Frequenzverdoppelung ein Spezialfall ist, ist theoretisch gut verstanden. Für eine Abschätzung der Konversionseffizienz existieren Näherungslösungen. Auch für periodisch gepolte Kristalle kann man solche Näherungslösungen angeben. Wenn man allerdings den Einfluss des Strahlprofils, Temperatureffekte aufgrund der Absorption etc. untersuchen möchte, ist man auf numerische Modelle angewiesen. Hierzu wurde ein Split-Step-Verfahren implementiert, in dem die Wellenausbreitung und die nichtlineare Kopplung in

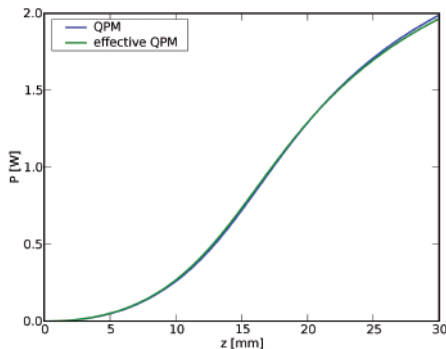
zwei getrennten Schritten alternierend berechnet werden: Die Absorption der Strahlung beim Durchgang durch den Kristall wird berechnet, daraus wird mit Hilfe eines Finite-Element-Verfahrens die Temperatur im Kristall bestimmt und in einem weiteren Durchlauf werden mit Hilfe dieser ortsabhängigen Temperatur die Brechungsindizes berechnet, die das Phasematching bestimmen. Dies wird solange wiederholt, bis ein stationärer Zustand erreicht wird.

Ergebnisse und Anwendungen

Verwendet wird LiNbO₃, das einen sehr großen Kopplungskoeffizienten besitzt. Das Bild zeigt den Anstieg der frequenzkonvertierten Leistung entlang der Ausbreitungsrichtung bei optimierten Werten für Radius und Lage der Strahltaile. Bei der blauen Kurve wurde die periodische Struktur explizit im numerischen Algorithmus berücksichtigt, bei der grünen Kurve wurde ein homogener Kristall mit 100 Prozent Phasematching und einem entsprechend angepassten Wert für den Kopplungskoeffizienten angenommen. Die eingestrahlte Leistung bei 1060 nm beträgt 5 W. Aus den Modellrechnungen folgen Konversionseffizienzen von fast 40 Prozent.

Ansprechpartner

Dr. R. Wester, Tel.: -401
rolf.wester@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fraunhofer.de



Anstieg der Leistung der frequenzkonvertierten Welle (530 nm) entlang der Ausbreitungsrichtung bei eingestrahelter Leistung von 5 W (1060 nm).



Aufgabenstellung

Diodenlaser bieten im Vergleich zu anderen Strahlquellen einen größeren Wirkungsgrad, eine kompaktere Bauweise sowie geringere Systemkosten. Daher konnten sich Diodenlaser in vielen Bereichen der Medizintechnik und Materialbearbeitung als Strahlquellen etablieren. Bei Anwendungen, die hohe Pulsspitzenleistungen erfordern, können Diodenlaser aufgrund ihrer eingeschränkten Pulsbarkeit bislang nicht eingesetzt werden. Hierzu zählen das Markieren und das Entschichten. Für solche Applikationen soll ein Diodenlasersystem aufgebaut werden, bei dem durch kurze Pulse (< 500 ns) mit bis zu zehnfacher Stromüberhöhung deutlich höhere Intensitäten am Werkstück erreicht werden können als mit konventionellen Diodenlasern.

Vorgehensweise

Bei dem realisierten Demonstrator werden Kurzbarren mit einer Apertur von $800 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ eingesetzt. Die Diodenlaser werden mit einer Pulsstromquelle betrieben, die bei ausreichend kurzen Pulsen eine zehnfache Stromüberhöhung erlaubt. Zur weiteren Leistungssteigerung werden zwei Barren durch Polarisationsmultiplexing überlagert. Um eine möglichst hohe Leistungsdichte am Werkstück zu erreichen, wird die Apertur des Kurzbarrens anamorphotisch auf das Werkstück abgebildet.

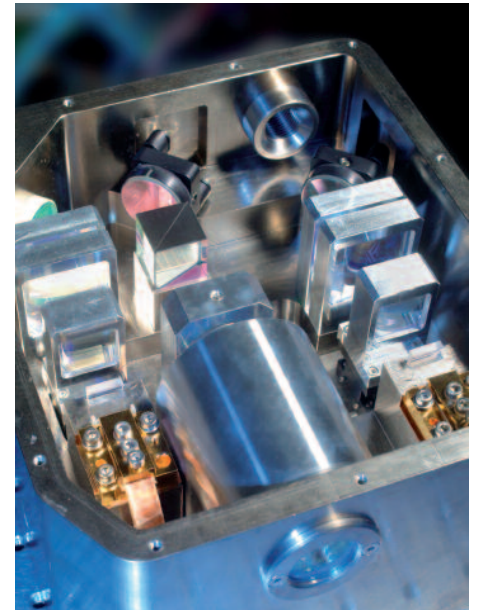
Ergebnisse und Anwendungen

Die verwendeten Kurzbarren werden mit einem Pulsstrom bis zu 250 A betrieben, wodurch eine maximale Pulsleistung von 300 W pro Barren bei 100 ns Pulslänge erreicht wird. Durch die Abbildung der Austrittsapertur des Kurzbarrens wird ein Spot mit einer Größe von $400 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ erzielt, was einer Leistungsdichte von $30 \text{ MW}/\text{cm}^2$ entspricht. Mit dem realisierten System konnten sowohl das Abtragen von Farbschichten als auch das Markieren von Kunststoffen erfolgreich demonstriert werden.

Das Vorhaben wurde vom BMWi unter der Projektnummer 14508 N/1 gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. M. Traub, Tel.: -342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Demonstrator »Supergepulste Diodenlaser«.

Aufgabenstellung

Das Pumpen von Faserlasern erfordert brillante, fasergekoppelte Diodenlaser auf Basis konduktionsgekühlter Wärmesenken. Bei der Pumpwellenlänge von 976 nm für Ytterbium-Faserlaser sollen 50 W pro Modul aus einer Faser mit einem Kerndurchmesser von 105 μm bereitgestellt werden. Dieser Kerndurchmesser ist kompatibel zu kommerziellen Faserkopplern, die zur Leistungsskalierung der Pumpstrahlung eingesetzt werden.

Vorgehensweise

Zwei Konzepte zur Faserkopplung von konduktionsgekühlten Diodenlasern werden untersucht. Das erste Konzept basiert auf fünf 90 μm breiten Einzelemitterdioden mit jeweils 7 W Laserleistung, die optisch übereinander gestapelt und mit einer sphärischen Optik in die Faser gekoppelt werden. Durch die verteilte Anordnung der Strahlquellen kann eine effiziente Wärmeabfuhr der Verlustleistung und somit die hohe absolute Strahlleistung von 7 W pro Einzeldiode gewährleistet werden. Die optische Strahlformung ermöglicht die effiziente Kopplung jeder Einzelemitterdiode durch einen Justageschritt. Im Vergleich zum Stand der Technik werden statt einem Einzelemitter durch optische Stapelung und Polarisationskopplung 10 Einzelemitter in eine Faser gekoppelt. Das zweite Konzept basiert auf 800 μm -Breitstreifenemittern mit jeweils 28 W Laserleistung (Diodenlaserarray mit 4 - 5 Emittern bei hohem Füllfaktor). Zwei Breitstreifenemitter werden polarisationsgekoppelt,

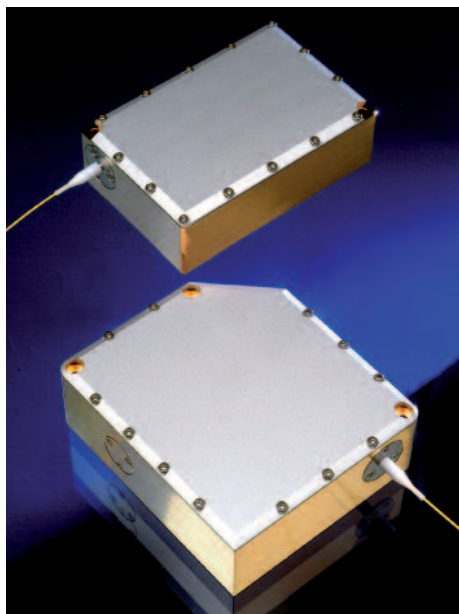
das Strahlprofil mit einem Treppenspiegel symmetrisiert und mit einer anamorphotischen Abbildungsoptik in die Faser eingekoppelt. Die konzentrierte Anordnung der Diodenlaser ermöglicht bei vergleichsweise hoher Leistungsdichte eine einfache Strahlformung mit Einzellinsen ohne Mikrolinsenarrays.

Ergebnisse und Anwendungen

Die fasergekoppelten Diodenlaser-Pumpmodule erreichen aus einer Faser mit einem Durchmesser von 105 μm eine Laserleistung von 43 W basierend auf zwei Breitstreifenemittern und 60 W basierend auf 10 Einzelemittern. Die vorgestellten Diodenlaser werden als Pumpquellen für Faserlaser eingesetzt. Zum optischen Pumpen von Festkörperlaser kann eine Adaption der Pumpwellenlängen vorgenommen werden. Weitere Einsatzgebiete sind Direktanwendungen in der Kunststoffbearbeitung und der Lasermedizin-technik.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. C. Wessling, Tel.: -565
christian.wessling@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Fasergekoppelte Diodenlaser-Pumpmodule (Faserdurchmesser 105 μm , numerische Apertur 0,22):
Oben: 60 W Modul basierend auf Einzelemitter-Dioden.
Unten: 43 W Modul basierend auf Breitstreifenemitter-Dioden.



Aufgabenstellung

Das Entschichten mit gepulsten Lasern bietet im Vergleich zu konventionellen Reinigungsverfahren den wesentlichen Vorteil des selektiven Abtrags einzelner Schichten. Durch die Absaugung der festen und gasförmigen Abtragprodukte sowie den Verzicht auf Chemikalien kann eine Kontamination der Umgebung zuverlässig verhindert werden. In Bearbeitungsoptiken zur Entschichtung von Oberflächen wird der Laserstrahl senkrecht zur Vorschubrichtung mit einem 1-D-Scanner abgelenkt. Hierbei limitiert die maximale Ablenkfrequenz des Scanners insbesondere bei Laserleistungen von mehr als einem Kilowatt die erreichbare Flächenrate.

Vorgehensweise

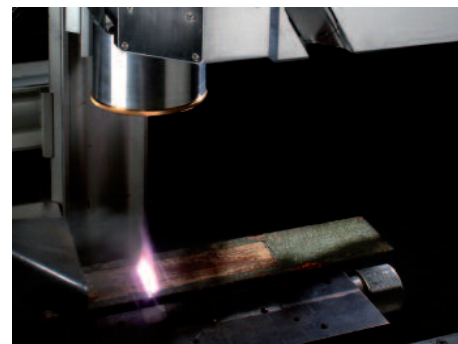
Die Ablenkfrequenz des Scanners wird durch das Massenträgheitsmoment des verwendeten Spiegels beschränkt. Bevor der Laserstrahl mit einer symmetrischen Leistungsdichteverteilung auf den Scannerspiegel trifft, wird mit Hilfe einer Transformationsoptik ein Aspektverhältnis des Strahls von 1:4 realisiert. Hierdurch lässt sich ein flächengleicher Spiegel mit halbiertem Durchmesser verwenden, wodurch das Massenträgheitsmoment des Spiegels um den Faktor vier reduziert und die maximale Scanfrequenz deutlich erhöht werden kann.

Ergebnisse und Anwendungen

Basierend auf dem Transformationskonzept wurde eine Bearbeitungsoptik für das Entschichten entwickelt und erfolgreich getestet. Im Vergleich zu konventionellen Scanneroptiken konnte hierbei die Abtragsrate um 30 Prozent gesteigert werden, wobei die maximale Scanfrequenz 200 Hz beträgt. Durch die Verwendung einer Fokussieroptik mit 160 mm Brennweite ist bei einer Ablenkbreite von bis zu 60 mm eine maximale Scangeschwindigkeit von 24 m/s realisierbar. Im Vergleich zu konventionellen Optiken werden diese Ablenkbreiten aufgrund der längeren Brennweite der Fokussierung bei reduzierter Amplitude des Spiegels erreicht, so dass die Strombelastung des 1-D-Scanners deutlich verringert wird. Die Optik erreicht eine Effizienz von 90 Prozent und ist für den Einsatz mit fasergekoppelten Nd:YAG-Lasern mit einer Ausgangsleistung bis zu 2 kW geeignet.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. M. Traub, Tel.: -342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Phys. C. Johnigk, Tel.: -301
carsten.johnigk@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Transformationsoptik.

Aufgabenstellung

Lasersysteme zum Beschriften, Markieren und Gravieren von Metall, Kunststoff und Keramik werden vielfältig eingesetzt und haben bereits heute einen großen Anteil am Weltmarkt von Beschriftungssystemen.

Die Automatisierung der Montage dieses Lasers eröffnet die Möglichkeit, Beschriftungslaser in hoher Stückzahl preisgünstig produzieren und anbieten zu können. Im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« wird ein miniaturisierter Slab-Laser ausgelegt, der den Anforderungen an eine automatisierte Montage gerecht wird. Darüber hinaus werden Montagestrategien entwickelt, die für eine roboterbasierte Montage geeignet sind.

Vorgehensweise

Das am Fraunhofer ILT entwickelte INNOSLAB Laserprinzip ermöglicht eine kompakte und planare Anordnung der Systemkomponenten, die die Anwendung einer automatisierten Montagetechnik zum Aufbau des MicroSlab erleichtert. Die Verwendung einer keramischen Grundplatte vereinfacht darüber hinaus die Integration elektrischer Funktionalitäten über eine strukturierte stromführende Beschichtung. Die Fixierung der Komponenten in den zur Justage erforderlichen Freiheitsgraden erfolgt ohne zusätzliche Justagehilfen durch Fügetechniken, die den thermischen und elektrischen Anforderungen genügen und eine langzeitstabile positionstreue Montage sicherstellen. Zur Gewährleistung einer wirtschaftlichen Fertigung werden Strategien entwickelt,

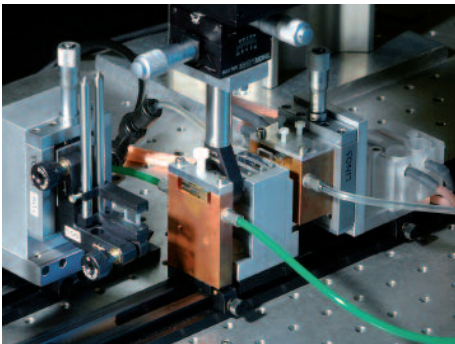
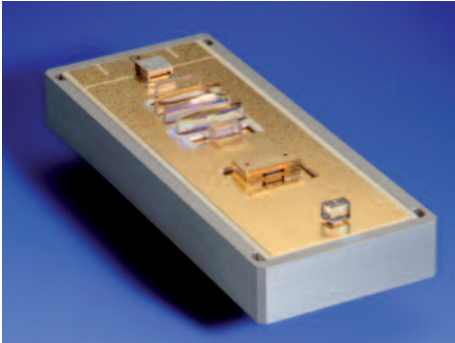
die eine funktionsfähige Montage des Lasers auch bei statistischer Toleranzverteilung von einzelnen Laserkomponenten ermöglichen. Angestrebt wird eine deutliche Kostenreduktion durch automatisierte Montage, angepasste Aufbautechnik und optimiertes Systemdesign.

Ergebnisse und Anwendungen

Ein MicroSlab-Lasersystem wird im Labor hinsichtlich erforderlicher Montagegenauigkeiten der verwendeten Komponenten untersucht. Der Laser kann aufgrund einer homogenisierenden Pumpoptik mittels Mikrolinsenarray und eines positiv konfokalen Hybridresonators mit einer Gesamtlänge von 150 mm äußerst kompakt aufgebaut werden und erreicht eine Ausgangsleistung von 8 W cw bei exzellenter Strahlqualität. Die Montage des Systems in Planarbauweise ist unter Anwendung automatisierbarer Fügeverfahren für eine funktionsfähige Pumpoptik prinzipiell demonstriert. Eine halbautomatisierte Montage mittels 6-Achs Parallelkinematik befindet sich im Entwicklungsstadium.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. J. Dolkemeyer, Tel.: -351
jan.dolkemeyer@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. M. Funck, Tel.: -351
max.funck@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: MicroSlab Demonstrator auf Keramiksubstrat.

Unten: Konventionell aufgebauter Laboraufbau.



Aufgabenstellung

Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Verbundprojekts soll eine Laserplasmaquelle zur Erzeugung von XUV-Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 2,3 nm und 4,4 nm entwickelt werden. Dieser Spektralbereich wird als »Wasserfenster« bezeichnet und ermöglicht u. a. die Untersuchung biologischer Proben. Zur Plasmaerzeugung sind Laserpulse im sub-ns-Regime mit einer Energie von mehr als 100 mJ bei einer Pulswiederholrate von 1 kHz erforderlich.

Mit einem INNOSLAB-basierten Verstärker sollen Seedpulse mit einer Energie von 2,5 mJ und einer Dauer zwischen 500 ps und 1 ns bei 1 kHz Pulswiederholrate auf 100 mJ verstärkt werden. Die Anwendung erfordert eine gute Strahlqualität: Angestrebt wird $M^2 < 4$.

Vorgehensweise

Die angestrebten Parameter können mit einer dreistufigen Kette bestehend aus einem INNOSLAB-Vorverstärker und zwei INNOSLAB-Leistungsverstärkern erreicht werden. Der Vorverstärker ist einseitig mit acht Dioden, die beiden Leistungsverstärkerstufen beidseitig mit 16 Dioden gepumpt. Im Verstärkerresonator werden ausschließlich Planoptiken eingesetzt, was Entwicklungszeit und -kosten verringert.

Besonderes Augenmerk liegt u. a. auf der Unterdrückung von parasitären Oszillationen des Verstärkers sowie ASE-Effekten und der Unterschreitung der Zerstörschwellen der Optiken.

Ergebnisse und Anwendungen

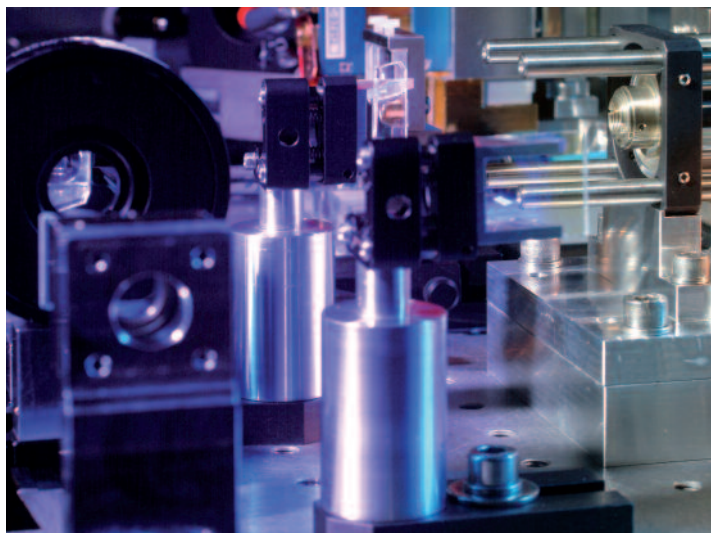
Mit der ersten Verstärkerstufe werden in der Spitze 65 mJ Pulsenergie bei 1 kHz Pulswiederholrate stabil erreicht. In mehrstündigen Dauertests wird keine Degradation von Optiken beobachtet.

Strahlqualität und Pulsform der Seedpulse bleiben weitgehend erhalten. Für das Erreichen von 100 mJ wird die Anordnung zzt. um zwei baugleiche INNOSLAB Verstärkerstufen erweitert.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. D. Esser, Tel.: -437
dominik.esser@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Phys. M. Höfer, Tel.: 128
marco.hoefer@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

INNOSLAB-basierter Vor- und Leistungsverstärker.





Femtosekunden INNOSLAB-Verstärker hoher mittlerer Leistung

Aufgabenstellung

Am Fraunhofer ILT werden seit vielen Jahren INNOSLAB-Verstärker auf Basis von Neodym-dotierten Kristallen entwickelt. Um Pulsdauern von unter 1 ps verstärken zu können, sollen Ytterbium-dotierte Materialien (YAG, KGW, KYW) in Slab-Geometrie eingesetzt werden. Ziel sind einige 100 W mittlere Ausgangsleistung, die mit einer Seed-Leistung von ~1 W und bei Wiederholraten > 10 MHz ohne Chirped Pulse Amplification erreicht werden können.

Vorgehensweise

Mit Hochleistungs-Diodenlasern der neuesten Generation wurde eine Pumpquelle hoher Brillanz mit 400 W mittlerer Leistung realisiert, welche die für eine effiziente Verstärkung in Ytterbium erforderlichen hohen Pumpleistungsdichten zur Verfügung stellt. Mit zwei Quellen kann ein einzelner 10 x 10 x 1 mm³ großer Slab-Kristall von

beiden Seiten mit insgesamt 800 W mittlerer Leistung gepumpt werden. Um die Effizienz zu verbessern, wird die Pumpintensität in einem moderat dotierten Lasermedium durch Rückfaltung der transmittierten Pumpstrahlung erhöht.

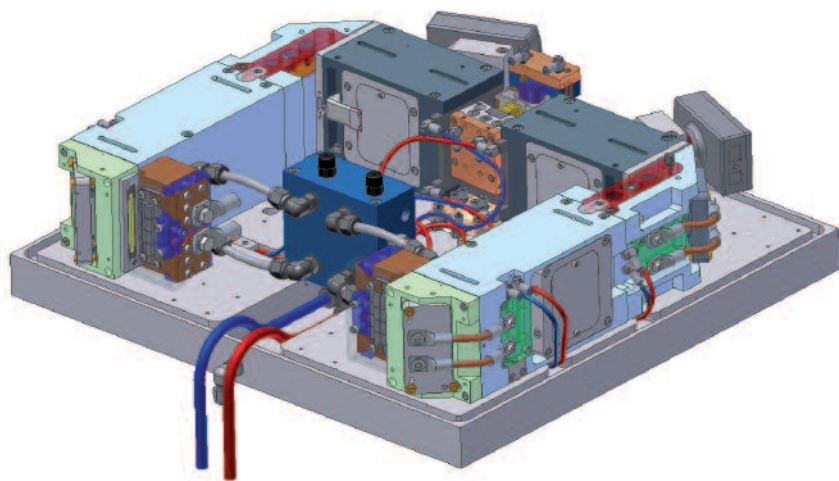
Ergebnisse und Anwendungen

Zunächst wurde ein als Vorversuch zum kompletten Aufbau einseitig gepumpter INNOSLAB Verstärker realisiert. Der mit 400 W Leistung gepumpte Yb:YAG-Kristall wird mit einem kommerziellen Laseroszillator (300 mW, 277 fs, 63 MHz) geseedet. Damit wurden hinter dem Verstärker 77 W bei 786 fs Pulsdauer und einer Strahlqualität $M^2 < 1,3$ erreicht. Die Daten sind deckungsgleich mit den zuvor durchgeführten Simulationsrechnungen. Für einen von beiden Seiten gepumpten Verstärker sagen die numerischen Simulationen mittlere Ausgangsleistungen > 300 W voraus. Damit erschließen sich neue Anwendungen für Ultrakurzpulslaser im Bereich der Hochraten Materialbearbeitung, der Plasmaerzeugung und der effizienten Erzeugung kurzwelliger Strahlung durch nichtlineare Prozesse.

Ansprechpartner

Dr. P. Rußbüldt, Tel.: -303
peter.russbueldt@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Phys. T. Mans, Tel.: -379
torsten.mans@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

Beidseitig gepumpter
fs-INNOSLAB-Verstärker.





Aufgabenstellung

Die orts aufgelöste Messung von Molekül- (wie z. B. Wasserdampf, Kohlendioxid) oder Aerosol-Konzentrationen in der Atmosphäre durch LIDAR (Light Detection And Ranging) erfordert hochstabile, schmalbandige und kurze Laserpulse hoher Energie. Entscheidende Kriterien bei der Auswahl einer geeigneten Laserquelle für den Betrieb auf einem Satelliten sind die Zuverlässigkeit und Effizienz des Systems sowie eine kompakte und leichte Bauform.

In diesem Projekt wird eine Laserquelle benötigt, die bei 100 Hz Wiederholrate Laserpulse mit mindestens 70 mJ Energie und 1064 nm Wellenlänge erzeugt. Anschließend erfolgt eine Resonator externe Frequenzverdreifachung mit Hilfe nichtlinearer Kristalle auf mindestens 21 mJ bei 355 nm. Das System soll über mindestens drei Jahre kontinuierlich im All betrieben werden.

Vorgehensweise

Als Laseroszillator dient ein gütegeschalteter Resonator mit einem diodengepumpten Nd:YAG Stab. Die Pulserzeugung wird mit Hilfe eines Seed-Lasers frequenzstabilisiert. Auf diese Weise werden Laserpulse mit exzellenter räumlicher und zeitlicher Qualität generiert.

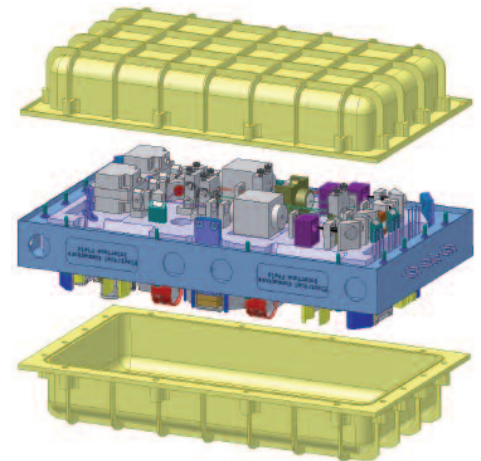
Nachgeschaltet ist ein diodenendgepumpter Nd:YAG Verstärker nach dem INNOSLAB-Prinzip, der die Energie der Laserpulse ohne Qualitätseinbuße verstärkt und damit maßgeblich die Effizienz des Gesamtsystems bestimmt. Die besondere Geometrie eines INNOSLAB-Lasers bietet ideale Voraussetzungen für einen hocheffizienten Verstärkungsprozess und ermöglicht zusätzlich Unempfindlichkeit gegenüber Pumpdiodeendegradation und Temperaturschwankungen.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit einem flexiblen Laboraufbau werden 1064 nm Laserpulse mit mehr als 80 mJ Energie erzeugt, die mit Hilfe nichtlinearer Kristalle zu mehr als 30 mJ bei 355 nm konvertiert werden. Die optisch-optische Effizienz des Systems übertrifft die Anforderungen deutlich. Um die konkrete Eignung des Lasers für den Einsatz in einem Satelliten zu demonstrieren, wurde in einem ersten Schritt der frequenzstabilisierte Oszillator in eine kompakte Bauform mit 400 x 200 mm² Grundfläche überführt. Grundsätzlich bietet dieses Design durch die serielle Schaltung mehrerer Slabverstärkerstufen exzellente Möglichkeiten der Skalierung zu höheren Pulsenergien, die unter anderem für LIDAR-Systeme zur Moleküldetektion benötigt werden.

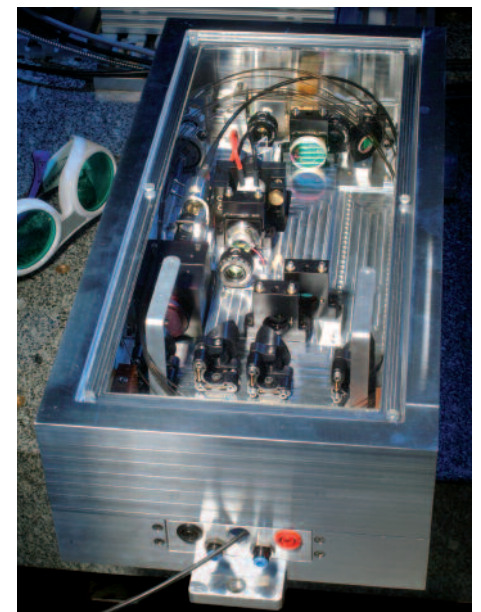
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. J. Luttmann, Tel.: -128
joerg.luttmann@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Vorläufiges Design der satellitengestützten Laserquelle (Explosionsdarstellung).

Unten: Kompakter Aufbau des frequenzstabilisierten Laseroszillators.



Aufgabenstellung

Puls-LIDAR-Systeme senden kurze Laserpulse aus und bestimmen aus der Laufzeit die Entfernung diffus streuender Objekte. Die erreichbare Performance hängt dabei direkt vom Lasersystem ab. Die Repetitionsrate (ca. 0,5 bis 2 MHz) wird vorgegeben durch die Anzahl der geforderten Messpunkte in einer gegebenen Zeit. Die Pulsspitzenleistung (größer 1 kW) in Verbindung mit der Strahlqualität ($M^2 < 1,5$) bestimmt die maximale Reichweite des Messgeräts. Die zeitlichen Eigenschaften wie Pulsdauer und Jitter legen die erreichbare Genauigkeit fest.

Am Fraunhofer ILT wird derzeit im Rahmen eines Fraunhofer-internen Projektes ein Faserlasersystem für die scannende Entfernungsmessung in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPM entwickelt.

Vorgehensweise

Hohe Anforderungen an das Timing des Lasers, d. h. extern triggerbare Pulse mit Pulsdauern im sub-ns-Bereich bei geringem Puls-Jitter in Verbindung mit den benötigten Pulsspitzenleistungen im Kilowatt-Bereich und mittlere Leistungen von einigen Watt erfordern einen Aufbau des Lasers als Oszillator-Verstärker-Anordnung. Dabei werden die zeitlichen und spektralen Eigenschaften des Laserpulses von einer gepulsten Laserdiode festgelegt, deren Signal dann eine zweistufige Faserverstärkeranordnung durchläuft. Das Konzept bietet eine maximale Variabilität im Hinblick auf die zeitlichen Parameter, wie freie Triggerbarkeit innerhalb eines Zeitfensters von 2 μ s und variable Repetitionsraten.

Bei vollständig faserintegriertem Aufbau weisen Faserverstärker, gegenüber konventionellen Laserverstärkern basierend auf Laserstäben, folgende Vorteile auf:

- Sie sind justagefrei.
- Die Strahlparameter sind unabhängig von der eingestellten Leistung.
- Eine hohe Verstärkung und gute Effizienz werden erreicht.

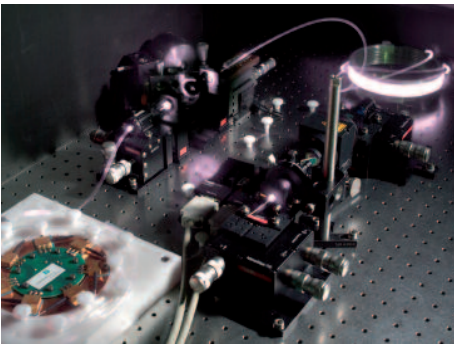
Ergebnisse und Anwendungen

Der hier vorgestellte Prototyp ist passiv gekühlt und verfügt über eine Steuer-elektronik, welche die Laserfunktion überwacht: Intern werden z. B. die Temperaturen der Laserdioden überwacht, extern stellt die Elektronik sicher, dass der Laser nicht durch beispielsweise einen Ausfall des Triggersignals zerstört wird.

Weitere mögliche Einsatzgebiete für dieses Lasersystem sind z. B. Messtechnik mit zeitlich geformten Laserpulsen, Mikromaterialbearbeitung, Life-Sciences oder das Feinbohren mit Laserstrahlung.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. J. Geiger, Tel.: -123
jens.geiger@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Prototyp eines gepulsten Faserverstärkers für LIDAR-Anwendungen.
Unten: Laboraufbau des Faserverstärkers.



Aufgabenstellung

Die hoch aufgelöste Messung von Stoffkonzentrationen (wie z. B. Wasserdampf, Methan, CO₂) oder Windgeschwindigkeiten in der Atmosphäre mittels LIDAR (Light Detection And Ranging) erfordern hochstabile, schmalbandige Laserpulse mit bandbreitebegrenzten Pulsdauern im Bereich von 10 - 100 ns. Die Erzeugung erfolgt meist durch Seeden eines gütegeschalteten Lasers mit einer schmalbandigen Laserquelle kleiner Leistung und hoher Stabilität in Verbindung mit einer aktiven Regelung der Resonatorlänge. Die benötigten Systeme für die Luft- und Raumfahrt weisen typischerweise eine Pulswiederholrate von einigen 100 Hz auf, in einigen Anwendungen ist die Erzeugung von Pulszügen mit einem möglichst geringen Pulsabstand vorteilhaft. Der frequenzstabile Betrieb muss auch unter starkem Vibrations-einfluss sichergestellt werden.

Vorgehensweise

Als Regelverfahren der Resonatorlänge sind Verfahren ausgewählt, die auf der Messung des Seedsignals beruhen und eine Unterdrückung von Störschwingungen bis in den Multi-Kilohertz-Bereich ermöglichen. Durch das am Fraunhofer ILT entwickelte und patentierte Ramp-Delay-Fire-Verfahren ist zusätzlich eine auf wenige zehn Nanosekunden genaue, sich dynamisch optimierende Vorhersage des Pulsaussendezeitpunkts möglich. Die Regeleinheit ist in Form einer integrierten Elektronik in SMD-Technik realisiert. Der Einsatz von FPGA- und Mikrokontroller basierten Teilprozessen verbindet einen bis in den Nanosekundenbereich determinierten Programmablauf mit der für die dynamische Entscheidungsfindung

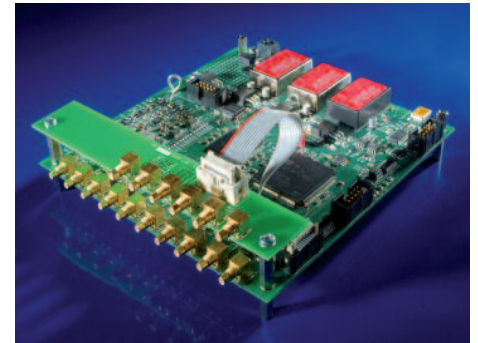
nötigen Flexibilität. Durch Kaskadierung mehrerer Regelkreise und Benutzung dynamischer Wertetabellen können neben der Frequenzstabilität auch andere Betriebseigenschaften wie z. B. Pulsenergiestabilität erreicht werden. Durch Parametervariationen lassen sich Betriebspunkte einstellen, die die simultane Erfüllung dieser Betriebsmerkmale erlauben. Anwendungsspezifisch wird sowohl auf unterschiedliche Sensoren und Aktoren als auch unterschiedliche Ansteuertechniken zurückgegriffen.

Ergebnisse und Anwendungen

In den am Fraunhofer ILT durchgeführten Experimenten wird eine Pulsbandbreite von unter 8 MHz (Pulswiederholrate 100 Hz, Pulsdauer 30 ns, Pulsenergie 12 mJ, $M^2 < 1.1$) und eine außerordentlich hohe Frequenzstabilität auch unter dem Einfluss großer Störungen der Resonatorlänge erreicht. Bei der Erzeugung von Doppel- bzw. Tripelpulszügen konnte bei einem Pulsabstand von 100 µs die Schwankung der Pulsenergie auf wenige Prozent reduziert werden. Um Auflösungsvorteile bei Hubschrauber getragenen LIDAR-Instrumenten zu erzeugen, werden derzeit die Möglichkeiten der Erhöhung der Pulswiederholrate untersucht.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. V. Morasch, Tel.: -224
valentin.morasch@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Integrierte Frequenzstabilisierungselektronik.

Aufgabenstellung

Zur satellitengestützten Vermessung klimarelevanter Wasserdampfverteilungen mit dem DIAL-Verfahren wird die lauffzeitabhängige Absorption von schmalbandigen Laserpulsen ausgewertet. Voraussetzung ist die Verfügbarkeit spezifischer Wellenlängen im Bereich geeigneter Wasserdampf-Absorptionslinien um 935 nm.

Neuartige Mixed-Garnet-Kristalle bieten die Möglichkeit direkter diodengepumpter Systeme in diesem Wellenlängenbereich. Die für den Weltraumeinsatz nötige hohe Effizienz und geringe Komplexität im Vergleich zu etablierten Titan Saphir Lasern oder Optischen Parametrischen Oszillatoren wird auf diese Weise erreichbar. In Zusammenarbeit der Universität Hamburg mit dem Kristallforschungsinstitut FEE sind erstmals Nd:YGG-Kristalle mit der für die Güteschaltung notwendigen mechanischen und optischen Qualität gezüchtet worden. Mit einer Effizienz von 9 Prozent (absorbiertes Pumplicht zum Laserlicht) konnten Pulsenergien um 4 mJ bei 100 Hz demonstriert werden. Zur Energieskalierung in den multi-10-mJ-Bereich werden INNOSLAB-basierte Verstärker untersucht.

Vorgehensweise

Ein numerisches Modell zur Simulation der Verstärkungsprozesse unter Berücksichtigung von Reabsorptionseffekten des quasi-3-Niveau-Systems sowie ASE- und thermischer Linseneffekte wurde zur Identifizierung und Auslegung systemrelevanter Parameter implementiert. Durch umfangreiche Parameterstudien ließen sich erfolgsversprechende Pumpgeometrien und Verstärkerkonfigurationen identifizieren.

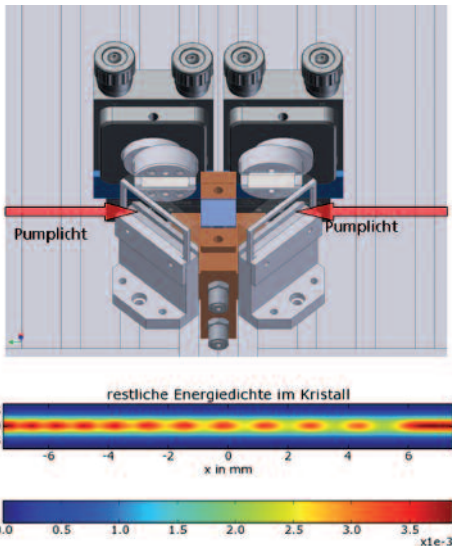
Ergebnisse und Anwendungen

Mit einem doppelseitig endgepumpten INNOSLAB-Verstärker werden Pulsenergien im 40 mJ Bereich vorhergesagt. Die experimentelle Umsetzung wird zzt. untersucht.

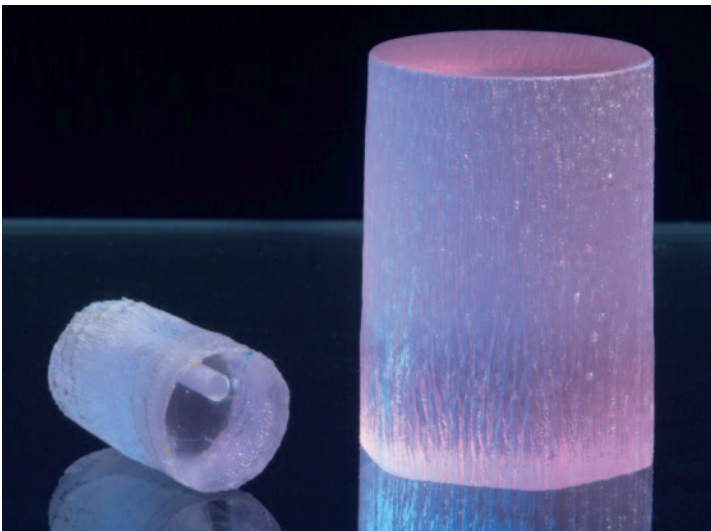
Da Wasserdampf wesentlich den Energiehaushalt der Atmosphäre bestimmt, ist der Einsatz robuster LIDAR-Systeme mit Emission bei 935 nm Wellenlänge auf mobilen Plattformen wie Flugzeugen, Satelliten aber auch bodengestützter LIDAR-Systeme zu erwarten. Grundsätzlich wird gezeigt, dass die direkte und effiziente Erzeugung Applikations-spezifischer Wellenlängen für die Messtechnik, aber auch für die Materialbearbeitung, durch den Einsatz maßgeschneiderter Laserkristalle und angepasster Laserdesigns machbar ist.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. J. Loehring, Tel.: -414
jens.loehring@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Slabbasierter Verstärker.
Unten: Nd:YGG-Boules der
Universität Hamburg (links),
FEE (rechts).





Aufgabenstellung

Aufgrund der großen spektralen Bandbreite und der großen Verstärkung sind Ti:Saphir-Laser das Arbeitspferd unter den abstimmbaren Festkörperlaser in Wissenschaft und Technik. Ihr fundamentaler Abstimmbereich deckt die Wellenlängen zwischen etwa 670 nm und 1100 nm ab. Als Besonderheit der hier vorgestellten Lösung wird ein Wellenlängenbereich von mehr als 300 nm und eine optische Finesse von mehr als 10.000 mit einem einzigen Optiksatz - ohne Austausch von Komponenten - erzielt. Das mechanische Design des Demonstrators zeichnet sich durch eine montage- und wartungsfreundliche Aufbautechnik aus und unterstützt einen langzeitstabilen, justagefreien Betrieb.

Vorgehensweise

Als Pumpquelle für den Ti:Saphir-Laser wird ein industrieller frequenzverdoppelter Q-Switch-Laser eingesetzt. Die Erzeugung von Nanosekunden-Pulsen erfolgt über Gewinnsschaltung und benötigt keine weiteren optischen Schalter. Im Demonstrator ist der optische Resonator mechanisch von Elektro- und Wasseranschlüssen getrennt und hermetisch gekapselt. Für die Einstellung der Wellenlänge werden präzise, Piezo-basierte Stellmechaniken von Steinmeyer FMD Dresden GmbH verwendet. Die Lasersteuerung unterstützt zwei Betriebsmodi: Einstellen einer frei wählbaren Festwellenlänge oder kontinuierliches Durchstimmen eines ausgesuchten Wellenlängenbereichs.

Ergebnisse und Anwendungen

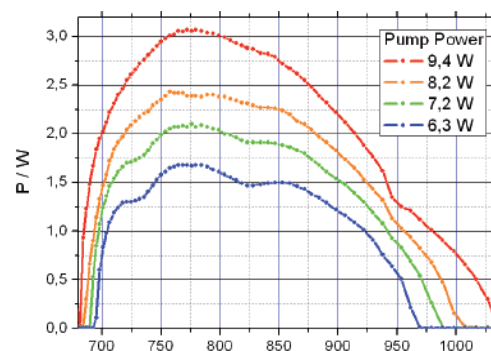
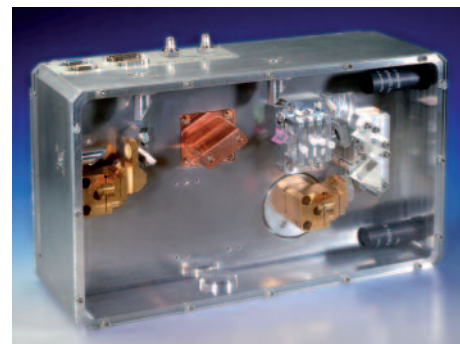
Bei einer Pulsfolgefrequenz von 1 kHz werden Pulsenergien von mehr als 3 mJ, Pulsdauern um 10 ns und eine Strahlqualität von $M^2 < 1,2$ erreicht. Beim kontinuierlichen Durchstimmen des Systems über einen ausgesuchten Wellenlängenbereich beträgt die Linienbreite etwa 300 GHz. Im Betrieb mit frei einstellbarer Festwellenlänge kann der Benutzer zwischen etwa 300 GHz oder weniger als 10 GHz Linienbreite umschalten.

Aufgrund seiner hohen Pulsleistung und exzellenten Strahlqualität eignet sich der Laser hervorragend zur Frequenzkonversion und fungiert beispielsweise als Basis eines Festkörperlaser systems, das von 210 nm bis 1000 nm abstimmbar ist.

Einsatzgebiete des Systems sind High-Throughput-Untersuchungen in der Halbleiterindustrie, der Bioanalytik, den Material- und Werkstoffwissenschaften. Das System verfügt über eine automatisierte Einstellung der Wellenlänge, die auch zur Erfassung der dargestellten Kennlinien verwendet wurde.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. B.Jungbluth, Tel.: -414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Demonstrator mit robuster, montage- und wartungsfreundlicher Aufbautechnik.
Unten: Exzellente Performance und breiter Abstimmbereich ohne Austausch von Optiken.

Aufgabenstellung

Der Abstimmbereich heutiger Ti:Saphir-Laser überdeckt mehr als 300 nm im roten und nahen infraroten Spektralbereich. Mittels nichtlinearer Frequenzkonversion kann dieses Ausgangsspektrum zu kürzeren Wellenlängen bis ins Ultraviolette transformiert werden. Zur Darstellung eines frequenzverschobenen Ausgangsspektrums zwischen 210 nm und 500 nm werden dabei mindestens drei verschiedene Konversionsprozesse benötigt, nämlich Frequenzverdopplung, -verdrei- und -vervierfachung der fundamentalen Laserstrahlung. Die vorgestellte Lösung kombiniert diese Konversionsprozesse in einem einzigen kompakten und justageunempfindlichen Modul.

Vorgehensweise

In dem Modul werden die zweistufigen Konversionsprozesse, hier Frequenzverdrei- und -vervierfachung, durch die Kombination positiv doppelbrechender BIBO-Kristalle mit negativ doppelbrechenden BBO-Kristallen realisiert. Durch Wahl eines geeigneten Typs der Wechselwirkung können beide Kristalle direkt hintereinander, ohne zwischengeschaltete Optiken angeordnet werden. Dadurch sind die Strahlen im zweiten Konverterkristall immer optimal zueinander justiert. Zur Abstimmung auf die jeweils anliegende Eingangswellenlänge werden beide Kristalle in der gleichen Raumebene gedreht. Dies gestattet die Anordnung aller Konversionsstufen übereinander auf der gleichen Mechanikplattform. Auf diese Weise wird eine äußerst kompakte Ausführung ermöglicht.

Ergebnisse und Anwendungen

Bei hinreichendem Abstimmbereich des Fundamentallasers deckt der Konverter einen Wellenlängenbereich zwischen 210 nm und 510 nm lückenlos ab. Mit der Anordnung wurden Ausgangsleistungen von 1100 mW bei Frequenzverdopplung, 500 mW bei Frequenzverdreifung und 200 mW bei Frequenzvervierfachung demonstriert. Dies entspricht Konversionseffizienzen von 50 Prozent, 20 Prozent und 10 Prozent.

Der hier vorgestellte Konverter dient als Modul eines Festkörperlaser-Systems mit einem Abstimmbereich von 210 nm bis 1000 nm. Das System ermöglicht das automatisierte Umschalten zwischen unterschiedlichen Wellenlängenbereichen und das computergesteuerte Einstellen der gewünschten Wellenlänge mit einer Genauigkeit von besser als 5 pm.

Einsatzgebiete des Systems sind High-Throughput-Untersuchungen in der Halbleiterindustrie, der Bioanalytik, den Material- und Werkstoffwissenschaften.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. B. Jungbluth, Tel.: -414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Kompaktes Modul zur Erzeugung von frequenzkonvertierter Strahlung von UV bis VIS.



Aufgabenstellung

Großflächige Strukturen rationeller zu polieren, zu entsichten oder zu strukturieren erfordert leistungsstarke Strahlquellen. Ziel der Arbeit war die Entwicklung eines fasergekoppelten, gütegeschalteten Festkörperlasers mit Pulsdauern im 100 ns Bereich. Die mittlere Leistung soll deutlich oberhalb der etwa 850 W liegen, die heute von kommerziell verfügbaren Strahlquellen bereitgestellt werden.

Vorgehensweise

Basierend auf einem am Fraunhofer ILT entwickelten gepulsten Nd:YAG-Laser mit 800 W Ausgangsleistung aus einer 600 μm Lichtleitfaser konnte durch die Kopplung zweier Lasermodule basierend auf diodengepumpten Laserstäben ein kompaktes, transportables Lasersystem für die industrielle Nutzung aufgebaut werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Der gütegeschaltete Laser erreicht bei Verwendung einer 400 μm Lichtleitfaser Pulsleistungen von 500 kW und 35 kHz Wiederholfrequenz bei einer Pulsdauer von etwa 100 ns. Dies entspricht einer mittleren Leistung von 1700 W am Lichtleitfaserausgang. Somit konnte die mittlere Leistung mehr als verdoppelt werden. Aufgrund der verbesserten Strahlqualität wird etwa die vierfache Leistungsdichte auf der Werkstückoberfläche erreicht. Aufgrund der hohen Leistungsfähigkeit des Systems können nun auch große Flächen wirtschaftlich bearbeitet werden.



Lasergehäuse.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. R. Meyer, Tel.: -197
rudolf.meyer@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

Aufgabenstellung

Die cw Ausgangsleistung von Faserlasern hat in den vergangenen Jahren rapide zugenommen. Die derzeit verfügbaren Hochleistungssysteme arbeiten jedoch »unpolarisiert«. Es war daher zu zeigen, ob sich linear polarisierte Laserstrahlung auch mit Faserlasern stabil bei Kilowatt-Ausgangsleistung erzeugen lässt.

Vorgehensweise

Es wurden vergleichende Untersuchungen zur Erzeugung linear polarisierter Laserstrahlung mit Faserlasern durchgeführt. Dabei wurden sowohl stufenindex- als auch mikrostrukturierte Fasern in verschiedenen Konfigurationen experimentell untersucht.

Im Rahmen der Arbeiten wurden Faserlaserresonatoren mit und ohne Resonator-internem Polarisator miteinander verglichen, und es wurde der Polarisationsgrad der Laserstrahlung bei verschiedenen Wickelradien gemessen.

Ergebnisse und Anwendungen

Sowohl mit Faserlaserresonatoren als auch mit Faserverstärkern wurde ein Polarisationsgrad über 97 Prozent erzielt. Die Ausgangsleistung belief sich auf 850 W, begrenzt durch die zur Verfügung stehende Pumpleistung. Der Polarisationszustand war dabei sehr stabil, so dass davon auszugehen ist, dass sich die polarisierte Ausgangsleistung auch in den Bereich über 1 kW steigern lässt.

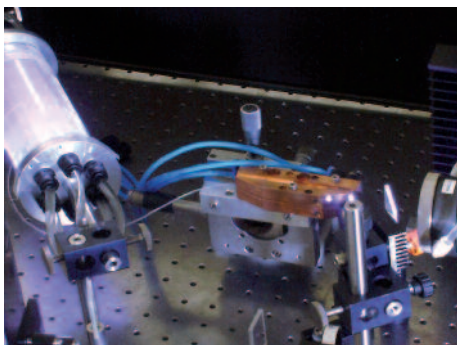
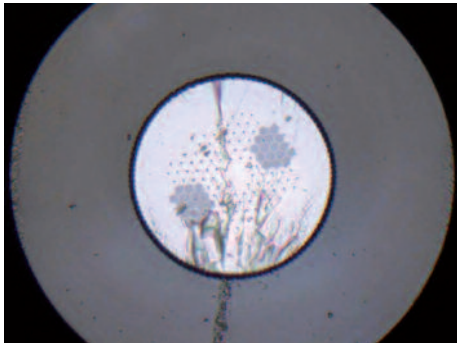
Die Experimente zeigten dabei eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der numerischen Simulation mittels eines im Fraunhofer ILT entwickelten Programms.

Das hier untersuchte Konzept erlaubt die Realisierung vollständig faserintegrierter Laserresonatoren mit Faser-Bragg-Gittern und einer Pumpeinkopplung über Schmelzkoppler.

Anwendungsfelder liegen neben der Materialbearbeitung, wo eine präzise Kontrolle der Polarisierung zu besseren und reproduzierbareren Ergebnissen führen kann, beispielsweise in der Frequenzkonversion. Darüber hinaus lassen sich polarisierte Laserstrahlen einfach mit einem Polarisationskoppler überlagern, z. B. zur Leistungsskalierung, zur Kombination zeitlich modulierter und unmodulierter Laserstrahlung oder um eine maßgeschneiderte Intensitätsverteilung im Fokus zu erzeugen.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. J. Geiger, Tel.: -123
jens.geiger@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Mikrostrukturierte Faser zur Erzeugung linearpolarisierter Laserstrahlung.

Unten: Versuchsaufbau für 850 W Ausgangsleistung.



Aufgabenstellung

Femtosekunden-Laserpulse werden beim Durchgang durch Optiken oder Reflexion an dielektrischen Spiegeln durch Laufzeitunterschiede (Gruppenlaufzeit-Dispersion GDD) zwischen den einzelnen spektralen Anteilen beeinflusst. So wird die Pulsdauer in Dielektrika durch positive GDD verlängert, was häufig durch optische Elemente mit einer definierten negativen GDD kompensiert werden muss. Eine besonders elegante Möglichkeit ist die Verwendung gekrümmter Spiegel, bei denen durch Variation der Schichtdicke dielektrischer Schichten eine beliebige GDD realisiert werden kann. Theoretisch lässt sich mit gekrümmten Spiegeln jede beliebige spektrale GDD realisieren. In der Praxis treten aber bei der Beschichtung kleine Schichtdickenschwankungen in der Größenordnung einer Atomlage auf, die die GDD so stark verändern, dass für viele Anwendungen eine Messung der GDD notwendig ist. Diese Messung soll reproduzierbar mit hoher Genauigkeit routinemäßig beim Hersteller erfolgen können.

Vorgehensweise

Die GDD wird durch Messung der bei der Reflexion an einem planen Spiegel auftretenden spektralen Phasenverschiebung mit einem Weißlichtinterferometer nach Michelson bestimmt. Bei gleicher Armlänge und identischem optischen Strahlengang entsteht ein Weißlicht-Interferenzmuster. Wird ein Spiegel verkippt, ergibt sich ein Streifenmuster, das bei planen Spiegeln äquidistant ist. Ein Schnitt durch dieses Interferenzmuster (Spalt) wird spektral aufgespalten (Bild oben). Werden in einen Arm

des Interferometers dispersive Spiegel eingebracht, wird eine wellenlängenabhängige Verschiebung der Interferenzstreifen beobachtet, aus der die GDD berechnet wird.

Dieses Messprinzip wurde gegenüber bisherigen Anordnungen dahingehend verbessert, dass die Lichtstärke des Aufbaus um mehrere Größenordnungen gesteigert wurde. Ein kompakter leicht bedienbarer mechanischer Aufbau (Bild unten) und ein rechnergestützter automatischer Messablauf inklusive Auswertung wurden realisiert.

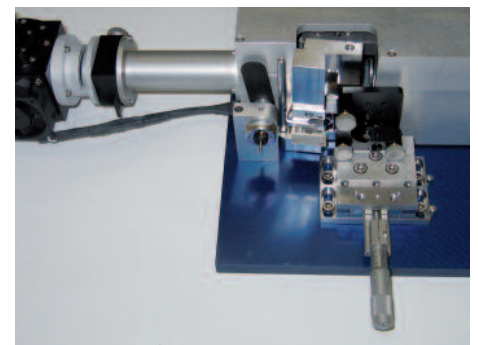
Ergebnisse und Anwendungen

Ein einfach zu handhabendes Gerät zur Messung der GDD von planen Spiegeln wurde entwickelt. Durch eine Schnellwechselvorrichtung für die Prüflinge, Belichtungszeiten im ms-Bereich und einen automatisierten Messablauf kann die Dispersion von Spiegeln schnell (~1 min) und reproduzierbar bestimmt werden.

Bisher wurden Messgeräte im Wellenlängenbereich 900 - 1100 nm, 500 - 950 nm und 250 - 800 nm für den Einsatz in der Produktion ausgeliefert.

Ansprechpartner

Dr. P. Russbueldt, Tel.: -303
peter.russbueldt@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Interferenzmuster eines dielektrischen Spiegels.
Unten: Weißlichtinterferometer für 900 - 1100 nm.

Aufgabenstellung

Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Verbundprojekts soll eine Laserplasmaquelle zur Erzeugung von XUV-Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 2,3 nm und 4,4 nm entwickelt werden. Dieser Spektralbereich wird als »Wasserfenster« bezeichnet und ermöglicht u. a. die Untersuchung biologischer Proben. Zur Plasmaerzeugung sind Laserpulse im sub-ns-Regime mit einer Energie von mehr als 100 mJ bei einer Pulsfrequenz von 1 kHz erforderlich.

Hier wird nun die Erzeugung und Vorverstärkung der Laserpulse auf etwa 2,5 mJ Pulsenergie vorgestellt. Die Pulsdauer soll zwischen 500 ps und 1 ns einstellbar sein.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit dem auf Nd:YAG basierendem regenerativen Verstärker werden Pulsenergien bis zu 2,7 mJ bei 1 kHz Pulsfrequenz und beugungsbegrenzter Strahlqualität erreicht. Die Pulsdauer ist zwischen 300 ps und 1,5 ns einstellbar.

Mit dem diodengeseedeten regenerativen Verstärker eröffnet sich eine Vielzahl von weiteren Anwendungsmöglichkeiten in der Mikromaterialbearbeitung. Derzeit wird angestrebt, das System bei identischer Pulsenergie auf 2 kHz zu erweitern und die untere Grenze des Pulsdauerbereichs auf < 100 ps zu verschieben.

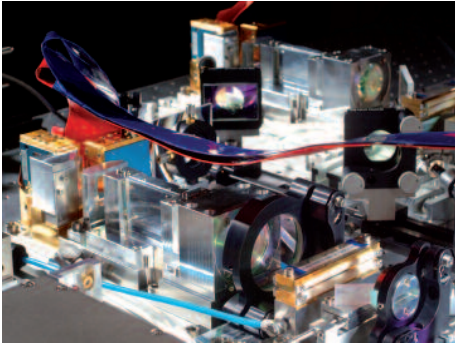
Vorgehensweise

Ein Laserdioden-basierter optischer Pulsgenerator mit einem nachgeschalteten regenerativen Verstärker erscheint für den geplanten Parameterbereich als bester Lösungsansatz.

Pulsdauer, -form und -energie der Seeddiode sind über Gain- und Biasstrom sowie einen chipinternen Modulator mit einer schekkartengroßen elektrischen Schaltung variierbar. Die so erzeugten Laserpulse werden mittels des regenerativen Verstärkers auf die geforderte Pulsenergie verstärkt. Faraday-Isolatoren schützen die Laserdiode vor rücklaufender Strahlung. Die Pulsfrequenz ist zwischen 0 und 10 kHz frei wählbar.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. D. Esser, Tel.: -437
dominik.esser@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Elektrisch gepulste Laserdiode mit Strahlformungs-optik.



Aufgabenstellung

Die Untersuchung der Parameter eines laserinduzierten Plasmas ist für das Verständnis physikalischer Prozesse in den angestrebten Anwendungen unerlässlich. Beim Einsatz verschiedener Werkstoffe in Kombination mit geringen Pulsenergien und damit geringen Emissionslichtstärken ist eine Analyse mit optischen Methoden sehr aufwendig. Eine direkte Analyse des Plasmastroms kann hierbei Aufschlüsse über die Ausbreitungsgeschwindigkeit, die zeitliche Entwicklung der Dichte des abgetragenen Materials sowie die Plasmatemperatur liefern.

Vorgehensweise

Es wurde eine robuste und in ihrer Funktionsweise simple Sonde entwickelt, mit der zeitaufgelöste Untersuchungen des Plasmas möglich sind. Die Messung der Dichte geschieht direkt über den Ionenstrom, welcher mittels eines gegen das Gehäuse negativ vorgespannten Faraday-Kondensators gemessen wird. Die Sonde wird hierbei direkt im Plasmastrom positioniert, wobei das Plasma durch eine definierte Öffnung im Gehäuse einströmt. Die Elektronen werden zum Gehäuse abgelenkt, während die Ionen auf den Faraday-Kondensator treffen und dort ein Stromsignal verursachen. Dieses Signal wird ortsnahe im Vakuum verstärkt, um Störungen bei der Übertragung zu minimieren. Es kann unmittelbar über ein Oszilloskop gemessen werden. Aus den Signalen wird direkt die Ausbreitungsgeschwindigkeit bestimmt, welche dann in die Ermittlung der Plasmadichte eingeht.

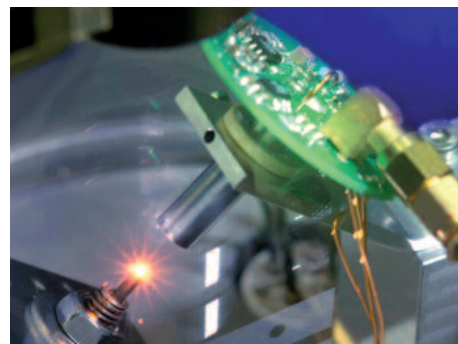
Ergebnisse und Anwendungen

Die entwickelte Sonde wurde zu projektbegleitenden Untersuchungen von Ablationsplasmen eingesetzt. Für verschiedene Werkstoffe wurden die Dichteentwicklungen von Plasmen untersucht, die durch ein ps-Lasersystem mit Burstlängen von 0,5 - 100 μ s erzeugt wurden. Hierbei konnten Schwankungen in der Dichte festgestellt werden, welche auf Abschirmungsphänomene zurückzuführen sind. Abhängigkeiten der Plasmamessparameter von den Laserparametern können, aufgrund der schnellen und direkten Messmethode, effektiv untersucht werden.

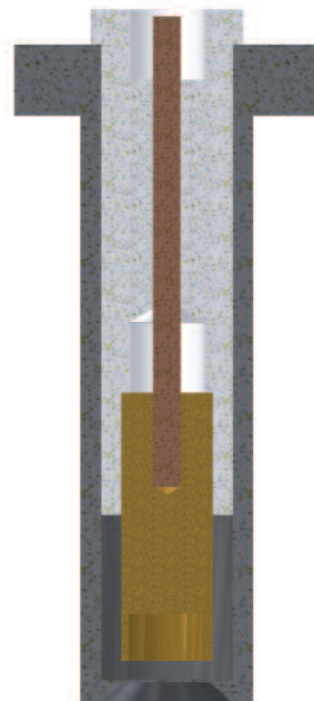
Das Konzept der Sonde ist flexibel hinsichtlich Baugröße und zeitlicher Auflösung und kann so an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Der robuste Aufbau der Sonde erlaubt einen Einsatz unter extremen Bedingungen, wie z. B. Vakuum oder korrodierende Plasmen. Durch ihre Kompaktheit lässt die Sonde sich gut in bestehende Anlagen integrieren.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. M. Strotkamp, Tel.: -379
michael.strotkamp@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Sonde im Laboraufbau.
Unten: CAD-Zeichnung, Schnittansicht der Sonde.



Aufgabenstellung

Der bereits am Fraunhofer ILT entwickelte Raytracer wird um die Strahlungspropagation in inhomogenen Medien mit räumlich verteiltem Brechungsindex erweitert.

Die strahlformende Eigenschaft des Materialdampfes bzw. Plasmas oder einer Überschallströmung des Arbeitsgases werden genauer untersucht.

Vorgehensweise

Zur Berechnung der geometrisch-optischen Ausbreitung von Laserstrahlung wird die Eikonalgleichung mit räumlich variierender Verteilung des Brechungsindex gelöst. Die Lichtstrahlen innerhalb inhomogener Medien sind gekrümmte Kurven und keine Geraden. Da Wellenfronten bei Durchgang durch ein Gebiet mit inhomogener Brechungsindexverteilung nicht eindeutig abgebildet werden bzw. sich selbst überlagern können, wird die Verteilung der Leistung im gebrochenen Laserstrahl auf einem kartesischen Gitter im Hintergrund projiziert und abgelegt. Der Raytracing-Algorithmus umfasst außerdem Methoden zur Interpolation punktweise eingegebener Verteilungen des Brechungsindex sowie eine adaptive Gitterverfeinerung (siehe Abbildung).

Ergebnisse und Anwendungen

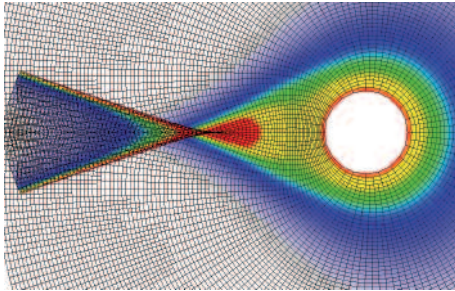
Die Ergebnisse einer Modellaufgabe für das Raytracing in inhomogenen Medien zeigen, wie an einer räumlich isotropen Verteilung des Brechungsindex die Strahlung gebrochen wird (Abbildung). Die Ergebnisse für das Raytracing in inhomogenen Medien zeigen, dass die Lichtstrahlen und Wellenfronten durch Änderungen der Dichte in der Überschallströmung des Schneidgases verändert werden.

Das bessere Verständnis über die Wirkung der Brechung in der Gasphase auf die Strahlform an der Absorptionsfront wird zur Auslegung von strahlformenden Optiken angewandt.

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

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. U. Eppelt, Tel.: -163
urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de
Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Lichtstrahlen und Wellenfronten bei Durchstrahlung einer kugelförmigen Verteilung des Brechungsindex.



Aufgabenstellung

Rekflometrie im streifenden Einfall mit extrem-ultravioletter Strahlung (XUV) im Wellenlängenbereich von 1 - 50 nm ermöglicht es, dünne Schichten auf der Nanometer Skala zu charakterisieren. Die Zusammensetzung, Dicke und Oberflächenrauigkeit eines Schichtsystems lassen sich indirekt aus dessen Reflektivitätskurve, durch die Kombination von nicht-linearen Regressionstechniken und dem Transfer-Matrix Formalismus bestimmen. Dabei kann die Reflektivität entweder als Funktion der einfallenden Wellenlänge bei festem Einfallswinkel oder umgekehrt bestimmt werden. Möglich wird sogar die Bestimmung einer effektiven Rauigkeit verborgener Schichten innerhalb des Systems. Diese Methode stellt eine Alternative zu bestehenden Verfahren dar und soll insbesondere den Einsatz von XUV-Strahlung in der Messtechnik etablieren. Bisher waren solche Messungen nur an Synchrotron-basierten Strahlquellen möglich. Insbesondere die Halbleiterindustrie wird durch den Einsatz von XUV-Messtechnik profitieren, die in einem weiten Bereich von Defekterkennung auf Wafern bis zur Charakterisierung optischer Komponenten im kurzwelligen Spektralbereich eingesetzt werden soll.

Vorgehensweise

Zur Auswertung der Reflektivitätskurven wurden eine Vielzahl von Simulationen durchgeführt und ein auf MATLAB basierendes Tool zur Modellierung von dünnen Schichten entwickelt. Dieses erlaubt es, die Reflektivitätskurven fast beliebiger Dünnschichtsysteme im Spektralbereich von 0,01 - 40 nm zu berechnen. Dabei können auch experimentspezifische Parameter,

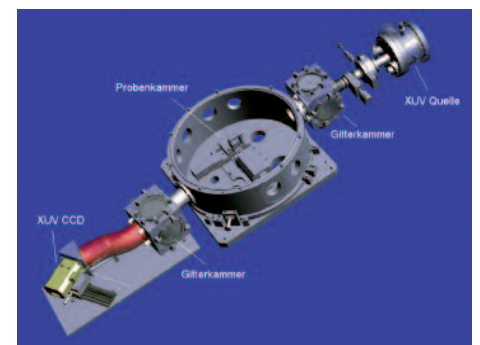
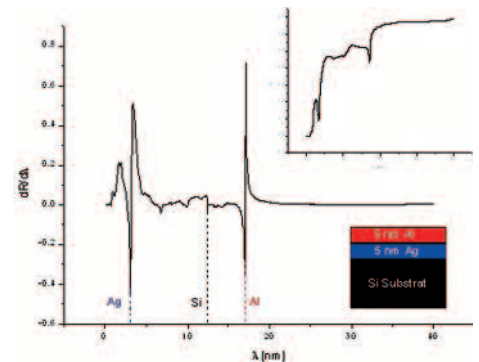
wie z. B. Detektor-Auflösungsvermögen und Strahldivergenz, mit berücksichtigt werden. Typische Schichtsysteme für XUV- Anwendungen bestehend aus Si, SiO₂, Zn, C, Mo, Ag etc. wurden simuliert.

Ergebnisse und Anwendungen

Es konnte gezeigt werden, dass das Rauschen einen direkten Einfluss auf die Präzision des Fitting-Algorithmus hat. So kann beispielsweise in einem einlagigen Dünnschichtsystem (< 10 nm Dicke) mit sub-nm Rauigkeiten, bei einer Messung der Reflektivität mit einer absoluten Genauigkeit von +/- 0,5 Prozent, die Schichtdicke sehr gut mit 0,2 Prozent Abweichung bestimmt werden. Die Rauigkeit der freiliegenden Schicht lässt sich mit einer Präzision von < 10 Prozent bestimmen und die der verborgenen um 20 Prozent. Anhand der elementspezifischen Absorptionskanten kann aus der Reflektivitätskurve die Materialzusammensetzung bestimmt werden. Aus den Peakhöhen lässt sich die Reihenfolge der Elemente im Schichtsystem ableiten. Ein XUV-Reflektometer wurde konzipiert und befindet sich bereits in der Fertigung.

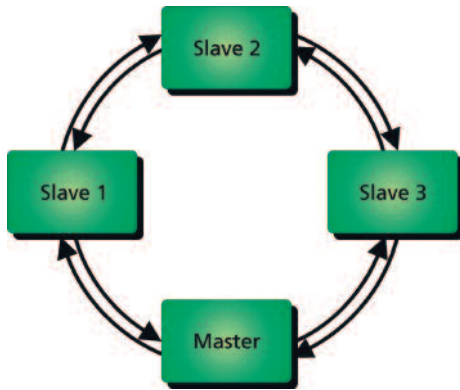
Ansprechpartner

M. Banyay M.E., Tel.: -313
matus.banyay@ilt.fraunhofer.de
Dr. L. Juschkin, Tel.: -313
larissa.juschkin@ilt.fraunhofer.de
Prof. Dr. P. Loosen, Tel.: -162
peter.loosen@ilt.fraunhofer.de



Oben: Wellenlängenabhängige Reflektivitätskurve eines Al/Ag/Si Schichtsystems.

Unten: 3-D-Modell des XUV-Reflektometers zur Vermessung dünner Schichten.



Oben: Doppelringtopologie des Systems.

Unten: Datenübertragung der physikalischen Schicht.

Aufgabenstellung

Zur Echtzeitreglung einer Plasmaanlage ist eine latenzarme Datenübertragung zu entwickeln, die die Übertragung von Ladungsmessgrößen im nC-Bereich und Ansteuerung von räumlich verteilten Leistungshalbleitern mit einer Zeitgenauigkeit < 10 ns ermöglicht. Die Datenübertragung soll robust gegen elektromagnetische Störungen sein und Potentialdifferenzen > 10 kV bei Spannungstransienten > 100 kV/ μ s überbrücken. Das Datenübertragungssystem soll modular erweiterbar sein, Selbstdiagnosefunktionalitäten und Redundanz aufweisen. Asynchrone Ereignisse sollen ebenso wie die Daten innerhalb von einer μ s ihre Senke erreichen.

Vorgehensweise

Basierend auf preiswerten und gut verfügbaren Gigabit-Ethernet Komponenten wird physikalisch ein Glasfaserdoppelring realisiert, der sich logisch als deterministischer, zentral gesteuerter Bus darstellt. Das schlanke Protokoll wird in programmierbarer Logik realisiert. Zur exakten Messung und Generierung von Zeiten verfügen alle Bus Teilnehmer über synchronisierte Uhren, deren Takt sich aus der synchronen Datenübertragung ableitet. Je nach Wahl der Glasfaserkomponenten sind Abstände zwischen den Teilnehmern bis zu mehreren Kilometern möglich, sofern die zusätzliche Verzögerung von 5 μ s/km durch die endliche Lichtgeschwindigkeit akzeptabel ist.

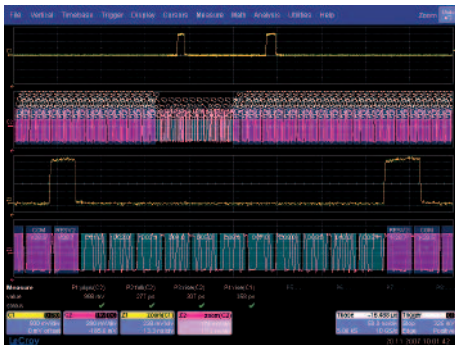
Ergebnisse und Anwendungen

In einem Prototyp wurde gezeigt, dass die physikalische Übertragungsschicht einwandfrei funktioniert und eine Signaldurchlaufverzögerung von 100 ns je Busteilnehmer ermöglicht. In einer Vorstufe des noch zu implementierenden Protokolls wurden analoge Messgrößen im Rahmen einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung übertragen.

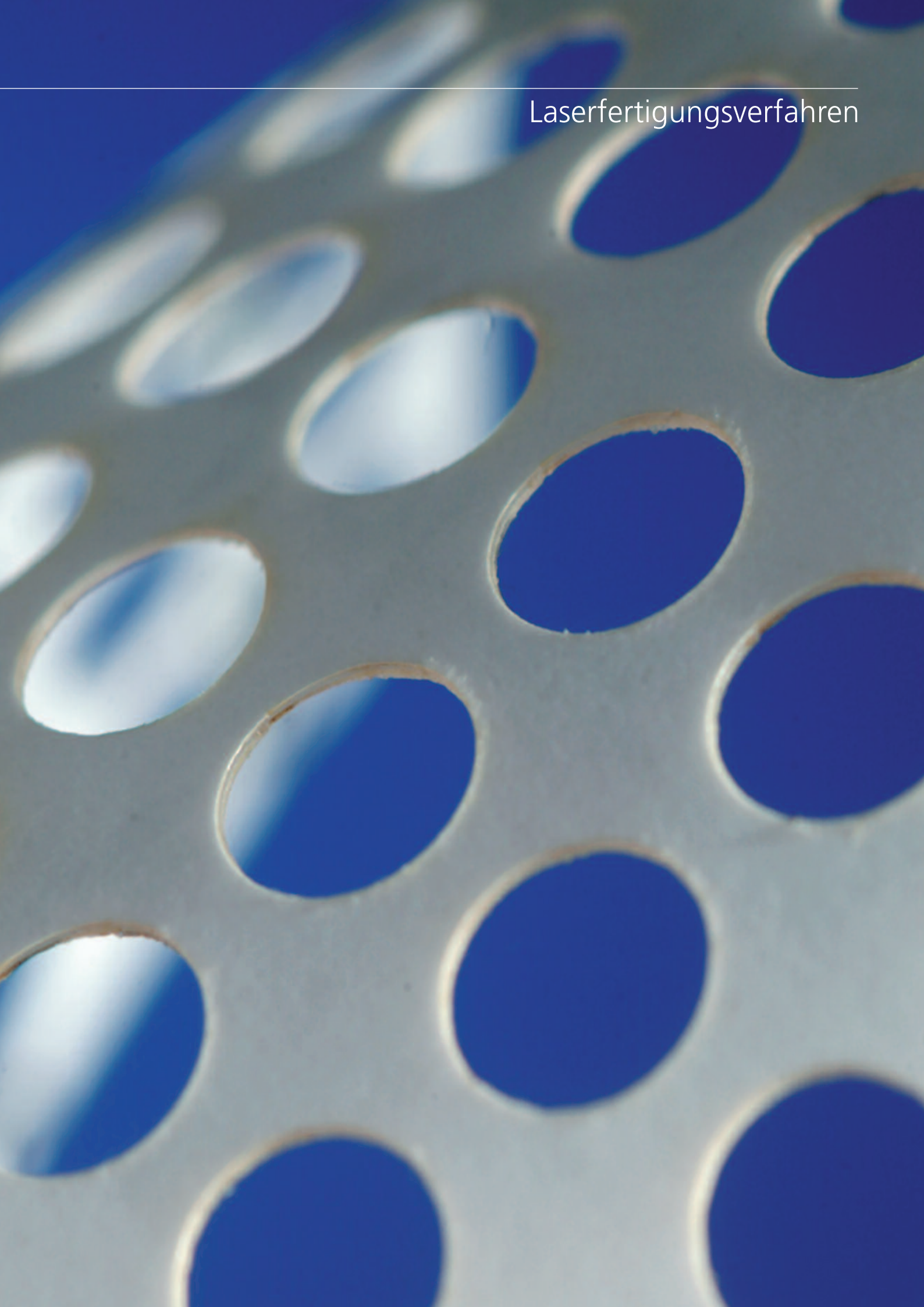
Durch seinen modularen Aufbau, die hohe Störfestigkeit und geringe Latenzzeit eignet sich dieses Datenübertragungssystem hervorragend für die Realisierung schneller Regelkreise an räumlich ausgedehnten Systemen. Auch zur sicheren Ansteuerung von Schaltungsteilen auf hohem Potential - etwa bei Umrichteranlagen zur Hochspannungsgleichstromübertragung - scheint dieses System geeignet.

Ansprechpartner

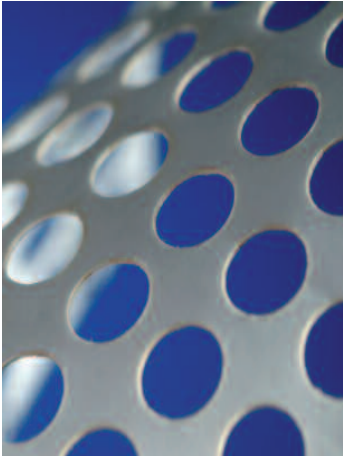
Dipl.-Ing. S. Probst, Tel.: -314
sven.probst@ilt.fraunhofer.de
Dr. W. Neff, Tel.: -142
willi.neff@ilt.fraunhofer.de



Laserfertigungsverfahren



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



Schneiden von Klebedichtungen für Mikrotiterplatten.



Computer Aided Robust Design am Beispiel des Laserstrahlschneidens	64	Modellierung der Laserstrahl-Behandlung von Schichten aus Nano-Dispersionen	78	Herstellung präziser Formbohrungen in Stahl	93
Dickblechschweißen mit Scheibenlaser	65	Neue Anwendungen für hochfeste Stahlbleche durch lokale Wärmebehandlung	79	In-situ Bestimmung der Bohrungstiefe beim Perkussionsbohren	94
ZE-Mg Bleche: Überlappschweißen mit Nullspalt	66	Laserpolieren von Glasformen	80	Düsenbohrungen höchster Präzision in Nickelbasis-Superlegierungen Inconel® 690	95
Festigkeitsuntersuchungen an CO ₂ -Laser-MAG Hybrid-schweißungen	67	Zweiglanzeffekt durch Laserpolieren	81	Prozessgaseinfluss beim Perkussionsbohren	96
Physikalisches Modell zur Spaltüberbrückbarkeit und Wurzelausbildung bei Laserschweißprozessen	68	Laserstrahl-Mikroschweißen von 2-D-Lichtwellenleiterarrays	82	Plasmadiagnose beim Laserstrahlbohren	97
Simulation Schweißen	69	Laserstrahlunterstütztes Bonden von Silizium und Glas für das Wafer Level-, MEMS- und Display-Packaging	83	Bohren mit effizientem Austrieb von Schmelze	98
Verzug beim Schweißen: strukturelle Stabilität von reduzierten Modellen	70	Laserstrahlunterstütztes Bonden von Silizium-Silizium für das Wafer Level Chip- und MEMS-Packaging	84	Mikro-Perforation von Ballonkathetern	99
Modellierung der Absorption von Laserstrahlung an metallischen Oberflächen	71	Schweißen von Glas-Glas und Glas-Silizium mit Femtosekunden Laserstrahlung	85	Diagnose der ultraschnellen, laserinduzierten Schmelzdynamik von Metallen	100
Direkte Simulation der Maxwell-Gleichungen	72	Laserstrahllöten von Gläsern mittels Glaslot	86	Effizienzsteigerung beim Mikroabtrag mit Festkörperlasern durch Tailored Pulse Trains	101
Mikro-Laserstrahl-Dispergieren von röntgensichtbaren Markierungen auf Stents	73	Überlappschweißen von transparenten PE-Folien mit CO ₂ -Laserstrahlung	87	Künstliche Mikrohaare für sensorische Anwendungen	102
Verfahrenstechnik zum Auftragschweißen spröder intermetallischer Werkstoffe	74	TWIST - neues Verfahren für das Mikro-Schweißen von Kunststoffen	88	Periodische Nanostrukturen mittels Dreistrahlinterferenztechnik	103
Laserstrahl-Auftragschweißen von Gitterstrukturen auf Hochdruckturbinenteilen	75	Laserunterstütztes Fügen von Kunststoffen mit Metall- und Keramikbauteilen	89	3-dimensionale Mikro- und Nanostrukturen im Inneren von Saphir durch selektives, laserinduziertes Ätzen	104
Generative Fertigung von Aluminiumbauteilen für die Serienproduktion durch Selective Laser Melting	76	Schneiden von Klebedichtungen für Mikrotiterplatten	90	Brechungsindexänderung in Gläsern durch Femtosekundenlaser Doppelpulse	105
Erhöhung der Aufbaurate beim Selective Laser Melting (SLM)	77	Feinschneiden	91	Laser-induzierter Vorwärtstransfer von Proteinen, Zellen und Wirkstoffen	106
		Feinschneiden von Silizium	92		

Aufgabenstellung

Die bestehenden hohen Anforderungen an Qualität und Zuverlässigkeit von Produkten und Herstellungsverfahren erfordern den Einsatz robuster Prozesse. Unter Berücksichtigung von Toleranzen und unvermeidlichen Streuungen in der Produktion soll bereits der an Modelle und Simulationen gekoppelte Entwurfprozess entsprechend robust ausgeführt werden. Unter anderem soll dies am Beispiel des Laserstrahlschneidens demonstriert werden.

Vorgehensweise

Für die Entwicklung effizienter Modellierungs- und Simulationsverfahren, die die Auswirkungen schwankender Parameter erfassen, werden zur Validierung und als ergänzende Datenbasis experimentelle Ergebnisse des Schneidprozesses benötigt. Dazu wird eine umfassende Diagnose von Einflussgrößen des Prozesses, vom Prozess selbst und vom Bearbeitungsergebnis durchgeführt. In Schneiduntersuchungen werden simultan hochzeit aufgelöst die laterale Bewegung des Schneidkopfes, der Düsenabstand, die Laserstrahlung, thermische Prozessemissionen und der Schnittfugenverlauf aufgezeichnet, um über eine statistische Auswertung Korrelationen zu Ergebnisgrößen wie die Rauheit der Schnittkanten und der Fugegeometrie zu erhalten.

Ergebnisse und Anwendungen

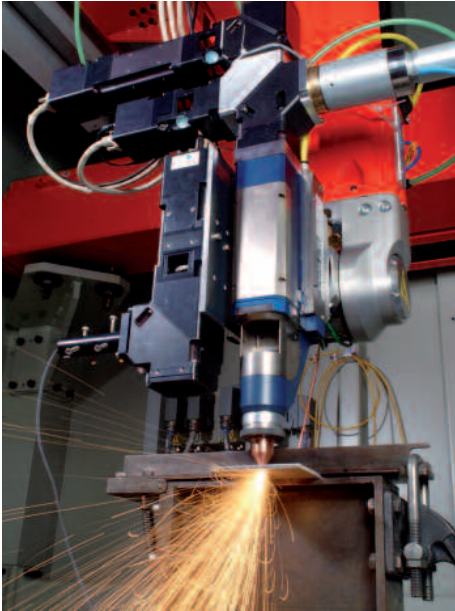
Es stehen die ersten systematisch erfassten Messdaten zur Verfügung, die in die Bildung von Metamodellen und in Methoden zur Modellreduktion einfließen und als Grundlage dienen für die notwendige Weiterentwicklung mathematischer Methoden zur schnelleren Berechnung oder zur Charakterisierung von Streuungen.

Über die genannte Zielsetzung hinaus liefert die eingesetzte Messtechnik zur Erfassung des dynamischen Verhaltens von Laser und Anlage wichtige ergänzende Informationen für die Prozessentwicklung beim Laserstrahlschneiden mit hochbrillanten Strahlquellen.

Die Arbeiten werden von der Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen des MAVO-Projekts »CAROD - Computer Aided Robust Design« gefördert (Koordination: Fraunhofer SCAI).

Ansprechpartner

Dr. F. Schneider, Tel.: -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de
Dr. M. Niessen, Tel.: -307
markus.niessen@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petrting@ilt.fraunhofer.de



Anlagen- und Prozessdiagnostik
beim Laserstrahlschneiden.

Aufgabenstellung

Mit einem von der Fa. Trumpf Lasertechnik zur Verfügung gestellten Scheibenlaser (TruDisk 8002) mit einer maximalen Ausgangsleistung von 8 kW werden Schweißversuche an Stahlwerkstoffen bis zu 10 mm Wandstärke durchgeführt.

Vorgehensweise

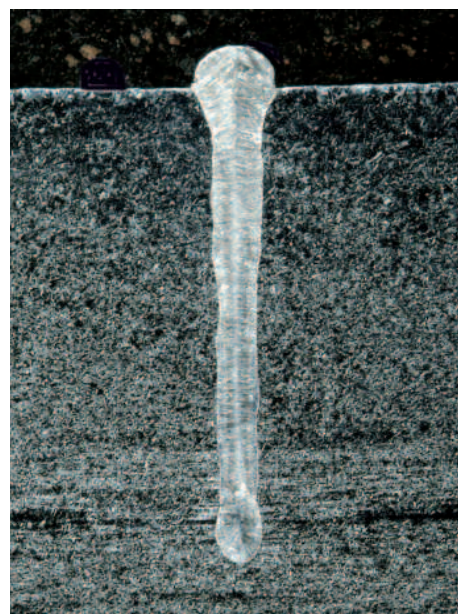
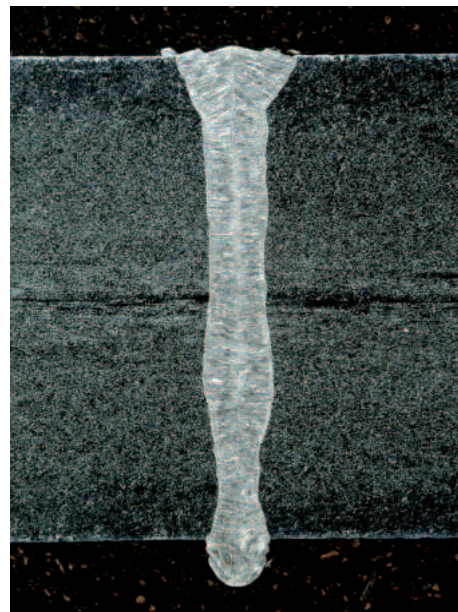
Über einen Lichtwellenleiter (20 m) mit einem Durchmesser von 200 μm wird die Laserleistung der Kollimation und Fokussieroptik mit jeweils einer Brennweite von $f = 200\text{ mm}$ zugeführt, sodass durch eine 1:1 Abbildung der Faser ein Fokusedurchmesser von 200 μm entsteht. Mit einer Fokussierbrennweite $f = 300\text{ mm}$ und dem daraus resultierenden Fokusedurchmesser von 300 μm wurden ebenfalls Schweißungen durchgeführt. Bei einer maximalen Laserleistung von 8 kW am Werkstück wurden Einschweißkurven an 10 mm dicken Bau- und Edelstahlblechen erstellt. Als Schutzgas wurde der Prozesszone Argon, wahlweise über eine Off-Axis- oder über eine Koaxialdüse, zugeführt.

Ergebnisse und Anwendungen

Über einen Fokusbereich von + 2 mm bis zu - 7 mm wurden für unterschiedliche Geschwindigkeiten die Einschweißtiefen ermittelt. Durch die hohe Brillanz des Lasers konnten sehr schlanke dem Elektronenstrahlschweißen ähnliche Schweißnähte erzeugt werden. Für Fokuslagen 0 mm und tiefer wurden glatte gleichmäßige Oberrauen erzeugt, während es im positiven Fokusbereich $> 0\text{ mm}$ für beide Werkstoffe und insbesondere bei Verwendung der Off-Axis-Düse zu Auswürfen und Unregelmäßigkeiten der Oberraupe kam. Die Verwendung einer koaxialen Gasdüse führte zu einer höheren Einschweißtiefe bei gleichen Gasdurchflüssen. Außerdem verbessert sich die Nahtqualität und die Qualitätssicherheit des Schweißprozesses.

Ansprechpartner

V. Nazery Goneghany, Tel.: -159
vahid.nazery@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. N. Wolf, Tel.: -448
norbert.wolf@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Schweißungen in Edelstahl 10 mm, Laserleistung 8 kW.
Oben: Durchschweißung, Vorschub 3 m/min.
Unten: Einschweißung, Vorschub 10 m/min, Tiefe 5,6 mm.

Aufgabenstellung

Elektrolytisch verzinktes Stahlblech ist ein im Automobilbau weit verbreiteter Werkstoff. Aufdampfen von Magnesium als zusätzliche Beschichtung, die thermisch in den Zink einlegiert wird, ermöglicht eine Reduzierung der Zinkbeschichtung unter Beibehaltung der guten Korrosionseigenschaften. Mittels Laserstrahlschweißen soll die Schweißeignung dieser Bleche im Überlappstoß untersucht werden.

Vorgehensweise

Die Versuche wurden mit einem 8 kW Scheibenlaser (TruDisk 8002) der Fa. Trumpf durchgeführt. Über einen Lichtwellenleiter mit 200 µm Durchmesser und einer Länge von 20 m wurde die Laserleistung zur Bearbeitungsstation geführt und durch eine 1:1 Abbildung fokussiert. Die mit Zn-Beschichtungen von 2,3 µm, 2,5 µm, 3,1 µm und 3,5 µm und einer 0,3 µm dicken Mg-Beschichtung versehenen 0,77 mm dicken Bleche wurden mittels I-Naht am Überlappstoß ohne Spalt, mit innenliegender »Gutseite« (Mg-Beschichtung), verschweißt. Die im Leistungsbereich von 4 kW und 6 kW bis zu einer Vorschubgeschwindigkeit von 10 m/min verschweißten Bleche wurden, vergleichend zueinander und mit einem Referenzwerkstoff mit einer 7,5 µm starken Zn-Beschichtung, auf ihren Porenanteil untersucht.

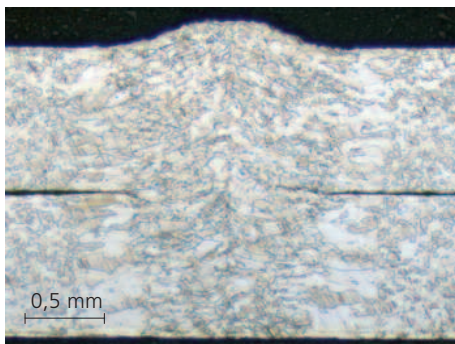
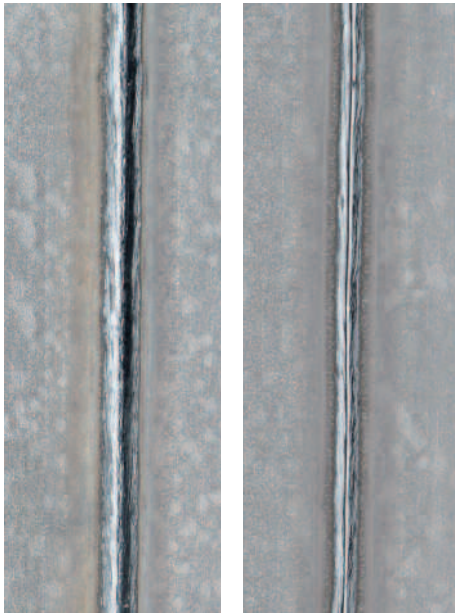
Ergebnisse und Anwendungen

Generell trifft die Aussage zu: Je dünner die Zn-Beschichtung ist, desto geringer die Porengröße und -anzahl. In Abhängigkeit der Laserleistung und bei gleichen Geschwindigkeiten zeigt sich, dass durch das größere Schmelzvolumen (Zn-Dampf) bei 6 kW die Tendenz zu einer höheren Porenanzahl besteht. Für eine Beschichtungsstärke von 3,5 µm, eine Laserleistung von 4 kW und eine Geschwindigkeit von 5 m/min sind dies ca. 3,8 Prozent und bei 6 kW ca. 6,4 Prozent der gesamten Anbindungsfläche. Poren befinden sich hauptsächlich im Übergangsbereich der beiden Fügepartner. Eine angepasste Laserleistung und Geschwindigkeit führen zu einer Reduzierung der Poren. Gegenüber dem Referenzwerkstoff, der durch die dickere Zn-Beschichtung fast über den gesamten untersuchten Bereich zu starken Auswürfen und hohem Porenanteil neigt, sind optisch deutlich bessere und qualitativ höherwertige Schweißverbindungen erzielbar. An den ZE-Mg Blechen konnten bis zu einer Geschwindigkeit von 10 m/min für alle Durchschweißungen optisch gute Schweißnähte (Oberraupe/Wurzel) erzielt werden.

Die Versuchsbleche wurden dem Fraunhofer ILT vom DOC Dortmunder Oberflächenzentrum, ein Unternehmen der ThyssenKrupp Steel, das diese Beschichtungsart für diese Bleche entwickelt hat, zur Verfügung gestellt.

Ansprechpartner

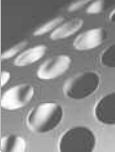
Dipl.-Ing. N. Wolf, Tel.: -448
norbert.wolf@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Überlappschweißnaht in ZE-Mg Blechen (Zn-Schichtdicke 2,5 µm), Laserleistung: 6 kW, Vorschub: 10 m/min.

Oben: Nahtoberraupe (links) und -wurzel (rechts).

Unten: Querschliff der Naht.



Aufgabenstellung

Laser-MAG Hybridschweißen wird bereits in vielen Bereichen erfolgreich eingesetzt, jedoch besteht für den Blechdickenbereich größer 15 mm noch erheblicher Entwicklungsbedarf. Im Rahmen des europäischen RFCS-Vorhabens HYBLAS wurden die Verfahrensprozeduren für das Laserhybridschweißen für Stähle mit Streckgrenzen bis zu 690 MPa weiter entwickelt und durch umfangreiche mechanisch-technologische Untersuchungen auf ihre Eignung getestet.

Vorgehensweise

Für die Untersuchungen im Blechdickenbereich von 12 bis 25 mm wurden die mit einer V- oder Y-förmigen Nahtvorbereitung versehenen Platten der Werkstoffe EH 36 und RQT 701 einlagig im Stumpfstoß mit dem Laser-MAG Hybridverfahren verschweißt. Eingesetzt wurden hierfür ein 20 kW CO₂-Laser der Firma Trumpf, eine programmierbare Schweißstromquelle der Firma Fronius sowie der vom Fraunhofer ILT entwickelte Hybridschweißkopf mit einer sowohl den Laserstrahl als auch den MAG-Prozess integrierenden Düse. Die Schweißmuster wurden nach erfolgreicher Prozessoptimierung, die insbesondere für die dickeren Wandstärken erforderlich war, hergestellt. Die dynamischen Festigkeitsuntersuchungen wurden als 4-Punkt-Biegeversuche und Zugversuche am IEHK der RWTH Aachen und bei der Fa. CORUS in Rotherham (UK) - beides Partner im HYBLAS-Projekt - durchgeführt.

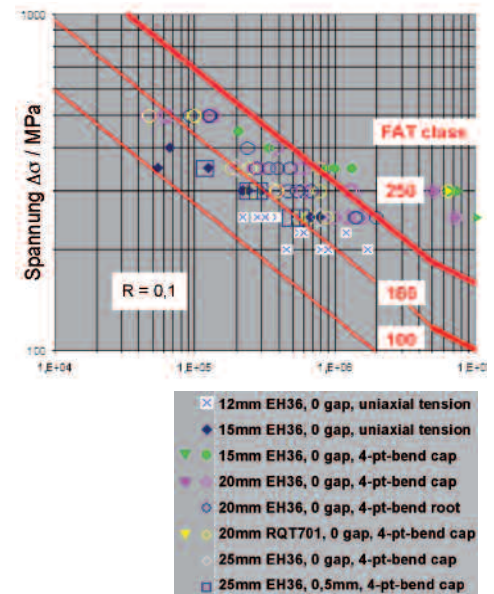
Ergebnisse und Anwendungen

Die Untersuchungen ergeben bis einschließlich zu einer Wandstärke von 25 mm exzellente Schwingungsfestigkeitswerte entsprechend dem Euro-code 3, die alle oberhalb der FAT Class 100 liegen und bis in die FAT Class 250 reichen. Aufgrund dieser hohen Nahtqualität und weiterer signifikanter Fortschritte hinsichtlich einlagiger Spaltüberbrückbarkeit und Schweißgeschwindigkeit und damit hinsichtlich hoher Produktivität und geringem Verzug wird das Laser-MAG Hybrid-schweißverfahren nun auch bei dickeren Materialstärken für hoch beanspruchte Schweißverbindungen interessant. Einsatzbereiche sind der Schwermaschinenfahrzeugbau (z. B. Erdbewegungsmaschinen), der Schiffbau, der Rohrleitungsbau, die Off-Shore-Technik und der Sondermaschinenbau.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU Projekts »Economical and Safe Laser Hybrid Welding of Structural Steel - HYBLAS« durchgeführt, welches vom Research Fund of Coal and Steel gefördert wurde.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. N. Wolf, Tel.: -448
norbert.wolf@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Schwingungsfestigkeitsdiagramm für verschiedene Blechdicken.

Aufgabenstellung

Bisher wird die maximale Spaltüberbrückbarkeit beim Laserschweißen in rein empirischen Versuchsreihen ermittelt. Ein physikalisches Modell soll zukünftig eine fundierte Abschätzung und Optimierung der bezüglich der Spaltüberbrückbarkeit erreichbaren Prozessgrenzen ermöglichen.

Vorgehensweise

Die Energie- und Massenbilanz in der Schweißfuge können durch eine geeignete Wahl von Laserleistung, Fokussierungsparametern und Drahtvorschub des Zusatzwerkstoffes optimiert werden. Der begrenzende Effekt hinsichtlich der Spaltüberbrückbarkeit besteht darin, das erforderliche Schmelzvolumen im Schweißspalt zu halten. Dafür ist ganz wesentlich die Druckbilanz im Wurzelbereich der Naht verantwortlich. Diese Bilanz entscheidet über die Ausprägung der Wurzel, die zwischen den beiden Extremfällen - einer Überhöhung bis hin zum Durchtropfen oder einem Rückfall mit entsprechender Kerbwirkung - variieren kann. Beim Dickblechschweißen von Stahl tragen zur Druckbilanz vor allem die Schwerkraft auf die Schmelzmasse, der dynamische Druck der Schmelzströmung und der die Schmelze stützende Kapillardruck aufgrund der Oberflächenspannung der Wurzel bei.

Ergebnisse und Anwendungen

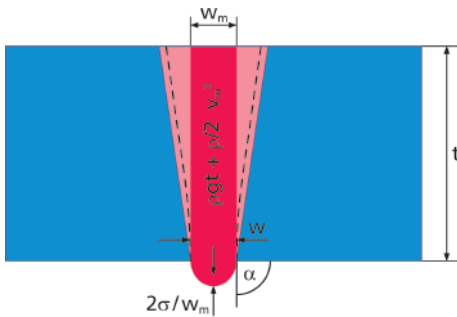
Die maximal überbrückbare Spaltbreite hängt von der Materialstärke, der Oberflächenspannung im Wurzelbereich sowie der Dichte und der abwärtsgerichteten Strömungsgeschwindigkeit der Schmelze, die ein Maß für die Prozessdynamik ist, ab.

Das entwickelte Modell erklärt die quantitativen Abhängigkeiten der Spaltüberbrückbarkeit von der Prozessdynamik (Strömungsgeschwindigkeit), der Oxidation der Wurzel und der Blechdicke. Die Wirkung von Maßnahmen wie Wurzelschutzgas und Schweißen in Querlage wird nun auch quantitativ einschätzbar. Vergleiche von theoretischen und experimentellen Ergebnissen am Beispiel des Laser-MAG Hybridschweißens von hochfesten Stählen der Dicke 15 mm belegen die Aussagekraft des entwickelten Formalismus.

Prinzipiell kann auch der Lichtbogen-druck in das Modell aufgenommen werden, selbst wenn er sich im bisher untersuchten Parameterbereich als vernachlässigbar erwiesen hat. Das Modell ist auch auf viele andere Schweißprozesse mit Wurzelbildung übertragbar und erhöht damit die Sicherheit bei deren Auslegung und Optimierung.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. N. Wolf, Tel.: -448
norbert.wolf@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Druckbilanz des Wurzelbereichs.



Aufgabenstellung

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

Vorgehensweise

Um eine neue Qualität des gekoppelten Modells zu erreichen, wird ein tieferes Verständnis der Wechselwirkung von Temperatur und Spannung beim Erstarren und bei der Gefügebildung erarbeitet. Die Wechselwirkung erfolgt auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen, die von der Gefügebildung auf der Skala einer Keimbildung und von Modellen des Schweißens auf der Skala der thermischen Eindringtiefe bestimmt sind. Das dynamische Modell des Schweißens und das thermo-mechanische Modell der Spannungen werden zunächst auf die sensitive Abhängigkeit der Ergebnisgrößen von räumlich variierenden Materialeigenschaften und Spannungen aus der Vorgeschichte untersucht. Ein Teilaspekt besteht darin, die Bereiche qualitativ unterschiedlicher Lösungseigenschaften (Prozessdomänen) der Teilmodelle im Hinblick auf deren Kopplung zu identifizieren. Das Modell zum Schweißen wird um die mehrfache Reflexion in der Kapillare und um räumlich dreidimensionale Eigenschaften erweitert.

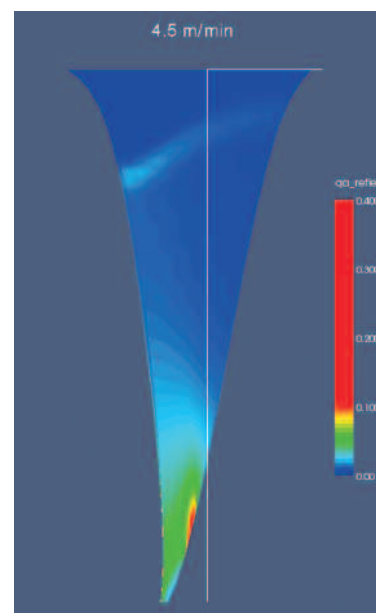
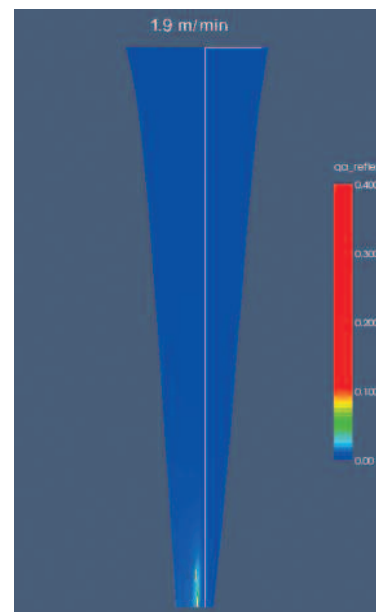
Ergebnisse und Anwendungen

Das bestehende Prozessmodell zum Schweißen beschreibt die Form der Kapillare und das Temperaturfeld im umgebenden Material beim Ein- und Durchschweißen. Die Kapillare ist als freie Oberfläche bzw. Absorptions- und Reflexionsfront für die Laserstrahlung ein Teil der Lösung und wird nicht vorgegeben. Mehrfache Reflexionen der Laserstrahlung in der Kapillare werden mit dem vorliegenden Raytracer berechnet. Als Ergebnis wird der Zusammenhang der Laser- und Schweißparameter mit dem Auftreten von Mehrfachreflexionen bestimmt (Bild oben). Die räumlich verteilte Temperatur im festen Material wird durch analytische Lösungen der 2-D-Wärmeleitung im Bereich der steilen Kapillärwände und 3-D-Wärmeleitung am Fuß der Kapillaren bestimmt.

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

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. S. Pfeiffer, Tel.: -153
stefan.pfeiffer@ilt.fraunhofer.de
 Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Reflexion in der Kapillare: kleiner Vorschub.

Unten: Reflexion in der Kapillare: großer Vorschub.

Aufgabenstellung

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

Vorgehensweise

Die Untersuchung erfolgt mit Fokussierung auf drei industrierelevante Bauteile (Getriebezahnrad, Mikrobauerteil, Karosserie-Komponente) und drei Stahl-Werkstoffe. Die numerischen und analytischen Lösungen für Verzug und Eigenspannungen werden zunächst an Bauteilen mit reduzierter geometrischer Kompliziertheit verglichen. Die Sensitivität der Simulationsergebnisse von den Parametern und der Struktur des Modells wird untersucht. Um eine Wärmequelle für die FEM-Schweißverzugs-Simulationen zu gewinnen, wird eine effiziente Simulation des reduzierten Prozessmodells für das Ein- und Durchschweißen entwickelt.

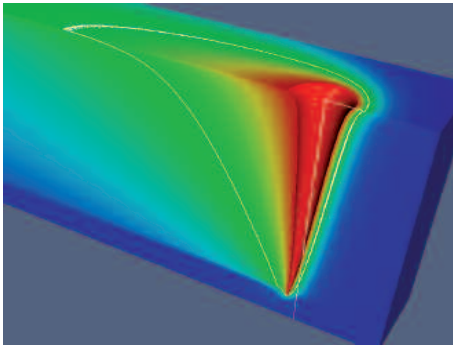
Ergebnisse und Anwendungen

Die bestehende Simulation des Prozessmodells zum Schweißen wird analysiert, um die Eigenschaften der Wärmequelle für die Kopplung des Prozessmodells an die thermomechanische Berechnung genauer beschreiben zu können. Als Prozessdomänen werden der Übergang vom Wärmeleitungsschweißen zum Einschweißen, der Übergang vom Einschweißen zum Tiefschweißen und der Übergang vom Tiefschweißen zum Durchschweißen identifiziert. Insbesondere wird die Analyse der Fragestellung begonnen, ob die geeignete Wahl einer Wärmequelle für die thermomechanische Berechnung von der vorliegenden Prozessdomäne abhängt oder aus der geometrischen Form der Schweißnaht allein abgelesen werden kann.

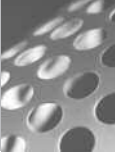
Die vorgestellten Arbeiten werden von der Forschungsvereinigung Stahlanwendung FOSTA gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. S. Pfeiffer, Tel.: -153
stefan.pfeiffer@ilt.fraunhofer.de
Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Kapillarform, Temperaturfeld und Schmelzbadisotherme aus dem reduzierten Prozessmodell für das Einschweißen.



Aufgabenstellung

Die Absorption von Laserstrahlung auf metallischen Oberflächen hängt nicht nur von den optischen Eigenschaften des Metalls ab, sondern sehr empfindlich vom Winkel des Poyntingvektors relativ zur Metalloberfläche. Dies ist insbesondere beim Schneiden und Schweißen mit Laserstrahlung von Bedeutung, da hierbei Auftreffwinkel erreicht werden, die dem Brewsterwinkel entsprechen. Dabei tritt insbesondere ein großer Unterschied der Absorption in Abhängigkeit von der Polarisation der Strahlung auf. Zur Berechnung der Absorption werden üblicherweise die Fresnelformeln verwendet. Diese gelten aber streng nur für ebene Wellen und ebene Oberflächen. Um die Gültigkeitsgrenzen der Fresnelformeln und mögliche Abweichungen für den Fall Gaußscher Strahlen zu bestimmen, wird die Wellengleichung für die Ausbreitung eines Strahlungsfeldes mit Gaußprofil gelöst.

Vorgehensweise

Für die Lösung der Maxwellgleichungen wird ein zeitunabhängiges zwei-dimensionales Wide-Angle Beam-Propagation-Verfahren (BPM) verwendet. Bei diesem Verfahren wird die wellenförmige Ausbreitung in der Hauptausbreitungsrichtung durch einen SVE-Ansatz höherer Ordnung separiert, so dass die Ortsauflösung des numerischen Verfahrens deutlich reduziert werden kann. In der Hauptausbreitungsrichtung z sind alle Materialeigenschaften konstant, in y -Richtung zusätzlich auch alle Feldgrößen. Die Wellengleichung

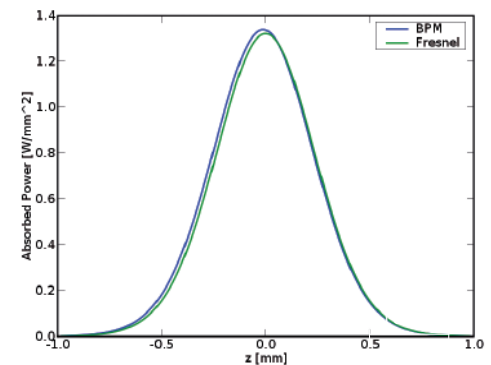
für die E_y -Komponente beschreibt den Fall senkrechter Polarisation, die Wellengleichung für die H_y -Komponente die parallele Polarisation. Die jeweils beiden anderen von Null verschiedenen Feldkomponenten können dann aus den Maxwellgleichungen berechnet werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Grafik zeigt die Absorption entlang einer metallischen Oberfläche berechnet mit den Fresnelformeln unter Verwendung des Poyntingvektors zur Bestimmung des Auftreffwinkels und die Absorption, wie sie das BPM-Verfahren liefert. Der mittlere Auftreffwinkel beträgt 87° . Es ergeben sich nur geringe Unterschiede zwischen Fresnelformeln und BPM-Lösung.

Ansprechpartner

Dr. R. Wester, Tel.: -401
rolf.wester@ilt.fraunhofer.de
Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Absorption entlang einer metallischen Oberfläche von p-polarisierter Strahlung. Der mittlere Auftreffwinkel beträgt 87° , die Wellenlänge $1,06 \mu\text{m}$. Der komplexe Brechungsindex ist $20-i20$.

Aufgabenstellung

An der Absorptionsfront, wie der Bohrungswand, der Oberfläche der Kapillare beim Schweißen oder der Schneidfront wird die Laserstrahlung reflektiert, absorbiert und gebeugt. Reflexion, Absorption und Beugung verändern Richtung und Betrag des Poyntingvektors und damit das Werkzeug Laserstrahl.

Die strahlformende Wirkung der Absorptionsfront auf die Laserstrahlung wird unter Berücksichtigung der Welleneigenschaften und der Randbedingungen stark absorbierender Medien genauer untersucht.

Vorgehensweise

Zur rigorosen Lösung der Maxwellgleichungen wird das Finite-Difference-Time-Domain-Verfahren (FDTD-Verfahren) angewandt. Die Materialgleichungen von Drude und Lorentz werden zur Beschreibung der optischen Eigenschaften des Materials eingesetzt. Für die Bedingungen am äußeren Rand des Berechnungsgebiets werden sogenannte absorbierende Randbedingungen vom PML-Typ (perfectly matching layer) bzw. periodische Randbedingungen gewählt.

Oben: Reflexionsgrad über Einfallswinkel.
Mitte: Feldamplitude des elektrischen Felds.
Unten: FDTD Schema der numerischen Berechnung.

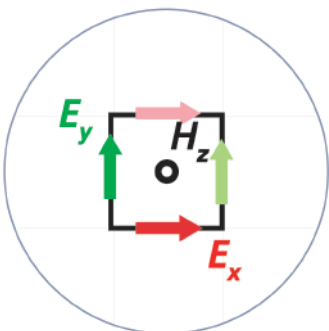
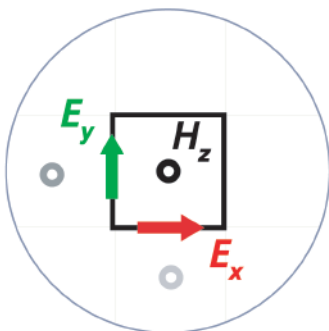
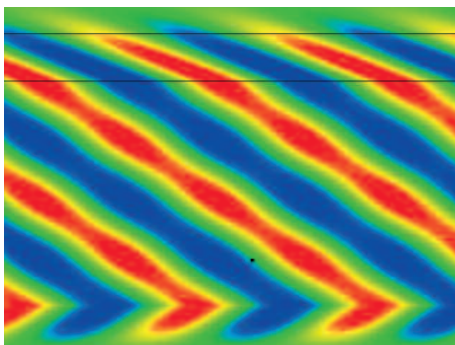
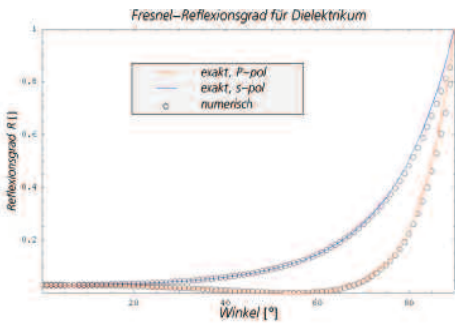
Ergebnisse und Anwendungen

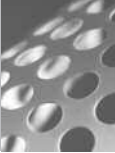
Reflexion, Transmission und Absorption einer ebenen Welle auf einer ebenen Grenzfläche sind analytisch angebar. Die Genauigkeit der numerischen Lösung wird durch Reproduktion der Fresnel Formeln überprüft (Bild oben). Zur rigorosen Lösung der Maxwellgleichung wird ein geschachteltes Gitter zur Diskretisierung eingefügt, auf dem elektrische (E) bzw. magnetische (H) Feldkomponenten abgelegt sind. Die Diskretisierung der Evolutionsgleichung des elektrischen und magnetischen Feldes ist im unteren Bild dargestellt. Die Feldamplitude des elektrischen Feldes ist die Lösung der betrachteten Modellaufgabe (Bild Mitte). Durch Vergleich von Lösungen aus der FDTD-Methode mit Boundary Element Methoden (BEM) und Methoden, die höhere Ordnungen der Slow Varying Envelope (SVE) Näherung berücksichtigen, werden die Lösungseigenschaften der Aufgabe angegeben und die Wirkung der Absorptionsfront auf die Strahlform bestimmt. Als Ergebnis wird eine Strahlformung der entfallenden Laserstrahlung bestimmt, mit der die Qualitätsmerkmale der Bohrung, der Schweißung oder des Schnitts erreicht werden.

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

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. U. Eppelt, Tel.: -163
 urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de
 Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
 wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de





Aufgabenstellung

Nach der Implantation von Stents im menschlichen Körper erfolgt die Kontrolle der Durchgängigkeit des Blutgefäßes und die exakte Positionierung des implantierten Stents im menschlichen Gefäßsystem. Bei Stents aus Nitinol, einer Formgedächtnislegierung, kann jedoch bedingt durch die geringe Dichte des Materials die Stentstruktur bei der abschließenden Röntgenuntersuchung nur schwer oder gar nicht vom umgebenden Gewebe- und Knochenmaterial unterschieden werden. Abhilfe schaffen hier röntgensichtbare Markierungen aus Tantal, Niob oder Platin, die auf definierten Flächen auf dem Stent hergestellt werden.

Vorgehensweise

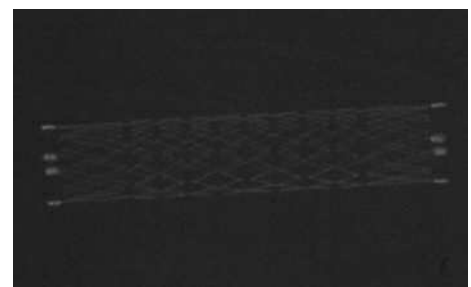
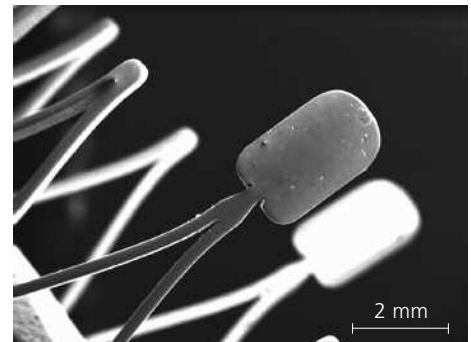
Zur Herstellung der röntgensichtbaren Markierungen werden zunächst 1 x 2 mm große Bereiche (Endlöffel, Bild oben) mit einer Dicke von etwa 200 µm zusammen mit der Stentstruktur aus dem Rohrmaterial geschnitten. Anschließend werden die röntgensichtbaren Markierungen aus Tantal durch Mikro-Laserstrahl-Dispergieren auf den Endlöffeln hergestellt. Bei diesem Verfahren wird durch die Laserstrahlung auf der Substratoberfläche ein Schmelzbad erzeugt, in das der pulverförmige Zusatzwerkstoff aus Tantal zugeführt wird.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit Faserlasern hoher Strahlqualität lassen sich auf Nitinolsubstraten mit einer Dicke von 200 µm kontrollierte Einschmelztiefen realisieren. Durch die unterschiedlichen Schmelztemperaturen (Nitinol: 1310 °C, Tantal 3017 °C) schmelzen die Tantalpartikel beim Laser-Dispergierprozess nicht auf sondern werden gleichmäßig in der Schmelze verteilt. Nach dem Erstarren der Schmelze bilden die Tantalpartikel eine für Röntgenstrahlung undurchlässige Schicht und führen zu einer signifikanten Erhöhung der Röntgensichtbarkeit im Vergleich zum Substratmaterial (Bild unten). Durch die exakte Kontrolle der zugeführten Laserenergie und die präzise und gleichmäßige Zufuhr des Zusatzwerkstoffs wird eine große Reproduzierbarkeit des Bearbeitungsergebnisses erreicht. Die dispergierten Bereiche werden in einem abschließenden Produktionsschritt durch Elektropolieren nachbearbeitet.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. T. Jambor, Tel.: -193
torsten.jambor@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Stent mit geschnittenen Endlöffeln.
Unten: Röntgenaufnahme eines Stents mit laserdispergierten Endlöffeln.

Aufgabenstellung

Intermetallische Werkstoffe, z. B. auf der Basis Ti-Al, Ni-Al oder Fe-Al, zeichnen sich durch exzellente mechanische und chemische Eigenschaften bei hohen Temperaturen aus. Bei gleichzeitig kleiner Dichte sind diese Werkstoffe prädestiniert als Ersatz für klassische Hochtemperaturwerkstoffe auf Ni- und Co-Basis, z. B. für Anwendungen in der Luftfahrt oder der Motorentechnik. Nachteilig ist jedoch die große Sprödigkeit bei Raumtemperatur, die die Verarbeitung und Bearbeitung erschwert. Formgebende sowie zum Teil auch Beschichtungs- und Fügeverfahren können nur in eng begrenzten Prozessfenstern durchgeführt werden, um Risse zu vermeiden. Am Fraunhofer ILT wird eine Verfahrenstechnik entwickelt, die es erlaubt, intermetallische Werkstoffe in einer sauerstoff-reduzierten Atmosphäre rissfrei zu fügen oder zu beschichten.

Vorgehensweise

Zur Vermeidung von Rissen beim Auftragschweißen wird eine Vorwärmvorrichtung aufgebaut, mit der Temperaturen bis 1000 °C erreicht werden können. Um die Oxidation des Werkstücks während der Bearbeitung zu reduzieren, wird eine bewegliche Schutzgashaube konstruiert und gefertigt. Die Erprobung erfolgt für die Werkstoffgruppe der Titanaluminide. Als Zusatzwerkstoffe werden artgleiche Legierungen ohne und mit Zusatz u. a. von TiB₂ in Pulverform verwendet.

Oben: Heiztisch mit Schutzgashaube.

Mitte: Erwärmte Probe (950 °C).

Unten: Querschliff einer auftragsgeschweißten Schicht aus TiAl + TiB₂.

Ergebnisse und Anwendungen

Zur Vorwärmung wird ein Heiztisch (100 x 150 mm², Bild oben) aus keramischen Heizelementen aufgebaut, dessen erwärmte Fläche modular erweiterbar ist. Die Schutzgashaube bedeckt eine Fläche von 400 x 600 mm² (Bild oben). In den Deckel sind Laserstrahloptik und Pulverzufuhrdüse integriert. Die Abdichtung nach unten erfolgt über metallische Leistenbürsten. Mit dieser Versuchseinrichtung können Schweißversuche bis 950 °C durchgeführt werden (Bild Mitte). Mit Vorwärmtemperaturen größer 800 °C gelingt es, Titanaluminide rissfrei zu fügen oder zu beschichten. Das mittlere Bild zeigt eine Verschleißschicht einer TiAl-Legierung angereichert mit 40 Vol.-% TiB₂-Partikeln. Durch kontrollierte Abkühlung nach dem Auftragschweißen wird die Rissbildung während der Abkühlphase verhindert. Die Oxidation der Probe wird durch die Schutzgashaube signifikant vermindert. Mit dieser Verfahrenstechnik sollen potenzielle Anwendungen, wie z. B. der Verschleißschutz von Motorventilen oder die Reparatur von Turbinenschaufeln (Generieren von verschlissenen Volumen oder Einschweißen von Schaufelsegmenten), erschlossen werden.

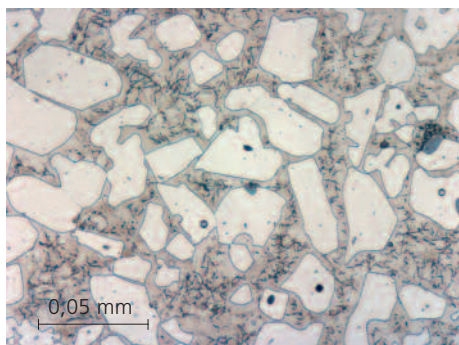
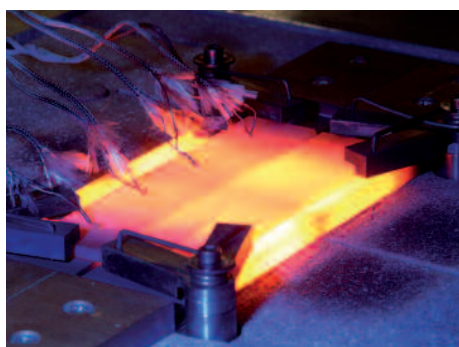
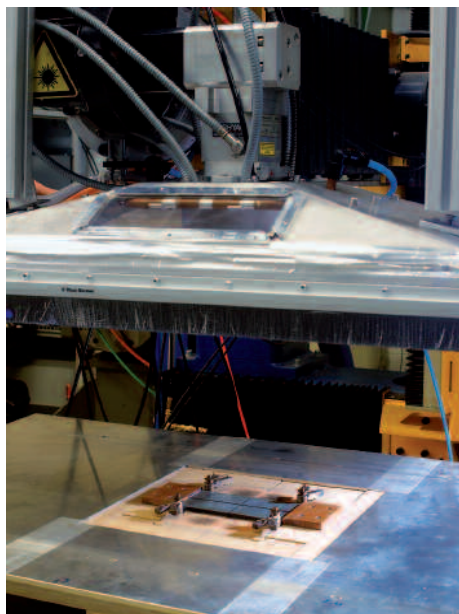
Ansprechpartner

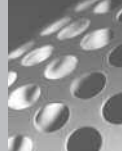
Dr. A. Weisheit, Tel.: -403

andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de

Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147

konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de





Aufgabenstellung

Auf Oberflächen von Hochdruck-Turbinenteilen aus Flugtriebwerken aus der einkristallin erstarrten Legierung CMSX-4 sollen Gitterstrukturen aus der Nickelbasis-Superlegierung Inconel® 625 durch Laserstrahl-Auftragschweißen aufgebracht werden. Durch die Gitterstrukturen wird die Haft- und Scherfestigkeit des Thermal Barrier Coatings (TBCs), das durch anschließendes atmosphärisches Plasmaspritzen (APS) aufgebracht wird, vergrößert. Die definierten Gitterstrukturen weisen im Querschnitt eine Breite von 340 µm und eine maximale Höhe von 500 µm an den Knotenpunkten auf.

Vorgehensweise

Für das Laserstrahl-Auftragschweißen wird ein Ytterbium Faserlaser (IPG YLR-200) mit einer Wellenlänge der emittierten Laserstrahlung von $\lambda = 1080 \mu\text{m}$ und einer maximalen Ausgangsleistung von $P_L = 250 \text{ W}$ verwendet. Die ausgekoppelte Laserstrahlung wird mittels Lichtleitfaser von der Laserstrahlquelle zum Handhabungssystem und durch eine Fokussieroptik zum Bearbeitungs-ort geführt. Der Laserstrahldurchmesser im Fokus beträgt $d_f = 60 \mu\text{m}$. Um die geforderte Spurbreite zu erzielen, wird der Laserstrahl auf einen Durchmesser von 280 µm defokussiert. Als Zusatzwerkstoff wird Pulver aus der Nickelbasis-Superlegierung Inconel® 625 eingesetzt. Die für das Laserstrahl-Auftragschweißen zwingend erforderlichen NC-Werkzeugbahnen werden anhand eines CAD-Modells des HPT Liner 1 mit dem CAD/CAM System DCAM 5 erstellt. Als Handhabungssystem wird die 3-Achs-Anlage Varilas der Firma Schuler Held verwendet.

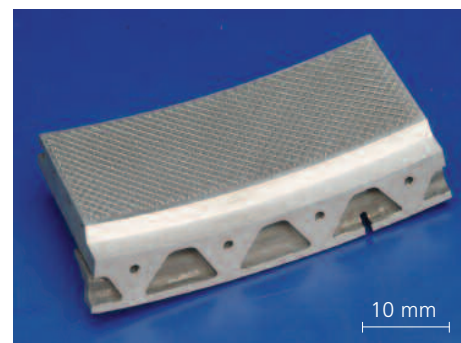
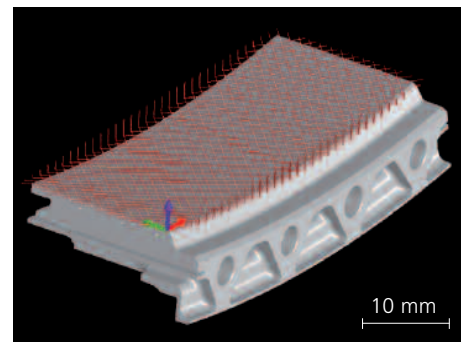
Ergebnisse und Anwendungen

Durch die Wahl geeigneter Verfahrensparameter werden erfolgreich Gitterstrukturen mit einer Spurbreite von 340 µm und einer maximalen Höhe von 500 µm an den Knotenpunkten auf HPT Liner 1 Bauteilen auftraggeschweißt. Im Falle der Notwendigkeit sind mit diesem System Strukturen bis zu einer Breite von 60 µm möglich. Auf ersten mit Gitterstrukturen beschichteten Bauteilen werden am Forschungszentrum Jülich TBCs durch atmosphärisches Plasmaspritzen aufgebracht und vom Kunden anschließend auf eine vergrößerte Haft- und Scherfestigkeit getestet.

Die Arbeiten werden in Zusammenarbeit mit der Firma Rolls-Royce durchgeführt und sind Bestandteil des öffentlich geförderten Projekts »Engine 3E«.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. B. Burbaum, Tel.: -535
bernd.burbaum@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. (FH) P. Albus, Tel.: -479
patrick.albus@ilt.fraunhofer.de
Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Oben: CAD-Modell von HPT Liner 1 mit NC-Werkzeugbahnen.
Unten: Laserstrahl-auftraggeschweißte Gitterstrukturen auf HPT Liner 1 Bauteil.

Aufgabenstellung

Das generative Fertigungsverfahren Selective Laser Melting (SLM) wird zur direkten Herstellung von metallischen Funktionsbauteilen industriell eingesetzt. Die industrielle Akzeptanz und Anwendungsbreite hängen u. a. von der Bandbreite der verarbeitbaren Werkstoffe und der Kenntnis der mechanischen Eigenschaften der Bauteile ab. Im Rahmen des BMBF-Projekts »Alugenerativ« wird am Fraunhofer ILT derzeit das SLM für die Aluminiumdruckgusslegierung AlSi10Mg qualifiziert. Für serienidentische Funktionsprototypen, Einzelteile und Kleinserien stellt die generative Fertigung mittels SLM eine wirtschaftliche Alternative zur formgebundenen Fertigung wie z. B. Druckguss dar. Der Einsatz der generativ gefertigten Bauteile für diesen Bereich bedingt, dass die mechanischen Eigenschaften mindestens denen der konventionell gefertigten Bauteile entsprechen.

Vorgehensweise

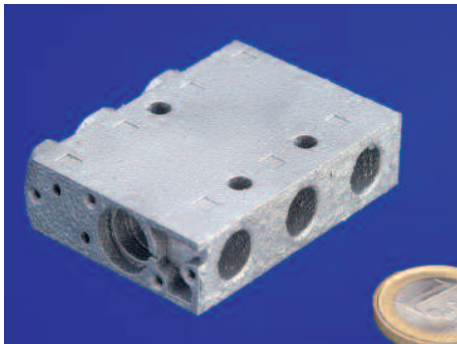
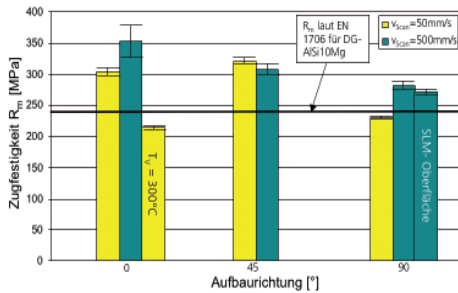
Primäres Ziel bei der Qualifizierung eines Werkstoffs für das SLM ist eine Bauteildichte von ca. 100 Prozent ohne Risse oder Bindefehler. Dazu werden u. a. die Verfahrensparameter Scangeschwindigkeit und Laserleistung ermittelt, mit denen Bauteile mit einer Dichte von ca. 100 Prozent herstellbar sind. Zur Bestimmung des Einflusses der Scangeschwindigkeit und der Vorwärmung auf Zugfestigkeit, Dehngrenze, Bruchdehnung, Härte und Dauerfestigkeit werden anschließend Testgeometrien mit unterschiedlicher Scangeschwindigkeit sowie ohne und mit Vorwärmung gefertigt und die resultierenden mechanischen Eigenschaften miteinander verglichen.

Ergebnisse und Anwendungen

Durch die hohe Reflexion und Wärmeleitfähigkeit von Aluminium im Vergleich zu Stahlwerkstoffen werden Bauteildichten um 100 Prozent ab einer Laserleistung von 150 W und einer Scangeschwindigkeit von 100 mm/s erreicht. Bei einer Laserleistung von 250 W lässt sich die Scangeschwindigkeit auf 500 mm/s erhöhen. Mit kleinerer Scangeschwindigkeit von 50 mm/s oder höherer Vorwärmtemperatur von 300 °C entsteht ein duktileres Gefüge, was sich durch geringere Härte, geringere Festigkeit und größere Bruchdehnung äußert. Die Ergebnisse aus Zug- und Schwingversuchen zeigen, dass die mechanischen Eigenschaften die Festigkeitswerte der Serienbauteile aus DG-AlSi10Mg laut EN 1706 mindestens erreichen (s. Bild oben). Diese Kenntnis ist für den industriellen Einsatz der Technologie eine wichtige Voraussetzung. In weiteren Arbeiten werden Korrelationen zwischen Verfahrensparametern und Wärmebehandlung, Gefüge und mechanische Eigenschaften tiefergehend untersucht sowie der Einfluss einer nachträglichen Wärmebehandlung auf die mechanischen Eigenschaften bestimmt. Außerdem werden weitere Aluminiumlegierungen für den industriellen Einsatz qualifiziert. Erste Demo-Bauteile (s. Bilder unten) werden hergestellt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. D. Buchbinder, Tel.: -488
damien.buchbinder@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Zugfestigkeit R_m von SLM Proben aus AlSi10Mg in Abhängigkeit von Scangeschwindigkeit, Aufbauorientierung und Vorwärmtemperatur.
Mitte und unten: Mit SLM gefertigtes Großserien-Ventil aus AlSi10Mg (in Kooperation mit Festo AG & Co. KG).

Aufgabenstellung

Im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« wird u. a. am Fraunhofer ILT das langfristige Ziel verfolgt, die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Produktionstechnik zu steigern. Eine der zentralen Forschungsfragen widmet sich der Reduzierung des Scale-Scope Dilemmas, also der Schaffung neuer Wertschöpfungsstrukturen zur Produktion von Einzelteilen zu den Kosten von Serienteilen bei gleichzeitiger Beibehaltung der vom Markt geforderten Individualität. Hierbei ist auf technologischer Seite die generative Fertigung mit ihren nahezu unbeschränkten geometrischen Freiheitsgraden eines der Verfahren mit dem größten Potenzial. Wesentlicher Kostenfaktor des am Fraunhofer ILT entwickelten SLM-Verfahrens zur Verarbeitung metallischer (Serien-) Werkstoffe ist die Herstellzeit der Bauteile, die insbesondere vom aufzubauenden Volumen bestimmt wird. Für eine wirtschaftliche Anwendung ist in vielen Fällen die Steigerung der Aufbaurate erforderlich.

Vorgehensweise

Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass die Erhöhung der Aufbaurate durch höhere Laserleistung und damit verbundene Steigerung der Scangeschwindigkeit bei konstantem Strahldurchmesser begrenzt ist. Die Steigerung der Laserleistung bei konstantem Strahldurchmesser bewirkt eine Steigerung der Intensität am Bearbeitungsort. Dies hat eine Verstärkung der Spritzerbildung und somit eine Störung des Gesamtprozesses zur Folge. Um dies zu vermeiden, ist die Anpassung des Strahldurchmessers notwendig. In experimentellen Untersuchungen werden die Verfahrensparameter Scange-

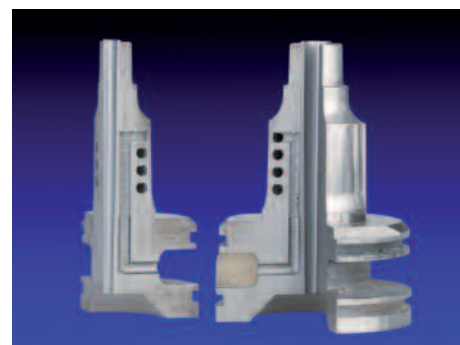
schwindigkeit, Schichtdicke und Spurabstand an große Laserleistungen und Strahldurchmesser angepasst. Prozessfenster mit geeigneten Parametersätzen zeichnen sich durch die Ebenheit der erzeugten Schichten aus, die den störungsfreien Pulverauftrag und den damit verbundenen Aufbau von Probenkörpern mit einer Dichte von ca. 100 Prozent ermöglicht.

Ergebnisse und Anwendungen

Erstmals kann am Beispiel von hochlegiertem Stahl (1.4404) gezeigt werden, dass mit einer Vergrößerung des Strahldurchmessers von bisher 0,2 mm auf 0,8 mm bzw. 1,2 mm und einer Erhöhung der Laserleistung von 250 W auf 650 W der Aufbau von Probenkörpern mit einer Dichte von ca. 100 Prozent möglich ist. Die Aufbaurate beträgt bis zu 6,5 mm³/s. Damit kann die Aufbaurate im Vergleich zum bisherigen Stand der Technik (ca. 1,2 mm³/s) um mehr als den Faktor 5 erhöht werden. In weiteren Arbeiten wird eine Prototypenanlage mit einer Laserleistung von 1 kW aufgebaut, um die Ergebnisse der Grundlagenuntersuchung für die Fertigung realer Bauteile, wie beispielsweise Formeinsätze für den Werkzeugbau, zu adaptieren. Dadurch wird die generative Herstellung mittels SLM für viele Anwendungen wirtschaftlich attraktiver.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. H. Schleifenbaum, Tel.: -126
henrich.schleifenbaum@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Selektives Umschmelzen einer Pulverschicht.

Unten: Anwendungsbeispiel: Mittels SLM gefertigter Formeinsatz mit konturangepassten Kühlkanälen.

Aufgabenstellung

Schichten aus Nano-Dispersionen erfordern oftmals eine thermische Nachbehandlung zur Erzielung der gewünschten Funktionalität (z. B. elektrische Leitfähigkeit, Abriebfestigkeit). Die bisher zur Funktionalisierung der nanopartikulären Schichten eingesetzten Wärmebehandlungsprozesse weisen zu lange Prozesszeiten von > 1 Stunde (inline-Fähigkeit eingeschränkt) und eine zu hohe thermische Belastung auf. Oftmals liegen die erforderlichen Prozesstemperaturen oberhalb der Zersetzungstemperatur von Substraten wie z. B. Glas- und Polymerwerkstoffen.

Deswegen wird für die thermische Nachbehandlung von Schichten aus Nano-Dispersionen auf Glas- und Polymer substraten ein Laserstrahlverfahren entwickelt.

Vorgehensweise

In der Literatur findet man keine Hinweise darauf, inwieweit der Ofenprozess durch ein thermisches Kurzzeitverfahren, wie es eine Laserstrahlbehandlung impliziert, zu substituieren ist. Zur Bestimmung eines Prozessfensters ist es deshalb erforderlich, die Prozesstemperatur und die Haltezeit mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung systematisch zu variieren. Zu diesem Versuchsplan wird über ein Prozessmodell zu jedem ausgewählten Versuchspunkt die dazu notwendige Einstellung der Verfahrensparameter bestimmt. Das Prozessmodell beinhaltet die Berechnung des in der nanopartikulären Schicht absorbierten Anteils der Laserstrahlung unter Berücksichtigung der von der Wellenlänge abhängigen optischen Eigenschaften und der Mehrfachreflexionen an den Grenzflächen für gebräuchliche

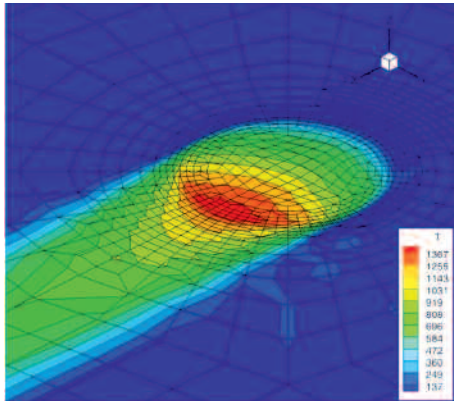
Laserwellenlängen in Abhängigkeit der Schichtdicke. Dieser Wärmeeintrag wird in einer nachfolgenden 3-D-Wärmeleitungsrechnung für den Schichtverbund Nano-Dispersionsschicht/Glas- bzw. Polymersubstrat zur Berechnung der resultierenden Temperatur-Zeitzyklen und der Wärmeeindringtiefe genutzt.

Ergebnisse und Anwendungen

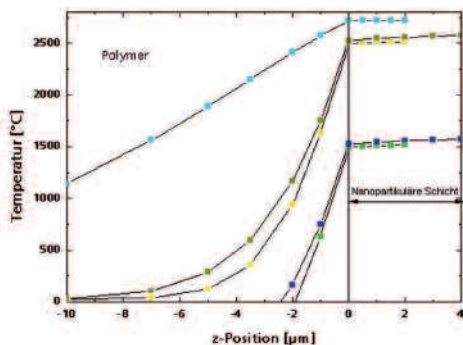
Durch eine Zuordnung der experimentell ermittelten Funktionalität zu den berechneten Temperaturzyklen (Bild oben) lässt sich ein Prozessfenster bzgl. Prozesstemperatur und Haltezeit ermitteln. Auf Basis dieses Prozessfensters ist eine Optimierung der Verfahrensparameter bzgl. Flächenrate und Wärmeeindringtiefe (Bild unten) rechnerisch durchgeführt worden, mit dem Ziel funktionale Schichten durch die Behandlung mit Laserstrahlung zu erzeugen.

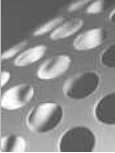
Ansprechpartner

Dr. N. Pirch, Tel.: -403
norbert.pirch@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Temperaturfeld.
Unten: Temperatur-Tiefen Profile als Funktion der Laserleistung, des Strahldurchmessers und der Scangeschwindigkeit.





Aufgabenstellung

In der Automobilindustrie werden zunehmend Karosserie- oder Fahrwerksteile aus Blechen hochfester Stähle (z. B. Dualphasen- oder martensitischer Stahl) eingesetzt, um Gewicht zu sparen und die Fahrzeugsicherheit zu erhöhen. Die Umformung dieser Stähle erfolgt in der Regel kalt im hochfesten Anlieferungszustand. Aufgrund der hohen Festigkeit sind der mögliche Umformgrad und damit auch die Auswahl von Bauteilen begrenzt. Gelingt es, das lokale Umformvermögen durch Entfestigung mittels einer Wärmebehandlung zu verbessern, kann das Anwendungsspektrum für hochfeste Stähle erweitert werden und für den Konstrukteur ergeben sich neue Gestaltungsmöglichkeiten.

Vorgehensweise

In einem grundlagenorientierten Projekt sind Verfahrensparameter für die lokale Entfestigung hochfester Stähle bereits ermittelt worden. An ausgewählten Musterbauteilen wird nun die Umsetzung erprobt. Die zu behandelnden Bereiche kritischer Umformgrade auf der Platine werden durch FEM-Simulation der Umformung ermittelt. Die Wärmebehandlung erfolgt mit Nd:YAG-Laserstrahlung und Temperaturregelung.

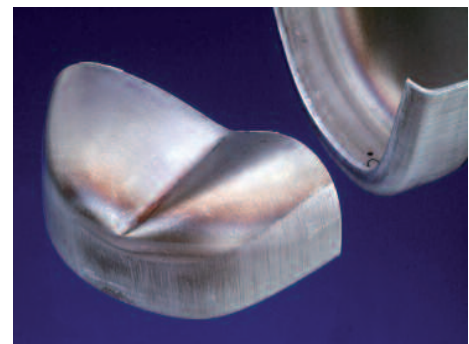
Ergebnisse und Anwendungen

Das obere Bild zeigt den Stoßfänger für einen Pkw aus einem martensitischen Stahl mit einer Zugfestigkeit von 1400 MPa. Der kritische Bereich der Biegung kann aufgrund der lokalen Entfestigung rissfrei umgeformt werden. Crashtests zeigen, dass die Leistungsfähigkeit der Stoßfänger bei deutlich erhöhten geometrischen Gestaltungsmöglichkeiten erhalten bleibt.

Das Entfestigen kann auch für Anwendungen außerhalb der Automobilindustrie genutzt werden, wie z. B. für Schuhkappen von Sicherheitsschuhen. Diese werden konventionell aus härtbaren Stählen hergestellt und zunächst im weichen Zustand umgeformt und anschließend vergütet. Das Bild unten zeigt Schuhkappen aus einem Dualphasen-Stahl ($R_m = 1000$ MPa). Die Umformung wird durch eine lokale Entfestigung der Platinen im kritischen Bereich des 90°-Biegewinkels ermöglicht. Der Crashtest weist Absorbereigenschaften wie bei konventionellen Stählen auf (Bild unten, links).

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. D. Maischner, Tel.: -361
dora.maischner@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Weisheit, Tel.: -403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben und Mitte: Umgeformter Stoßfänger aus einem martensitischen Stahl mit entfestigter Zone im Biegeradius (Blechdicke 1,6 mm); Quelle: Wagon Automotive.

Unten: Lokal entfestigte Schuhkappen (links nach Crashtest) aus Dualphasen-Stahl (Blechdicke 1,6 mm); Quelle: ISCO.

Aufgabenstellung

Laserpolieren ist ein neues automatisiertes Fertigungsverfahren zum Polieren metallischer Oberflächen. Die Glättung erfolgt durch Umschmelzen einer dünnen Randschicht ($< 100 \mu\text{m}$). Am Beispiel einer Glasform soll die grundsätzliche Eignung des Verfahrens für den Werkzeug- und Formenbau demonstriert werden. Die dazu verwendete Anlagentechnik wurde in dem Projekt »Polar« entwickelt. Sie besteht aus einem Fräszentrum der Firma Hermle, das für das Laserpolieren angepasst wurde, indem sowohl eine Strahlquelle inklusive Optik mit Beam-expander und 3-D-Scanner als auch eine Prozesskammer integriert wurde.

Vorgehensweise

Zunächst wurden die Bearbeitungsparameter wie Scangeschwindigkeit, Laserleistung und Spurversatz an den für viele Glasformen verwendeten Werkstoff (1.2782) angepasst. Bei der Bearbeitung der Glasform wird die Gesamtfäche in Teilflächen zerlegt. Damit die Ansätze zwischen den Teilflächen nicht oder nur schwach sichtbar sind, wird eine spezielle Ansatzstrategie verwendet. Um den Zeitaufwand für die Programmierung der Bearbeitungsbahnen zu reduzieren, wird eine für die Bahngenerierung entwickelte Software verwendet.

Ergebnisse und Anwendungen

Nach Einrichten und Programmieren wird der Polierprozess vollständig automatisch durchgeführt. Durch die Anpassung der Bearbeitungsparameter wird auf grob geschliffenen Glasformen durch Laserpolieren eine Rauheit von $R_a = 0,15 - 0,2 \mu\text{m}$ erreicht. Eine manuelle Nachbearbeitung ist nach dem Laserpolieren nicht mehr notwendig, so dass die komplette Politur einer Formhälfte nur ca. 20 min. dauert. Die durch das Laserpolieren bearbeiteten Formen sind testweise in der Produktion eingesetzt worden. Dabei wurde eine für Standardweingläser geeignete Oberflächenqualität erreicht.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. T. Kiedrowski, Tel.: -282
thomas.kiedrowski@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de

Laserpolierte Glasform (Vordergrund rechts), geschliffene Glasform (Vordergrund links), abgeformter Stiel (Hintergrund).





Aufgabenstellung

Für Kunststoffteile, wie z. B. bei Armaturentafeln im PKW, werden häufig strukturierte oder genarbte Oberflächen gewünscht. Zur Herstellung solcher Kunststoffteile werden daher 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. An die Strukturen werden hohe Anforderungen bzgl. Optik und Haptik gestellt. Mit dem neuen Fertigungsverfahren Laserpolieren soll eine selektive ortsaufgelöste Politur z. B. nur der Täler der Struktur ermöglicht werden, um so optisch variable Effekte zu erzielen. Auf dem abgeformten Bauteil sind dann nur die Erhebungen poliert. Somit könnten bisher nicht oder nur mit großem Aufwand zu fertigende Oberflächen hergestellt werden.

Vorgehensweise

Das selektive ortsaufgelöste Laserpolieren wird anhand von Werkzeugeinsätzen mit grob und fein genarbten Oberflächen aus dem Werkstoff 1.2343 untersucht. Bei der Bearbeitung wird die Oberfläche mäanderförmig abgerastert, wobei Laserleistung und Scangeschwindigkeit entlang der Bearbeitungsbahnen in Abhängigkeit der vorhandenen Strukturen (nur die Täler werden poliert) moduliert werden.

Ergebnisse und Anwendungen

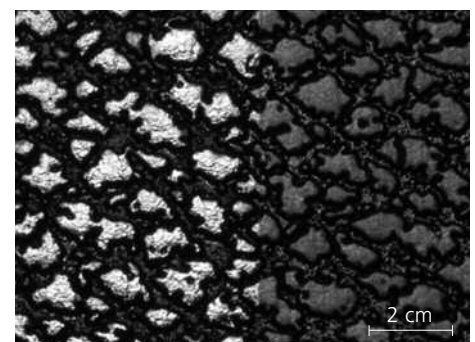
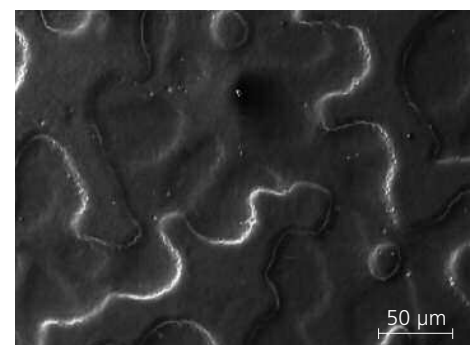
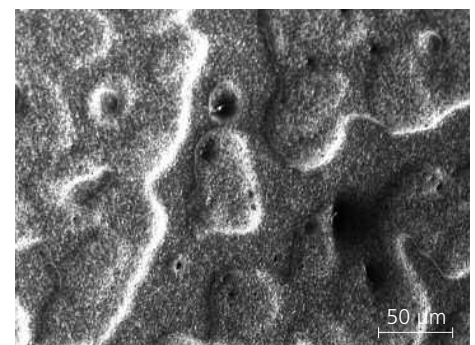
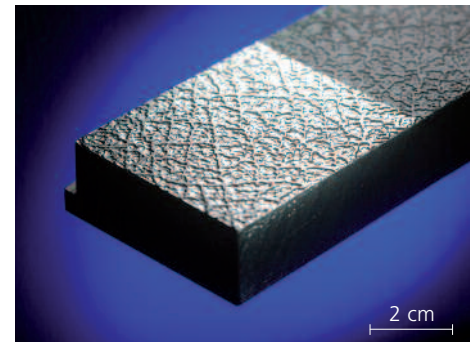
Durch die Modulation der Verfahrensparameter Laserleistung und Scangeschwindigkeit kann die Rauheit und somit der Glanzgrad ortsaufgelöst eingestellt werden. Bei geeigneter Wahl von Laserleistung und Scangeschwindigkeit variiert der einstellbare Glanzgrad vom Ausgangszustand bis hin zu hohem Glanz. Die Auflösung und die Bearbeitungsgeschwindigkeit sind signifikant von den Zeitkonstanten der Laserstrahlquelle abhängig, d. h. von der Zeit, die die Laserstrahlquelle für die Änderung der Laserleistung benötigt. Je kleiner die Zeitkonstante ist, desto größer sind Bearbeitungsgeschwindigkeit oder Auflösung. Werkzeugeinsätze mit geätzter Ledernarbung konnten erfolgreich mit einer Kantenschärfe $< 20 \mu\text{m}$ poliert und davon Kunststoffteile mit einem Zweigglanzeffekt abgeformt werden. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit beträgt zzt. 3 min/cm^2 bei einer Auflösung von 100 dpi.

Weitere Ziele sind die Übertragung der Ergebnisse auf dreidimensionale Bauteile, z. B. Armaturenträger für PKWs, und eine Reduzierung der Bearbeitungsdauer.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. A. Temmler, Tel.: -299
andre.temmler@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de

Oben: Teil eines Werkzeugeinsatzes mit photochemisch geätzter Ledernarbung (mattiert und laserpoliert).
Mitte: Kantenschärfe zwischen geätztem und laserpoliertem Bereich.
Unten: Kunststoffoberfläche mit Zweigglanzeffekt durch Laserpolieren.



Aufgabenstellung

Lichtwellenleiter-Arrays werden für die Parallelisierung optischer Übertragungsstrecken benötigt. Die Montage dieser Arrays erfordert Aufnahmesysteme mit höchster Präzision im Sub-Mikrometerbereich. In einem neuen Ansatz werden ultrapräzise strukturierte Trägerplatten für Lichtleitfasern zu einem Array gefügt. Diese Trägerplatten sind in Abständen von 250 µm mit parallelen Nuten versehen, die als passive Justagestrukturen zur Ausrichtung der Lichtwellenleiter dienen. Zu diesem Zweck werden die Trägerplatten im Stumpfstoß auf den Stegen (Breite 75 µm) verschweißt.

Vorgehensweise

Die für das Montagebauteil verwendete Legierung CuNi18Zn20 besteht zu 62 Prozent aus Kupfer, 20 Prozent Zink und 18 Prozent Nickel (Neusilber). Für das Laserstrahlschweißen ist Neusilber aufgrund seiner Legierungselemente und wegen der Oberflächeneigenschaften vergleichbar mit Messing. Der hohe Reflexionsgrad beider Metalle erschwert die Einkopplung der Laserstrahlung. Zudem stellen Metalle mit großem Zinkanteil für schweißtechnische Anwendungen eine besondere Herausforderung dar, da die Verdampfungstemperatur des Zinks mit etwa 900 °C unter dem Schmelzpunkt der übrigen Legierungselemente liegt. Während des Schweißprozesses verdampft das Zink und entweicht schlagartig aus dem Schweißvolumen, wobei flüssige Schmelze mitgerissen wird. Dies führt zu Poren in der Naht, unkontrollierbaren Schweißspritzern und einer unregelmäßigen Oberraupe.

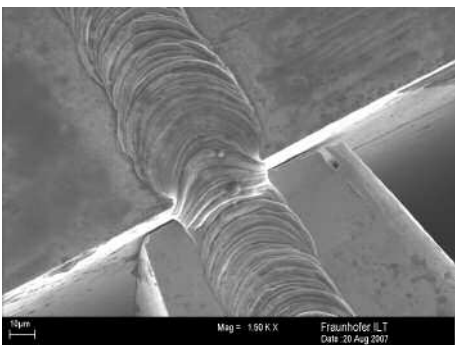
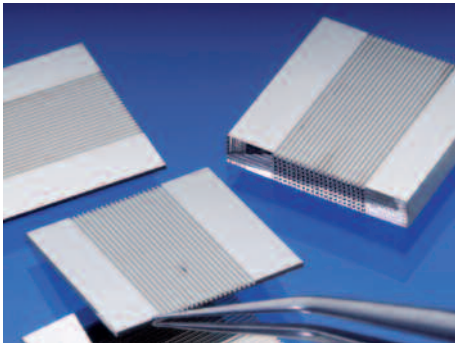
Ergebnisse und Anwendungen

Zur Qualitätsoptimierung wird ein neuartiger Ansatz auf der Basis eines Faserlasers und einer Scanneroptik eingesetzt. Durch eine dem Vorschub überlagerte Oszillationsbewegung (Wobbeln) wird die Stabilität des Schmelzbades deutlich verbessert. Ein nicht reproduzierbarer Übergang vom Tief- zum Wärmeleitungsschweißen kann dabei nicht beobachtet werden. Auch die Rauheit der Oberfläche wird reduziert. Mittels Weißlichtinterferometrie kann eine Reduktion der Ra-Werte von 4 - 5 µm ohne Wobbeln auf 2 - 2,5 µm mit überlagerter Oszillationsbewegung nachgewiesen werden. Ein Abschmelzen der 75 µm breiten Stege kann bei geeigneter Parameterwahl nicht beobachtet werden.

Derartige Arrays können als Stecker für Lichtwellenleiter zur parallelen Übertragung oder als redundantes System bei der Übertragung großer Datenmengen verwendet werden. Durch die regelmäßige Anordnung der Lichtwellenleiter mit einem Abstand von 250 µm ist die Ankopplung an VCSEL-Arrays möglich.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. F. Schmitt, Tel.: -322
felix.schmitt@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Geschweißtes 2-D-Lichtwellenleiterarray.
Unten: Detailaufnahme einer Schweißnaht am Übergang von Steg und Basis zweier Trägerplättchen.



Aufgabenstellung

In der hybriden Mikrosystemtechnik, Halbleiterindustrie und Mikroelektromechanischen Systemen (MEMS) werden fragile mikroelektronische Bauteile wie ungehäusete Siliziumchips auf Wafer Level verkapselt (Wafer Level Packaging). Die Verkapselung erfolgt in der Regel über flächige Fügeverfahren wie das »Wafer Fusion Bonding« oder »Anodic Bonding«. Diese Verfahren weisen eine hohe thermische Belastung für die empfindlichen Bauteile und eine geringe Flexibilität hinsichtlich der Fügegeometrie auf. Als Alternative und ergänzend zum Wafer-Bonden bietet der Laser durch die exakte Kontrolle der Energiedeposition eine Minimierung der Wärmeeinflusszone und des damit verbundenen Verzugs.

Vorgehensweise

Das Prinzip des Laserstrahlbondverfahrens beruht auf dem sogenannten Transmissionsfügen, wobei eines der Fügeteile für die eingesetzte Laserstrahlung transparent (z. B. Glas) und das andere absorbierend ist (Silizium). Der Hauptteil der Energie des Laserstrahls wird in der Grenzfläche der Fügeteile in Wärme umgesetzt und die Kontaktstelle gezielt, lokal und selektiv erwärmt. Nach entsprechender Oberflächenvorbereitung bildet sich durch die Erwärmung eine hochfeste Sauerstoffbrücke zwischen beiden Fügepartnern aus.

Ergebnisse und Anwendungen

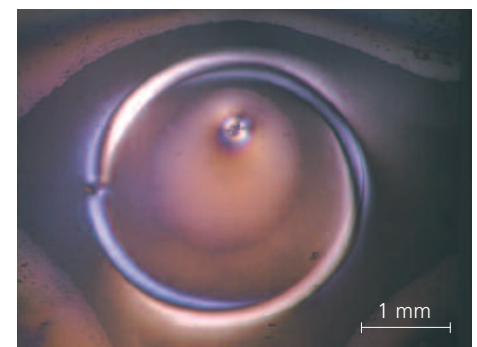
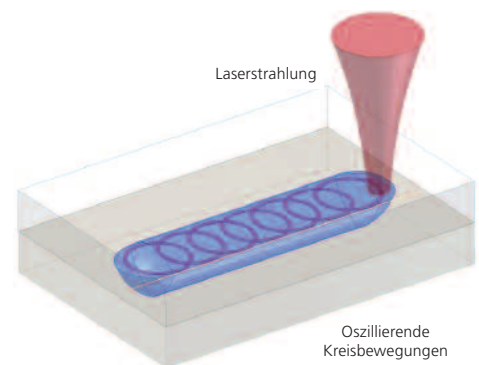
Zur Erhöhung von Flexibilität und Prozesssicherheit wurde alternativ zu den bisherigen Arbeiten ein Faserlaser mit einer Wellenlänge von $\lambda = 1090 \text{ nm}$ kombiniert mit einem schnellen Galvanometerscanner eingesetzt.

Scanner ermöglichen durch die Überlagerung des Vorschubs mit Oszillationsfiguren eine beliebige Flexibilität hinsichtlich Bondnahtbreite und -geometrie. Zusätzlich wird durch diese sogenannte »Wobble-Funktion« die Wärmeeinflusszone während des Fügens positiv beeinflusst, so dass keine Aufschmelzungen an der Fügefront auftreten.

Die erzielten Bondergebnisse zeigen generell die Einsetzbarkeit von Faserlasern kombiniert mit Scannern für das Bonden von Silizium und Glas. Darüber hinaus ist es möglich, für Vorschubgeschwindigkeiten bis zu $8,33 \text{ mm/s}$ und Leistungswerten von bis zu 52 W ohne thermische Prozessregelung schmelz- und rissfreie Bondverbindungen zu erzielen. Somit eignet sich das Verfahren auch für die Montage mikrooptischer Bauelemente auf halbleiterbasierten Leuchtelementen, wie z. B. LEDs.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. F. Sari, Tel.: -358
Fahri.sari@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Vorschubbewegung mit überlagerter oszillierender Kreisbewegung unter Einsatz von Scannern.

Unten: Koaxiale Beleuchtung von gebondeten Silizium/Glas Proben unter Einsatz eines Scanners.

Aufgabenstellung

Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) wie Beschleunigungsaufnehmer, siliziumbasierte Drucksensoren und Drehratensensor vereinen empfindliche elektrische, mechanische, thermische oder auch chemische Funktionen. Da diese Systeme vor allem im Automobilbau zum Einsatz kommen, müssen sie langzeitstabil verkapselt werden. Die Verkapselung erfolgt heute in der Regel über flächige Fügeverfahren wie das »Silicon Wafer Bonding«. Neben dem »Wafer-to-Wafer« Bonden setzt sich das »Chip-to-Wafer« Bonden in der letzten Zeit durch, wobei einzelne Chips auf vorprozessierte Silizium Wafer positioniert und gebondet werden. Bei empfindlichen Schaltkreisen und insbesondere mikromechanischen Komponenten wie Sensoren können die bisherigen Fügeverfahren erhebliche thermische und mechanische Belastungen aufweisen. Als Alternative und Ergänzung zum Wafer-Bonden bietet der Laser durch die exakte Kontrolle der Energiedeposition eine Minimierung der Wärmeeinflusszone und des damit verbundenen Verzugs.

Für die Werkstoffpaarung Silizium-Silizium wird eine neuartige Faserlaserstrahlquelle mit einer Wellenlänge von $2\text{ }\mu\text{m}$ verwendet. Dabei werden absorbierende Zwischenschichten eingesetzt, die auf dem Chip auch als funktionale Leiterschichten dienen.

Ergebnisse und Anwendungen

In Zusammenarbeit mit den Fraunhofer-Instituten IZM und IWM wurde gezeigt, dass auf der Basis des Transmissionsfügens mit Laserstrahlung der Wellenlänge $\lambda = 2\text{ }\mu\text{m}$ und einem Laserspot von $50\text{ }\mu\text{m}$ hochfeste Verbindungen von Silizium mit Silizium ohne Bildung von Schmelze erzeugt werden können. Untersuchungen der Fügezonen zeigen eine schmelzfreie Verbindung, die in Mikro-Chevron Versuchen im Grundmaterial versagen.

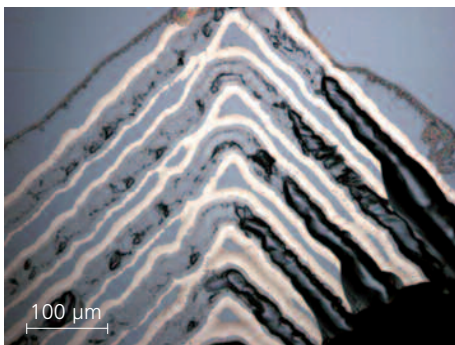
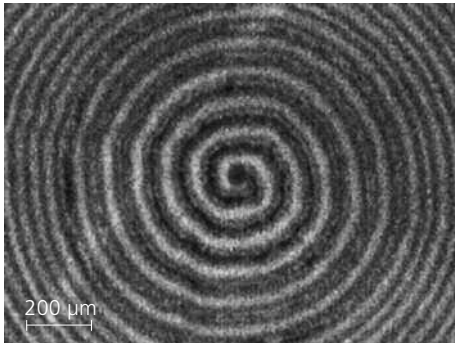
Mit der neuen selektiven Fügetechnik steht ein Verfahren zur Verfügung, mit dem thermisch und mechanisch empfindliche Silizium-Bauteile mit hohen Geschwindigkeiten und hoher Präzision gefügt werden können.

Vorgehensweise

Das Prinzip des Laserstrahlbondverfahrens beruht auf dem sogenannten Transmissionsfügen, wobei die Laserstrahlung die Fügeteile durchdringt und an der Verbindungsstelle durch geeignete Maßnahmen absorbiert wird. Die Energie des Laserstrahls wird in der Grenzfläche der Fügeteile in Wärme umgesetzt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. F. Sari, Tel.: -358
Fahri.sari@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: IR-Transmissionsaufnahme einer spiralförmigen Bondung zwischen zwei Silizium Substraten.
Unten: Bruchfläche auf Silizium nach Mikro-Chevron Test.

Aufgabenstellung

Ultrafast Engineering entwickelt sich zu einem neuen Feld innerhalb der Ingenieurwissenschaften. Die Nachfrage für maßgeschneiderte Produkte mit großer Präzision erfordert die Entwicklung neuer Verfahren für die ultrapräzise Fertigung z. B. in der Mikrotechnik. Im Trend der Miniaturisierung optischer Komponenten und Systeme (z. B. Mikro- und Nano-Optik, OLEDs¹, VCSELs²) stellt das Fügen von Glas mit Glas und Glas mit Silizium mit Fügezonen im μm -Bereich eine bedeutsame und bis dato nur ansatzweise gelöste Herausforderung dar. Die innovative Lichtquelle OLED soll wegen der notwendigen Gasdichtigkeit (Ausschluss von Sauerstoff und Wasserdampf) eine größere Qualität der Füge-naht aufweisen.

Vorgehensweise

Als neuartiges Verfahren zum artgleichen und artungleichen Fügen von Glas-Glas und Glas-Silizium wird das Schweißen mittels ultrakurz gepulster Laserstrahlung (Pulsdauer $t < 1 \text{ ps}$) erprobt. Durch Multiphotonen-Prozesse wird die Laserstrahlung ausschließlich im Fokus bei hinreichend großen Intensitäten $> 10^{10} \text{ W/cm}^2$ absorbiert und das Glas wird lokal im Fokus aufgeschmolzen (ca. $1 - 100 \mu\text{m}^3$). Thermische Spannungen werden durch die kleine Einwirkdauer und daraus folgende kleinere Eindringtiefe der Wärme gegenüber größeren Pulsdauern reduziert. Hierdurch wird das Mikroschweißen im Volumen von Gläsern mit einer Schweißnaht im μm -Bereich ermöglicht. Das Gesamtziel der Untersuchungen ist die Erarbeitung werkstoff- und verfahrenstechnischer Grundlagen zum

Qualifizieren des Fügens von artgleichen, artungleichen Gläsern und Glas-Silizium-Verbindungen mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung. Dabei wird über die Prozessbeobachtung eine Prozessregelung für das fs-Fügen erarbeitet.

Ergebnisse und Anwendungen

Technische Gläser (D263 und AF45 Schott) sind mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung formschlüssig mit einem weiteren Glas- oder Siliziumsubstrat gefügt worden. Bei geeigneten Parametern sind rissfreie Schweißnähte mit Breiten von $20 \mu\text{m}$ und Tiefen von $30 \mu\text{m}$ in Glas-Glas erzeugt worden (Bild oben und Mitte). Die Hafteigenschaften sind groß, wodurch Rückstände des Glases nach dem Trennen einer geschweißten Glas-Silizium Probe auf dem Silizium detektiert werden können (Bild unten).

Das Fügen von Gläsern und Glas-Halbleitern dient u. a. zum Verschließen von Gehäusen (sealing), wie in der Leuchtmittelindustrie z.B. für OLEDs¹ und in der Halbleiterindustrie für MEMS³ und MEOMS⁴.

¹ OLED: Organic Light-Emitting Diode

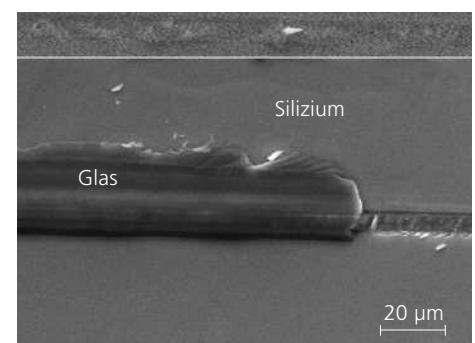
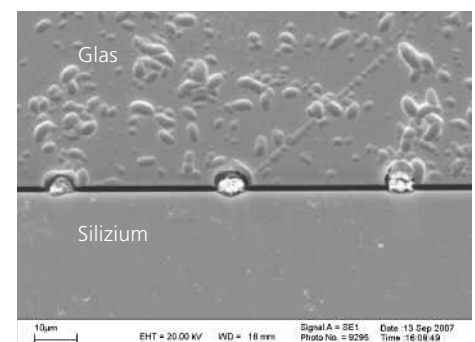
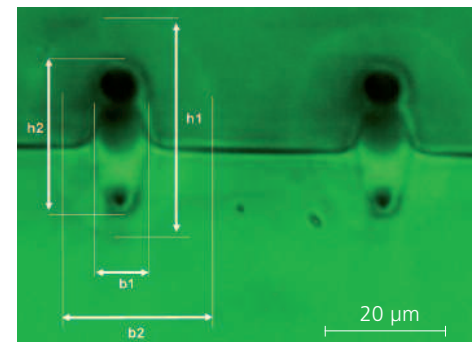
² VCSEL: Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser

³ MEMS: Micro-Electro-Mechanical System

⁴ MOEMS: Micro-Opto-Electromechanical System

Ansprechpartner

Dr. A. Horn, Tel.: -205
alexander.horn@ilt.fraunhofer.de
Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Oben: Querschliff einer Glas-Glas-Schweißnaht (Mikroskopie).
Mitte: Querschliff einer Glas-Silizium-Schweißnaht (REM, geätzt).
Unten: Siliziumoberfläche des getrennten Glas-Si-Substrates (REM).

Aufgabenstellung

Für das hermetische Versiegeln von Glaskomponenten bzw. in Anwendungsfällen, in denen gleichzeitig eine elektrische Isolation nötig ist, werden heute vielfach Glaslote eingesetzt, die typischerweise bei Temperaturen oberhalb von 500 °C verarbeitet werden. Da Haltbarkeit und mechanische Belastbarkeit einer Glaslötverbindung von den auftretenden Spannungen abhängig sind, durchlaufen die meisten Fügeprozesse ein Temperatur-Zeit-Profil, was jedoch für die gesamte Baugruppe eine hohe Temperaturbelastung bedeutet. Für viele Anwendungen z. B. zur Verkapselung von Mikrosensoren bzw. Mikroaktuatoren sind diese erforderlichen Prozesstemperaturen zu hoch, so dass einzelne Komponenten bereits durch Diffusionsprozesse geschädigt werden. Die Notwendigkeit einer Niedrigtemperatur-Fügetechnik bzw. einer Fügetechnik mit lokal begrenzter Energieeinbringung ist somit angezeigt.

Vorgehensweise

Das Laserstrahllöten mittels Glaslot stellt eine Möglichkeit dar, die zum Verbinden notwendige Energie konzentriert und räumlich begrenzt in die Fügezone einzubringen und somit die Gesamterwärmung der zu fügenden Bauteile zu minimieren. Die zum Aufschmelzen, Benetzen und Verbinden der Fügeteile notwendige Energie basiert auf Absorption der beaufschlagten Laserstrahlung im Glaslot. Die lokale Energieeinbringung ist zeitlich und geometrisch so einzubringen und einzustellen, dass die für ein ausreichendes Fließen und Benetzen erforderliche Viskosität im Glaslot erreicht wird und ein Abdampfen von Glaslotbestandteilen vermieden wird.

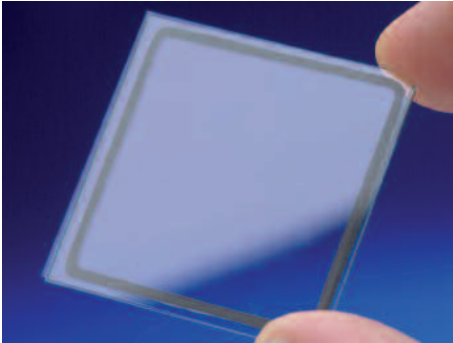
Ergebnisse und Anwendungen

Mit einer thermisch optimierten Verfahrensstrategie kann eine Überhitzung des Bauteils vermieden werden. In der Fügezone wird auf diese Weise eine gleichmäßige Erwärmung, Aufschmelzung und Verbindungsbildung des Glaslotes erreicht. Hohe Temperaturgradienten werden bei diesem Vorgehen vermieden. Das Ergebnis dieser Prozessführung ist eine homogene, riss- und blasenfreie Verlötung.

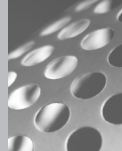
Mögliche Anwendungsfelder dieses Verfahrens sind z. B. der Verschluss von Mikrosensoren bzw. Mikroaktuatoren, die Verkapselung von organischen Leuchtmitteln oder die Fertigung von Flüssigkristalldisplays.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. H. Kind, Tel.: -135
heidrun.kind@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Ansicht einer lasergelöteten Kalknatronglas-Probe.



Aufgabenstellung

Folien lassen sich berührungslos mittels Nd:YAG-, Dioden- oder Faserlaserstrahlung (Wellenlänge jeweils um 1000 nm) im Überlapp verschweißen, wenn die obere Folie transparent und die untere Folie absorbierend gestaltet ist. Sind beide Fügepartner transparent, kann die untere Folie mit geeigneten Absorbern versehen werden, was aber oft das transparente Erscheinungsbild der Verbindung zerstört. Alternativ stehen Laser mit Wellenlängen zur Verfügung, bei denen beide Folien ein genügend hohes Absorptionsvermögen besitzen. Im Rahmen einer Machbarkeitsuntersuchung sollte überprüft werden, ob transparente, 150 µm dicke PE-Folien mittels CO₂-Laserstrahlung verbunden werden können.

Ergebnisse und Anwendungen

Bei einer mittleren Laserleistung von $P = 28 \text{ W}$ und einer Vorschubgeschwindigkeit von $v = 100 \text{ mm/s}$ wird der Laserstrahl mittels Galvanometerscanner in der horizontalen x-y-Ebene über die Folien bewegt und bei defokussiertem Strahl eine Naht von 1,5 mm Breite erzeugt. Das Anpressen der beiden Folien wird durch Spannen über eine ballige Fläche realisiert. Dies ist bereits ausreichend für den zum Schweißen erforderlichen Formschluss. Die bestehenden Kühlprobleme für Werkzeug und Umgebung bei dem derzeit eingesetzten Heißdrahtschweißen lassen sich durch das Laserverfahren umgehen. Gegenwärtig werden beide Verfahren hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit verglichen.

Vorgehensweise

Kunststoffe zeigen im infraroten Spektralbereich zwar fast alle eine sehr hohe Absorption. Dünnes Polyethylen (PE) besitzt allerdings bei 10,6 µm, der Wellenlänge des CO₂-Lasers, gut an das Überlappschweißen angepasste optische Eigenschaften. LDPE-Folie mit einer Dicke von 73 µm hat beispielsweise einen Reflektionsgrad $R = 5 \text{ Prozent}$, einen Transmissionsgrad $T = 85 \text{ Prozent}$ und einen Absorptionsgrad von nur $A = 10 \text{ Prozent}$. Daraus ergibt sich eine Eindringtiefe von 656 µm. Die obere Folie ist also genügend transparent, um den unteren Fügepartner aufzuschmelzen.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. G. Otto, Tel.: -165
gerhard.otto@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

Aufgabenstellung

Das Laserstrahlschweißen von Kunststoffen ist seit Anfang der 1990er Jahre Gegenstand der angewandten Forschung und hat die Schwelle zur industriellen Anwendung mittlerweile überschritten. Die Bandbreite dieses Verfahrens reicht von der Herstellung von Schweißnähten für Mikrotechnik-Komponenten bis zum reproduzierbaren und prozesssicheren Verbinden großer Bauteile mit hochbelastbaren Schweißnähten. Durch neue Entwicklungen bei medizinischen und biotechnologischen Mikrosystemen steigen die Anforderungen an das Fügeverfahren hinsichtlich einer Miniaturisierung. Mit der Kombination eines Faserlasers und einer innovativen, hochdynamischen Bestrahlungsstrategie wurde hierfür ein neues Verfahren entwickelt - **Transmission Welding by an Incremental Scanning Technique (TWIST)**.

Vorgehensweise

Dieser neue Ansatz TWIST verbindet die inkrementelle Vorgehensweise des Konturschweißens mit der hohen Dynamik und den damit einhergehenden Effekten des Quasisimultanschweißens. Solch komplexe, genaue und schnelle Bewegungen des Laserstrahls können nur mit den Komponenten der Hochgeschwindigkeitsscantechnologie wie Galvanometer, Polygonscanner oder Resonanzscanner realisiert werden. Es gibt mehrere Möglichkeiten, solche Schweißnähte herzustellen. Die unterschiedlichen Bewegungselemente wie Kreise, sinusförmige Bewegungen oder Bernoulli's Lemniskaten können zu komplex geformten Nahtgeometrien kombiniert werden. Wenn der Laserstrahl mit einer sehr hohen Bahngeschwindigkeit von bis zu 4 m/s in einem solchen Element bewegt wird und

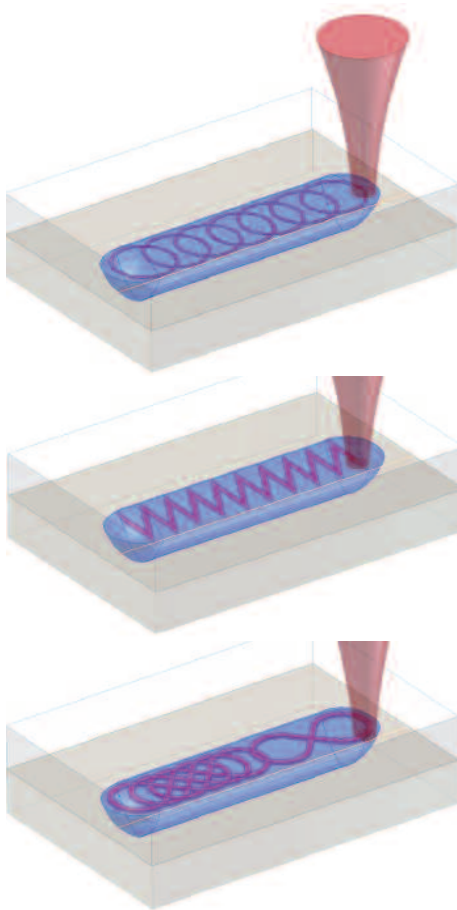
gleichzeitig dieses Element mit der gewünschten Vorschubgeschwindigkeit entlang der gewünschten Nahtkontur geführt wird, lassen sich hochwertige Schweißnähte bei Fügegeometrien $< 100 \mu\text{m}$ erzeugen.

Ergebnisse und Anwendungen

Eine reduzierte Wärmeeinflusszone mit flexibler Einstellung der Schweißnahtbreite zwischen $130 \mu\text{m}$ und $500 \mu\text{m}$ sowie die grundsätzliche Eigenschaft, dass die Bauteile ohne Abzeichnung und mit geringem Verzug verschweißt werden können, sind die herausragenden Eigenschaften des TWIST-Verfahrens. Insbesondere aktuelle Entwicklungen bei Mikrofluidikbauteilen erfordern innovative Fügeverfahren, da Kanalstrukturen mit einer Breite von $50 \mu\text{m}$ versiegelt werden müssen. Beim konventionellen Konturschweißen ist die Wärmeeinflusszone zu groß und die Kanäle können durch Schmelze verschlossen werden. Die Funktion des Bauteils kann nicht mehr erhalten werden. Auch beim Verschweißen dünner Folien (Polypropylen, $100 \mu\text{m}$ dick) findet das TWIST-Verfahren Anwendung. Mit solchen Vorteilen erweitert das neue Verfahren die Anwendbarkeit des Laserstrahl-Schweißens von Kunststoffen und führt zu einer größeren Prozessflexibilität sowie einer höheren Präzision im Mikro- bis Makrobereich.

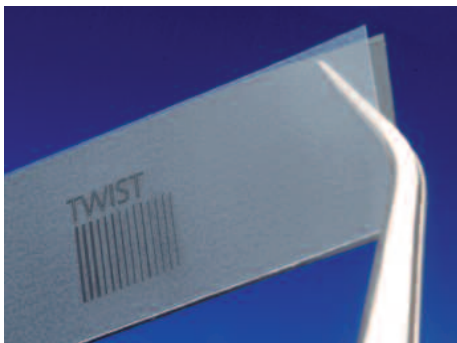
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. A. Boglea, Tel.: -217
andrei.boglea@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Verschiedene Bestrahlungsstrategien des TWIST-Verfahrens.

Unten: Dichtschweißen von Membranen mit variablen Schweißnahtbreiten.



Aufgabenstellung

Kunststoff als Konstruktionswerkstoff wird zunehmend wichtiger für eine Vielzahl von Produkten im technischen Umfeld. Häufig müssen Kunststoffkomponenten hierbei mit anderen Bauteilen z. B. aus Metall oder Keramik verbunden werden.

Vorgehensweise

Mit einem neu entwickelten laserbasierten Verbindungsverfahren können innerhalb kürzester Zeit hochfeste Verbindungen zwischen Kunststoffen und anderen Werkstoffen erzeugt werden.

Das als LIFTEC bezeichnete und zum Patent angemeldete Verfahren basiert auf der Tatsache, dass alle thermoplastischen Kunststoffe im unpigmentierten Zustand transparent oder zumindest transluzent sind. Bei Prozessbeginn wird das zu fügende Bauteil oder eine Teilkomponente davon durch den zu fügenden Kunststoffpartner hindurch mit Laserstrahlung erwärmt. Das Bauteil wird unter mechanischem Druck auf das Kunststoffteil gedrückt. Dabei erwärmt sich der Kunststoff über Wärmeleitung auf eine Temperatur oberhalb seiner Schmelztemperatur und das zu verbindende Bauteil bzw. ein Teil davon dringt in den Kunststoff ein. Bei Auswahl einer geeigneten Bauteilgeometrie wird nach der Abkühlung eine feste, formschlüssige Verbindung erzielt.

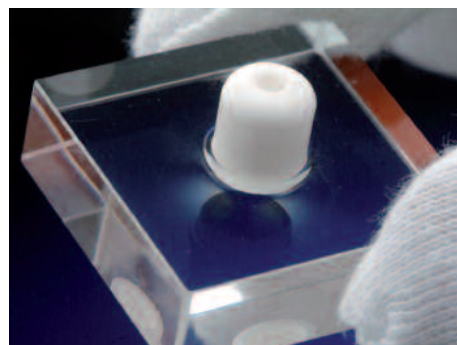
Die Erwärmung mit Laserstrahlung ist im Vergleich zu heute bereits verwendeten Heizkonzepten quasi unabhängig von der Wärmeleitfähigkeit und der elektrischen Leitfähigkeit des einzudrückenden Materials. Daher können neben Metallen unter anderem auch keramische Werkstoffe mit Kunststoffen verbunden werden. Hierbei ergibt die Eigenschaftskombination beider Werkstoffe hybride Bauteile mit einer großen mechanischen Festigkeit (Härte), Verschleißfestigkeit sowie guter Temperaturstabilität bei gleichzeitig geringem Gewicht und variabler Formgebung. Werden Kunststoffe mit unterschiedlichen Schmelztemperaturen eingesetzt, ist auch das Fügen zweier Kunststoffe miteinander möglich sowie die Verbindung von Kunststoff mit Holz.

Ergebnisse und Anwendungen

Grundsätzliche Einsatzbereiche des Verfahrens sind überall dort, wo eine Eigenschaftskombination der beiden Werkstoffe Kunststoff und Metall bzw. Keramik sinnvoll erscheint. Dazu zählt beispielhaft das Fügen von Kunststoffbrillengläsern mit dem Gestell, bei dem sich neben einer Festigkeitssteigerung und der Sicherung gegen Lockern neue Designmöglichkeiten ergeben. Ein weiteres Anwendungsfeld ist das Fügen von Kunststofffenstern oder Fassaden mit einem metallischen Rahmen. Auch hierbei kann eine hochfeste Verbindung mit großer Dichtigkeit erzielt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. J. Holtkamp, Tel.: -273
jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Metallgewinde in Kunststoff.

Unten: Kunststoff-Keramik-Verbund.

Aufgabenstellung

Für eine spezielle Anwendung auf dem Gebiet der Bioverfahrenstechnik werden handelsübliche 96-fach-Mikrotiterplatten derart modifiziert, dass jeweils zwei benachbarte Kavitäten mit einem kleinen Kanal in der Abdeckung verbunden sind. Die Abdichtung der Kavitäten und Kanäle erfolgt mittels einer Klebefolie, die zu diesem Zweck $8 \times 12 = 96$ kreisförmige Aussparungen aufweisen muss.

Vorgehensweise

Die Klebefolie mit einer Materialstärke von 0,25 mm ist auf einer Kunststoff-Trägerfolie der Dicke 0,15 mm aufgebracht und muss auch in dieser Kombination geschnitten werden. Nach dem Schnitt wird die Trägerfolie entfernt

und die Klebefolie auf die Mikrotiterplatte aufgebracht. Kunststoffe absorbieren Strahlung im infraroten Spektralbereich sehr gut, so dass für diese Aufgabe ein CO₂-Laser mit einer Wellenlänge von 10,6 µm verwendet wird. Im Rahmen von Vorversuchen wurden zunächst die zum Schneiden wichtigen Parameter Vorschubgeschwindigkeit v , Laserleistung P sowie Düsendruck und -abstand für eine minimale Schädigung der Klebeschicht bestimmt. Im nächsten Schritt erfolgte der Aufbau einer konturangepassten Folieneaufnahme, mit der mittlere Stückzahlen von jeweils ca. 100 Stück reproduzierbar geschnitten werden können.

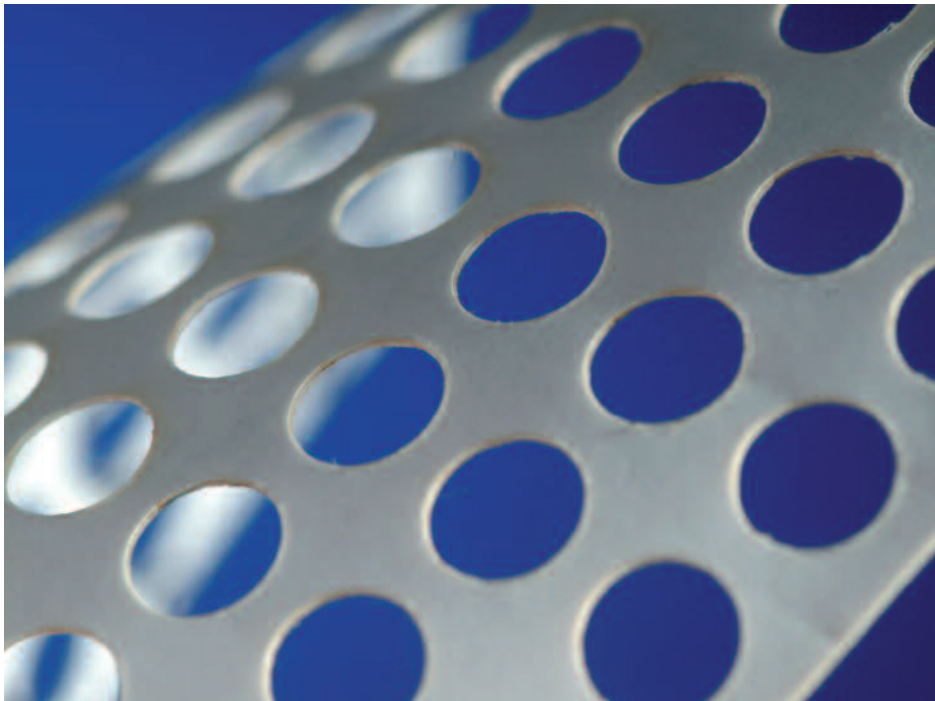
Ergebnisse und Anwendungen

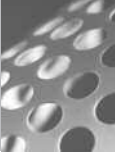
Mit einem x-y-Achsensystem, einem CO₂-Laser und einem Schneidkopf, der eine Linse mit einer Brennweite von $f = 63,5$ mm enthält, konnte der Verbund aus Klebe- und Trägerfolien schmauchfrei bei $v = 80$ mm/s und $P = 25$ W geschnitten werden. Die Folieneaufnahme ist gut geeignet, um kleinere Stückzahlen reproduzierbar zu schneiden. Für eine zukünftig beabsichtigte Verkürzung der Taktzeit muss die derzeitige manuelle Bestückung automatisiert werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. G. Otto, Tel.: -165
gerhard.otto@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

Lasergeschnittener Verbund aus Klebe- und Trägerfolie, Dicke 0,4 mm, Lochdurchmesser 6,5 mm, Lochraster für 8 x 12-Mikrotiterplatte.





Aufgabenstellung

Die Wirkung der Überschallströmung und deren Wechselwirkung mit dem schnell strömenden Metaldampf sind von besonderer Bedeutung für die Qualität des Feinschneidens. Das Verständnis des Zusammenhangs der Schneidparameter mit den Qualitätsmerkmalen und die Möglichkeiten zur Verbesserung sowie die Grenzen des Verfahrens werden analysiert.

Vorgehensweise

Die Berechnung der Strömung eines Schneidgases in konischen, konisch-zylindrischen und Lavaldüsen wird durchgeführt. Eine Parameterstudie bzgl. der acht Düsenparameter zeigt deren Zusammenhang mit drei Ergebnisparametern, die für das Schneiden wesentlich sind: Massenstrom in der Schneidfuge, Gasdruck- und Gasgeschwindigkeit entlang der Schneidfront. Nachfolgend wird die Kopplung der Gasströmung mit der Bewegung von Schmelzfront, Schmelze und Dampf untersucht.

Ergebnisse und Anwendungen

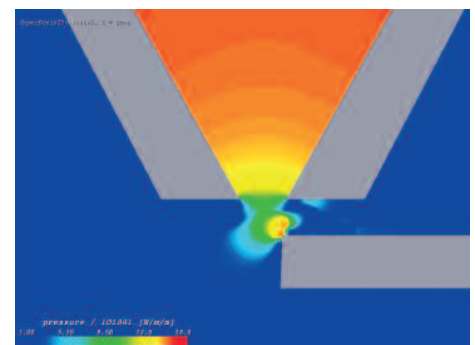
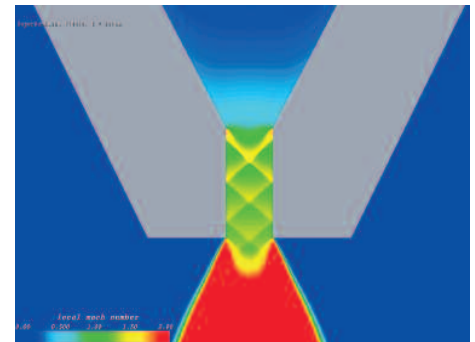
Die Ergebnisse zeigen, dass die Rückwirkung der Staupunktströmung auf die Düsenströmung ein wesentliches Phänomen des Feinschneidens ist. Die antreibenden Kräfte (Druckgradient, Scherspannung) entlang der Schnittkante zeigen eine starke Abhängigkeit von den Düsenparametern (Bild oben), aus der die Prozessdomänen mit qualitativ unterschiedlichem Lösungsverhalten identifiziert werden. Die einzelnen Prozessdomänen werden durch das dominante Auftreten unterschiedlicher physikalischer Phänomene unterschieden: Rückwirkung der Gasströmung in die Gasdüse, Einstromen von Metaldampf in die Gasdüse (Bild unten), Ablösung der Gasströmung von der Oberkante des Schnitts, Beschleunigung der Schmelze entgegen der Richtung der Gasströmung und Ablösung von Schmelztropfen an der Oberkante des Schnitts.

Die Bestimmung eines geeigneten Düsentyps, der Düsenparameter und die Sensitivität der Parameter auf die Lösung werden angegeben.

Die vorgestellten Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG unter dem Kennzeichen SCHU1506/1-1 gefördert und werden im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« weitergeführt.

Ansprechpartner

U. Jansen, Tel.: -163
ulrich.jansen@ilt.fraunhofer.de
Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Die Mach Zahl einer zylindrisch-konischen Düse.
Unten: Der Druck durch Verdampfung und Strömung von Gas und Dampf.

Aufgabenstellung

Eine Anwendung des Schneidens von sprödharten Werkstoffen mit kleiner Bauteildicke im Vergleich zu den lateralen Dimensionen ist das rissfreie Schneiden von Silizium. Um die Bruchfestigkeit von Si-Wafern zu verbessern, wird die durch Risse degradierte Randzone aufwendig im Säurebad abgetragen.

Ein besseres Verständnis des Schneidens sprödharter Werkstoffe soll noch nicht genutzte Potentiale und Grenzen des Feinschneidens aufzeigen.

Vorgehensweise

Die Strömung des Schneidgases und insbesondere seine mechanische Wirkung auf den dünnen Wafer werden in Abhängigkeit der Düsenparameter untersucht. Neben der Gasströmung wird das Material mechanisch belastet, wenn der Rückstoßdruck des verdampfenden Werkstoffs zu Pulsbeginn große Werte annimmt. Die Wärmewirkung des Schneidens erzeugt radiale und azimutale Spannungen in der Umgebung der Schneidfront, die mit der Bruchspannung verglichen werden.

Zur Berechnung der Überschallströmung des Schneidgases wird die vorhandene Simulation der reibungsfreien Euler Gleichungen um die Berücksichtigung der Wechselwirkung mit dem abdampfenden Silizium erweitert.

Ergebnisse und Anwendungen

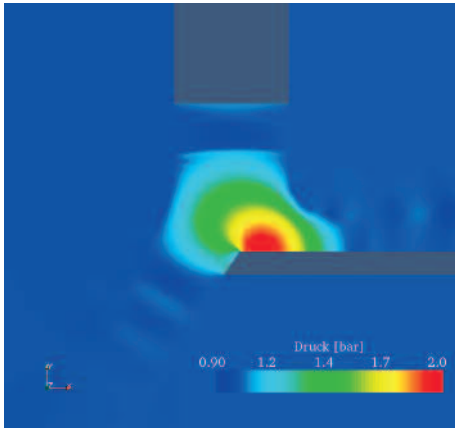
Als Ergebnis werden die mechanischen Lasten aufgrund der Gasströmung, des Verdampfens (Bild oben) und der thermomechanischen Wirkung (Bild unten) als zeitlich und räumlich verteilte Größen angegeben.

Der thermomechanische Lastzyklus bewirkt eine Rissbildung mit einer charakteristischen räumlichen Struktur (Bild unten). Der dynamische Spannungszustand im Material erzeugt eine Rissausbreitung senkrecht zur Schnittkante, der von dem Spannungsfeld in azimutale Richtung umgelenkt wird. Die Änderung der Ausbreitungsrichtung findet in einem Abstand von der Größenordnung der thermischen Eindringtiefe statt. Die im Material deponierte thermische Energie und die Eindringtiefe der Wärme hängen eng mit dem Auftreten und der Länge des Risses zusammen.

Die vorgestellten Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG unter dem Kennzeichen SCHU1506/1-1 gefördert.

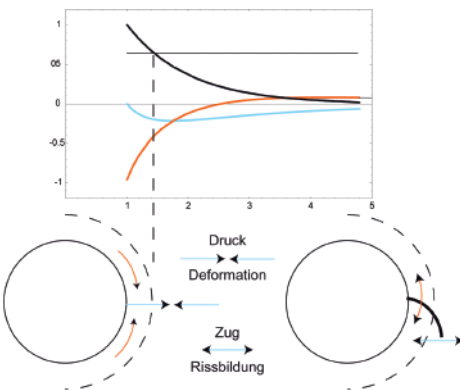
Ansprechpartner

Dr. M. Niessen, Tel.: -307
markus.niessen@ilt.fraunhofer.de
Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Verteilung des Drucks einer Überschallgasströmung.

Unten: Rissbildung, Temperatur (schwarz), radiale Spannung (blau), azimutale Spannung (rot).



Aufgabenstellung

In der Industrie besteht eine hohe Nachfrage nach präzisen Bohrungen mit definierter Form im Durchmesserbereich kleiner 100 µm mit hohem Aspektverhältnis. Zu nennen sind hier beispielsweise Bohrungen für Düsen (Einspritzdüsen, Spinndüsen), für Luftlager oder auch Schmier- und Entlüftungsbohrungen. Insbesondere werden dabei auch Formbohrungen mit positivem Aufweitungsverhältnis, d. h. mit einem größerem Bohrungsausritt als -eintritt benötigt. Durch konventionelle Laserbohrverfahren wie dem Perkussionsbohren können solche Bohrungen nicht hergestellt werden. Mit der bekannten Technik des Trepanierens werden die benötigten kleinen Durchmesser nicht erreicht. Auch ist die Präzision bezüglich der Rauheit der Bohrungswandung nicht hoch genug. Demgegenüber erfüllt die Jüngste der Laserstrahlbohrtechniken, das Wendelbohren, die genannten Anforderungen.

Vorgehensweise

Beim Wendelbohren trägt die rotierende Laserstrahlung das Material durch eine Vielzahl hochenergetischer, kurzer Laserpulse ab, während sich die Laserstrahlung in die Tiefe des Werkstücks bewegt. Durch die kontinuierliche Rotationsbewegung entlang der Bohrungswandung wird eine glatte, homogene Oberfläche erreicht. Die unterschiedlichen Aufweitungsverhältnisse werden durch eine Variation des Anstellwinkels der Laserstrahlung gegenüber dem Werkstück erzeugt. Die Laserstrahlung rotiert dann entlang der Mantelfläche eines Kegels, dessen Öffnungswinkel zum Aufweitungswinkel der Bohrung proportional ist. Die Herstellung kleiner Bohrungen wird durch

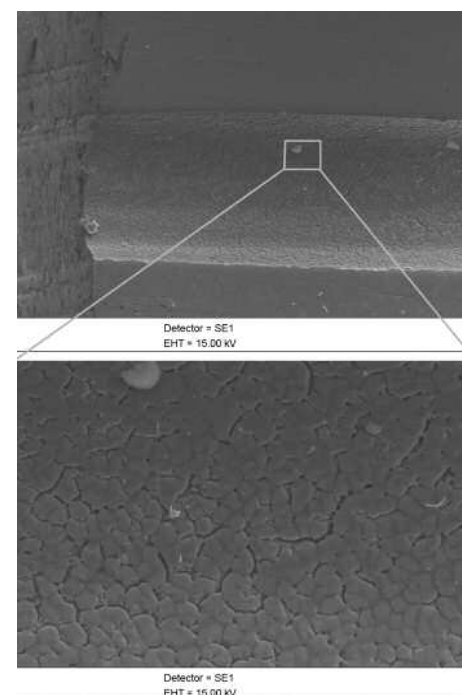
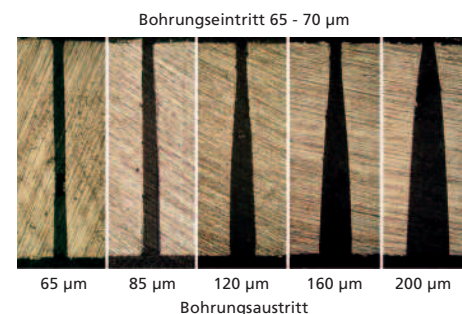
eine Verfahrensvariante des Wendelbohrens ermöglicht. Bei der am Fraunhofer ILT entwickelten Wendelbohr-optik rotiert die Laserstrahlung zusätzlich zu der Rotationsbewegung gegenüber dem Werkstück auch in sich selbst. Durch diese überlagerte Eigenrotation können Wendelbohrungen bis hinunter zu einem Durchmesserbereich eingebracht werden, der dem Perkussionsbohren entspricht.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit dem Wendelbohren mit Eigenrotation können Formbohrungen mit einem Aufweitungsverhältnis von Eintrittsdurchmesser zu Austrittsdurchmesser von 1:3 für 1 mm Bauteildicke bis 1:4 für 2 mm Dicke erzeugt werden. Die Rauigkeit der Bohrungswandung liegt in einem Bereich von $R_a < 1 \mu\text{m}$. Durch Änderung des Anstellwinkels der Laserstrahlung sowie des Bohrungsdurchmessers während des Bohrprozesses können auch Bohrungen mit Ansenkungen am Bohrungseintritt oder definierten Querschnittsverengungen innerhalb der Bohrung hergestellt werden.

Ansprechpartner

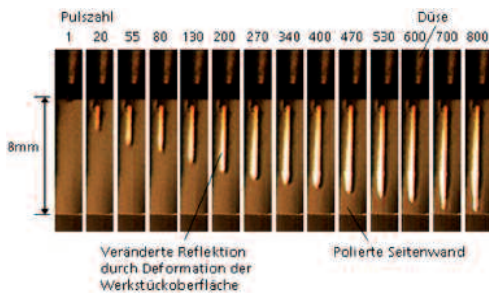
Dipl.-Ing. W. Wawers, Tel.: -311
welf.wawers@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Beispiele verschiedener Aufweitungsverhältnisse. X5 CrNi 18 - 10, $d = 1 \text{ mm}$.
Unten: REM-Aufnahme der Bohrungswandung einer Wendelbohrung in X5 CrNi 18 - 10.

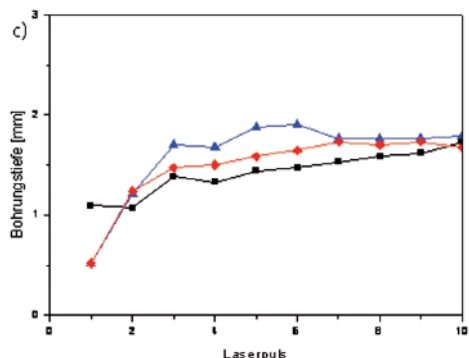
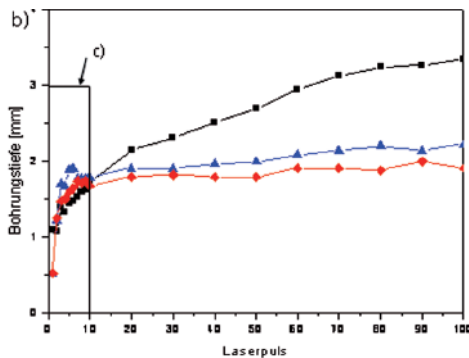
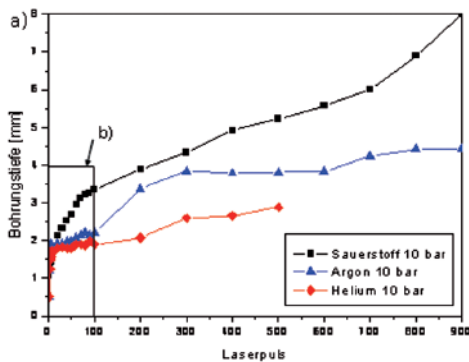
Aufgabenstellung

Die erzielten geometrischen Ergebnisgrößen von Laserstrahlbohrungen wie z. B. die Bohrungstiefe werden anhand zerstörender Prüfverfahren wie dem Längsschleifen von Bohrungen mit anschließender mikroskopischer Untersuchung analysiert. Zum Ersetzen des zerstörenden Prüfverfahrens sowie zur Reduzierung des Zeit- und Kostenaufwandes wird eine neue Methode zur in-situ Ermittlung der Bohrungstiefe während des Perkussionsbohrens angewendet.



Vorgehensweise

Die Bohrung wird mit einem definierten Abstand (ca. 100 μm) zur polierten Seitenwand des Werkstücks aus Edelstahl eingebracht. Durch Aufheizen während des Laserpulses und Abkühlen in der Pause zwischen zwei aufeinander folgenden Laserpulsen werden plastische Verformungen (Deformationen) in der Seitenwand des Werkstückes induziert. Die Deformationen werden mit einer zur Laserstrahlquelle synchronisierten Hochgeschwindigkeitskamera (Motion Xtra HG-100K der Fa. Redlake) lateral fotografiert (Bild oben). Die Fotografien



Oben: Fotografien der Oberflächendeformationen während des Perkussionsbohrens.
Unten: Gemessene Bohrungstiefe in Abhängigkeit der Laserpulse für die Prozessgase Sauerstoff, Argon und Helium bei konstanten Verfahrensparametern.

werden jeweils zwischen zwei Laserpulsen aufgenommen, um mögliche Überbelichtungen durch optische Emission beim Bohren (Schmelze, Plasma etc.) zu vermeiden. Bei der Auswertung wird die Auflösung ($\mu\text{m}/\text{Pixel}$) der Fotografie bestimmt und die Länge der Deformationen anhand der Pixelanzahl im Foto gemessen.

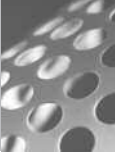
Ergebnisse und Anwendungen

Zerstörende Prüfverfahren werden durch die in-situ Ermittlung der Bohrungstiefe während des Perkussionsbohrens ersetzt. Die Tiefe von Laserstrahlbohrungen wird mit einer zeitlichen Auflösung von 50 ms bestimmt. Die räumliche Auflösung beträgt 29 $\mu\text{m}/\text{Pixel}$ und ist abhängig von der Vergrößerung der Kameraoptik und der Größe sowie Pixelzahl des Kamerasensors.

Mithilfe der ermittelten Bohrungstiefen wird der Bohrfortschritt für verschiedene Prozessparameter untersucht (Bilder unten).

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. J. Dietrich, Tel.: -479
jens.dietrich@ilt.fraunhofer.de
Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

In Kernkraftwerken werden präzise Düsenbohrungen mit einem Durchmesser von 350 µm und einer Tiefe von 2 mm benötigt. Aufgrund der großen thermomechanischen Belastung wird für die Bauteile die Nickelbasis-Superlegierung Inconel® 690 eingesetzt. Diese austenitische Legierung ist durch eine große Kaltverfestigung und Zähigkeit sowie eine kleine Wärmeleitfähigkeit gekennzeichnet. Bei der spanenden Bearbeitung, insbesondere beim mechanischen Bohren, führt dies zu großer Werkzeugbelastung und -verschleiß. Durch Trepanieren mit Laserstrahlung werden diese Bohrungen mit der geforderten Präzision des Bohrungsdurchmessers von ± 25 µm und im Vergleich zu alternativen Verfahren wie EDM (Electro Discharge Machining) oder ECM (Electro Chemical Machining) mit geringem Aufwand hergestellt.

Vorgehensweise

Das Trepanieren erfolgt in zwei Prozessschritten:

1. Herstellen einer Durchgangsbohrung durch Perkussionsbohren (mehrere Pulse auf dieselbe Stelle des Werkstücks).
2. Erzeugen des Enddurchmessers der Bohrung durch Trepanieren (Schneiden mit Laserstrahlung).

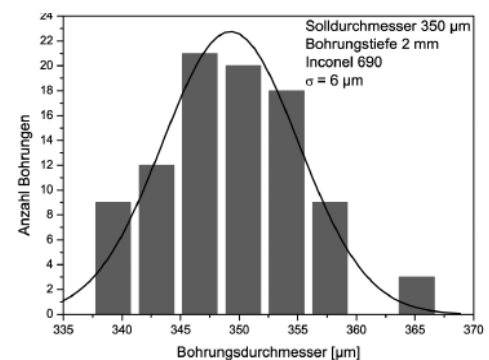
Für beide Schritte werden geeignete Prozessfenster ermittelt durch systematische Variation von z. B.:

- Fokusslage beim Trepanieren,
- Vorschubgeschwindigkeit und
- Anzahl der Umdrehungen.

Zur Analyse der erzielten Bohrungsergebnisse hinsichtlich Geometrie und Metallurgie werden Längsschliffe angefertigt, untersucht und bewertet.

Ergebnisse und Anwendungen

- Die Bohrungen in 2 mm dickem Inconel® 690 mit einem Durchmesser von 350 µm können mit einer Standardabweichung von 6 µm hergestellt werden.
- Die vom Kunden vorgegebene Durchmesser-Toleranz von ± 25 µm wird bei allen Bohrungen erzielt.
- Für die Bohrungsdurchmesser wird eine 100 Prozent Endkontrolle mittels Durchlicht-Mikroskopie durchgeführt. Die Durchmesser werden mit einer Bildverarbeitungssoftware gemessen und dokumentiert.



Oben: Längsschliff einer Bohrung in Inconel® 690.

Unten: Histogramm der Auswertung von 93 Bohrungsdurchmessern.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. K. Walther, Tel.: -409
kurt.walther@ilt.fraunhofer.de
Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de

Aufgabenstellung

Für die Herstellung von Bohrungen mit Laserstrahlung werden verschiedene Bohrtechniken wie z. B. Einzelpuls-, Perkussions- oder Trepanierbohren eingesetzt. Um eine spezifizierte Bohrlochgeometrie zu erzielen, ist eine genaue Kenntnis der Bearbeitungsparameter (Intensitätsverteilung der Laserstrahlung, Fokusslage, Prozessgas) und der Materialeigenschaften erforderlich. Prozessgasart und -druck haben dabei eine entscheidende Bedeutung für die Produktivität (Bohrgeschwindigkeit) und die Qualität der Bohrung (Geometrie und Reproduzierbarkeit).

Vorgehensweise

In Untersuchungen werden für unterschiedliche Einstellungen des Prozessgases (Art und Druck) Perkussionsbohrungen mit zunehmender Pulszahl hergestellt. Die Bohrungen werden anhand von Längsschliffen metallografisch präpariert und metallurgisch ausgewertet. Dabei werden die Eindringtiefen (maximale Tiefe bis zu der Material aufgeschmolzen worden ist) und die freie Bohrlochtiefe (Tiefe bis zum ersten Verschluss der Bohrung) bestimmt. In den beiden Abbildungen sind jeweils der Verlauf der Eindringtiefe (untere gestrichelte Linie) und der Verlauf der freien Bohrlochtiefe (obere Linie) dargestellt.

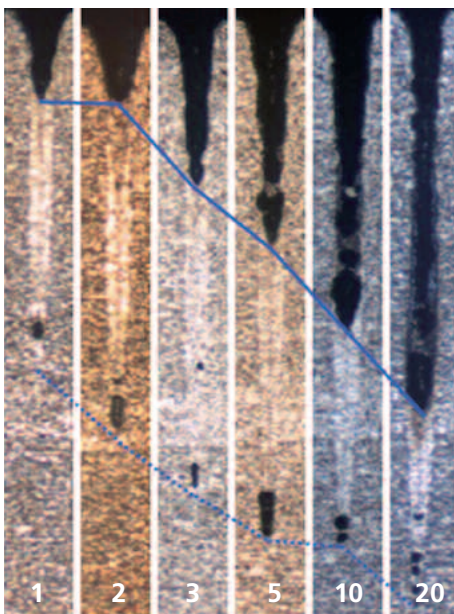
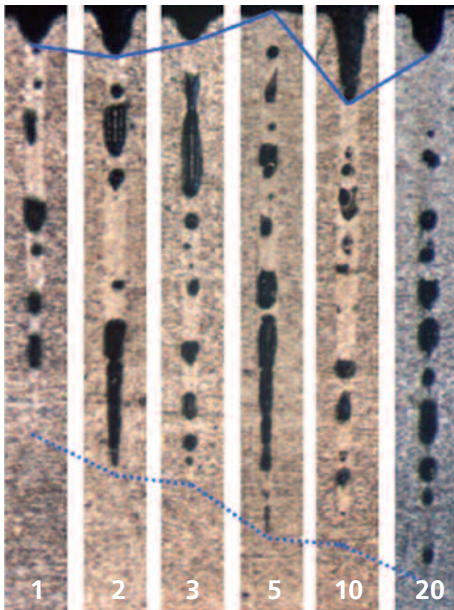
Dabei werden signifikante Unterschiede für die beiden Prozessgase Argon und Sauerstoff bei einem Totaldruck von 5 bar festgestellt. Der Bohrkanal ist beim Prozessgas Argon durchsetzt von Einschlüssen, während die Bohrungen mit Sauerstoff jeweils nur Einschlüsse am Grund des Bohrkanals aufweisen. Mit Sauerstoff wird bei zunehmender Pulszahl die Schmelze ausgetrieben, die nach dem ersten Puls noch fast den gesamten Bohrkanal ausfüllt. Für die Bohrungen mit dem Prozessgas Argon ergibt sich eine unregelmäßige Verteilung der Einschlüsse und keine klare Tendenz bezüglich der Bohrlochtiefe.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Untersuchungen zeigen, dass die Prozessgas-Parameter einen großen Einfluss auf das Bohrergebnis haben. Je nach Anwendungsfall und Spezifikationen der Bohrung (wie z. B. Bearbeitungsdauer, Durchmesser Toleranz oder zulässiger Oxidschicht-Dicke) muss deshalb, neben den Laser-Parametern, auch das Prozessgas entsprechend eingestellt werden. Durch eine an die Bohrlochtiefe angepasste dynamische Druckregelung wird schneller und mit kleinerer zeitlicher Schwankung der Bearbeitungsdauer eine Durchgangsbohrung hergestellt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. K. Walther, Tel.: -409
kurt.walther@ilt.fraunhofer.de
Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Oben: Argon 5 bar, Bohrungen in Abhängigkeit der Pulsanzahl.

Unten: Sauerstoff 5 bar, Bohrungen in Abhängigkeit der Pulsanzahl.

Aufgabenstellung

Die Diagnose beim Laserstrahlbohren umfasst in der Regel die laterale Beobachtung der Gas- und Plasmadynamik oberhalb der Bohrung, die koaxiale Beobachtung der aus der Bohrung emittierten optischen Strahlung (in-situ) oder die metallurgische Analyse mittels Licht- oder Elektronenmikroskopie. Aufgrund der eingeschränkten optischen Zugänglichkeit der Bohrung sind durch die Beobachtung der oberflächennahen Prozesse (Ausbreitung des Plasmas im Halbraum) nur unzureichende Aussagen über die Dampf- und Plasmadynamik möglich. Alternative Ansätze wie die optische Prozessbeobachtung beim Bohren in transparentem Material ermöglichen aufgrund der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften nur begrenzt Hinweise auf Prozesse in Metallen. Zerstörungsfreie Verfahren wie das Abbilden der Bohrungen mit Röntgenstrahlung sind aufgrund der kleinen zeitlichen und räumlichen Auflösung nicht geeignet, die Dynamik der Prozesse aufzulösen.

Vorgehensweise

In Metallfolien unterschiedlicher Dicke (30 - 100 μm) werden Sacklochbohrungen präpariert, indem in die Folien Schnitte eingebracht werden. Die Fugenbreite der Schnitte entspricht dem Bohrungsdurchmesser. Auf die Metallfolien werden von beiden Seiten optisch transparente Materialien als Fenster aufgesetzt. An diesen präparierten Bohrungen wird der Bohrprozess fortgesetzt, durch die Fenster lateral mit Hochgeschwindigkeitsfotografie beobachtet (Abbildung unten) und zeitlich und 2-D räumlich aufgelöst die Dynamik des Plasmas bzw. der Schockfront ermittelt (Abbildung oben). Die Messungen enthalten die Ausdehnung und die

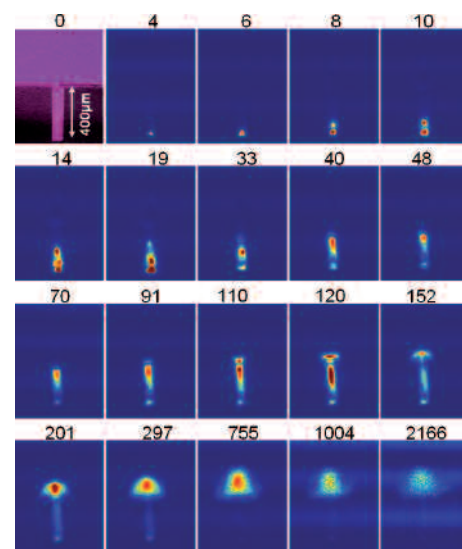
Expansionsgeschwindigkeit des Plasmas und der Schockfront. Mit einem vergleichbaren experimentellen Aufbau werden mittels Spektroskopie Intensität und Verbreiterung von Spektrallinien gemessen und daraus Elektronendichten und -temperaturen im Plasma bestimmt. Diese Größen ermöglichen die Berechnung des orts- und zeitaufgelösten Absorptionskoeffizienten im Plasma sowie der Plasmafrequenz in der Bohrung. Aus den Ergebnissen lassen sich optische Eigenschaften des Plasmas (Absorption und Brechung) ableiten und über Anpassung der nachfolgenden Pulse zur Optimierung des Bohrprozesses hinsichtlich Qualität (z. B. Schmelzfilmdicke) und Produktivität (z. B. Bohrgeschwindigkeit) verwenden.

Ergebnisse und Anwendungen

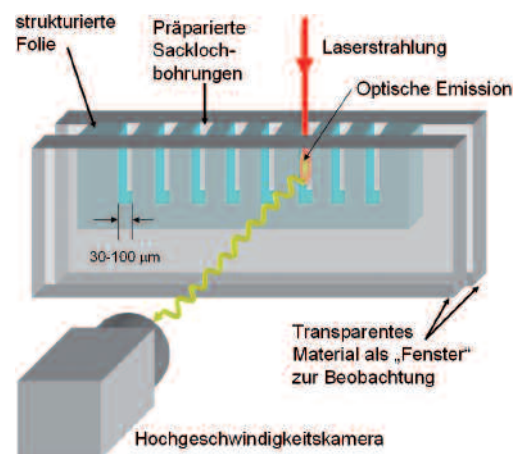
- Zeit- und ortsaufgelöste Diagnose der optischen Emission des in der Bohrung raumbeschränkten Plasmas
- räumliche Auflösung $\geq 1 \mu\text{m}$, zeitliche Auflösung $\geq 1 \text{ ns}$
- Expansionsgeschwindigkeit und Ausdehnung von Plasma und Schockfront
- Elektronen- und Ionentemperaturen und -dichten innerhalb von Bohrungen

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. M. Brajdic, Tel.: -205
 mihael.brajdic@ilt.fraunhofer.de
 Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
 ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Oben: Zeitliche Expansion des Plasmas innerhalb präparierter Sacklochbohrungen mit Zeitpunkten der Aufnahmen relativ zum Pulsbeginn in ns.
Unten: Versuchsaufbau.



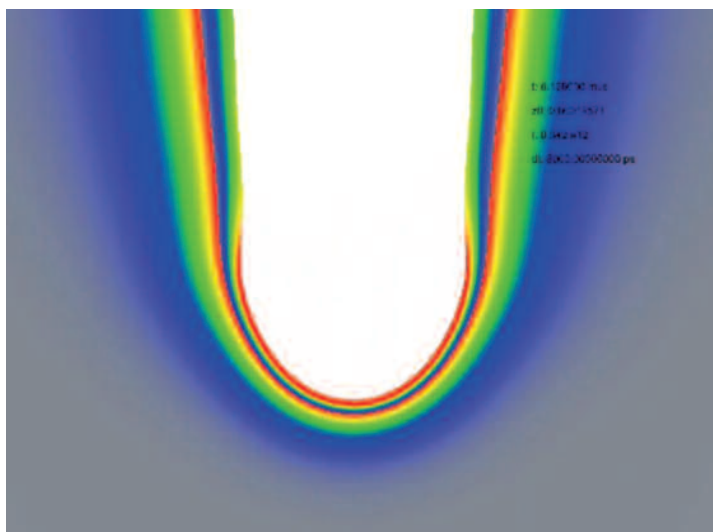
Aufgabenstellung

Ein räumlich aufgelöstes Bohrmodell, das in der Lage ist, die zeitliche Ausbildung der Bohrungsform anzugeben, ist für das Verständnis der physikalischen Mechanismen beim Bohren mit Laserstrahlung von wesentlicher Bedeutung. Die Anwenderfragestellung zielt darauf, Möglichkeiten zum Vermeiden der Bildung von Recast an der Bohrungswand aufzufinden.

Vorgehensweise

Das Vorläufermodell beschreibt das Bohren durch eine räumlich integrale Beschreibung des Bohrungsgrundes. Die physikalischen Phänomene der Wärmeleitung, Schmelzströmung und Verdampfung werden berücksichtigt. Das Modell wird um die räumliche Auflösung am Bohrungsgrund erweitert. Die geometrische Form der entstehenden Bohrung wird berechnet bzw. ist ein Teil der Lösung. Durch Analyse des Bohrmodells für die Verfahrensvariante des Perkussionsbohrens wird das Abkühlen der ausströmenden Schmelze während des Bohrens untersucht.

Simulation des räumlich aufgelösten Modells.



Ergebnisse und Anwendungen

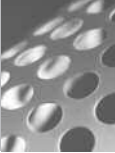
Die Ausbildung der Bohrung durch Austrieb einer schmelzflüssigen Phase erfolgt durch die Beschleunigung von Schmelze, die am Bohrungsgrund entsteht und deren Verzögerung entlang der Bohrungswand. Die Bildung von Recast an der Bohrungswand ist die Folge des Fließgleichgewichts, das von dem Heizen an der Oberfläche der Schmelze, dem Wärmetransport in der strömenden Schmelze und dem Abkühlen in dem umgebenden Werkstoff abhängt. Die Ergebnisse einer ersten Modellaufgabe für das räumlich aufgelöste Bohrmodell sind im Bild zu sehen. Der Bohrungsgrund, die Temperatur im Festen und in der Schmelze, die Strömungsgeschwindigkeit der Schmelze, die Schmelzfilmdicke und die Recastdicke an der Bohrungswand sind Teile der zeitabhängigen Lösung.

Die Berücksichtigung der lokalen Vorgänge am Bohrungsgrund ermöglicht erstmals die Simulation und die detaillierte Analyse des Modells bei der Ausbildung der Bohrung und beim Strukturieren und Abtragen.

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

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. U. Eppelt, Tel.: -163
urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de
Prof. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Die systemische Gabe von Wirkstoffen zur Therapie von lokalen Gefäßerkrankungen hat den Nachteil, dass eine große Menge vom Wirkstoff in den Blutkreislauf gegeben werden muss. Die Konzentration des Wirkstoffs am Zielort kann unter diesen Bedingungen nicht genau dosiert werden. Eine bessere Dosierung am Zielort könnte erfolgen, wenn der Wirkstoff durch kleine Poren eines direkt an der Gefäßwand anliegenden Ballonkatheters austreten würde.

Vorgehensweise

Ballonkatheter werden in der Medizin eingesetzt, wenn Gefäße erweitert oder vorübergehend Sonden örtlich fixiert werden sollen. Die Ballonhülle ist zuerst beim Einführen eng um einen Führungskatheter gefaltet und wird dann am Wirkungsort durch Füllen mit physiologischer Salzlösung expandiert. In die Ballonhülle des Katheters werden mit einem ArF-Excimerlaser kleine Öffnungen gebohrt, durch die der Wirkstoff dann zusammen mit der Salzlösung austreten kann. Die geeignete Größe und Anzahl der Bohrungen wird in Vorversuchen im Wasserbad ermittelt.

Ergebnisse und Anwendungen

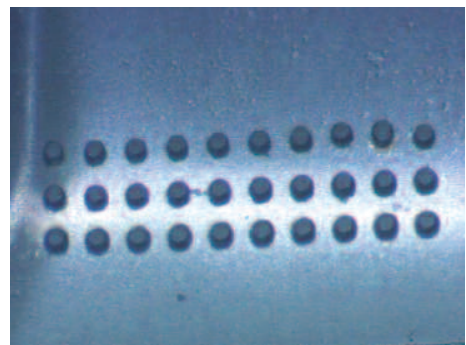
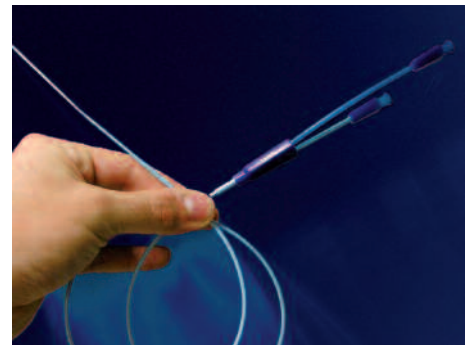
Mit dem Excimerlaser können in die Ballonhülle Bohrungen ohne sichtbare Degradation eingebracht werden. Die Gefahr der Freisetzung von Partikeln ist im Einsatz gering, da eventuell vorhandene Partikel durch die Spülflüssigkeit abtransportiert werden.

Ab Durchmessern von 20 μm wird bei einem Vordruck von 5 bar eine stabile Durchflussrate gemessen. Typischerweise ergeben Bohrungen von 30 μm Durchmesser eine Durchflussrate von 30 $\mu\text{l/min}$. Der Vordruck kann dabei in einem Bereich von 1,5 - 6 bar variiert werden, um den Durchfluss zu steuern. Die Dosierung kann durch die Anpassung der Anzahl und Größe der Poren erfolgen.

In Kooperation mit PD Dr. G. A. Krombach, Klinik für Radiologische Diagnostik, Universitätsklinikum Aachen.

Ansprechpartner

Dr. M. Wehner, Tel.: -202
martin.wehner@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Ballonkatheter mit teilweise inflatiertem Ballon an der Spitze.

Unten: Array von 50 μm großen Bohrungen in der Ballonhülle.

Aufgabenstellung

Bei der Materialbearbeitung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung (Pulsdauer $t_p < 1$ ps) sind physikalische Prozesse und Prozessgrenzen bis dato nicht ausreichend untersucht worden. Die bekannten Vorteile der Femtosekundenlaser wie z. B. schmelzfreier Abtrag und kleine thermische Belastung des Werkstoffs sind in vielen Fällen auf kleine Fluenzen begrenzt. Die Verwendung hochenergetischer ($F > 10 \text{ Jcm}^{-2}$), ultrakurz gepulster Laserstrahlung zeichnet sich durch thermische und nicht-thermische Schmelzbildung aus und beeinflusst die Ergebnisse der Materialbearbeitung deutlich.

Ziel der Untersuchungen ist die Visualisierung der Dynamik von Plasma, Materialdampf, Schmelzbildung und -erstarrung in Metallen und die Bestimmung von Prozessgrenzen.

Vorgehensweise

Ein neuartiges optisches pump&probe Messverfahren zur zeit- und ortsauflösten Visualisierung und Analyse ultraschneller Phänomene wird eingesetzt. Dieses beinhaltet transiente quantitative Phasenmikroskopie (TQPM) zur Bestimmung der quantitativen optischen Phase, der transienten Brechungsindexänderungen und Schmelzvolumina mit einer Zeitauflösung von 100 fs und einer Ortsauflösung von $1 \mu\text{m}$. Die Schmelzdynamik von Metallen nach Bestrahlung mit $n = 1$ bis 8 Laserpulsen wird bis zu $\tau = 2 \mu\text{s}$ nach der Bestrahlung untersucht.

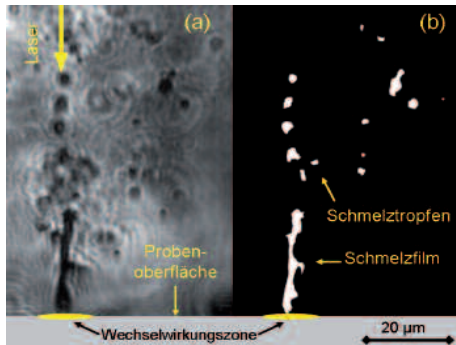
Ergebnisse und Anwendungen

Die beobachtete Dynamik der laserinduzierten Schmelzbildung und des Materialabtrags in Aluminium kann in mehrere charakteristische Zeitregimes aufgeteilt werden. Abhängig von Prozessparametern werden das Austreiben der erhitzten verdampften Materie ($\tau < 200 \text{ ns}$), der explosive schmelzfreie Abtrag ($200 \text{ ns} < \tau < 700 \text{ ns}$) und die Bildung der Schmelzfilme ($\tau > 700 \text{ ns}$) beobachtet. Unter Annahme der Rotationssymmetrie können die Volumina der abgetragenen Materialpartikel zeitaufgelöst gemessen werden. Die Dynamik des Materialauswurfs weist qualitative und quantitative Unterschiede in Abhängigkeit von der Anzahl der Pulse auf. Die Schmelzbildung wird z. B. bei $\tau > 700 \text{ ns}$ mit größer werdender Pulsenergie und -anzahl verstärkt, dagegen nimmt die Materialdampfbildung ab.

Die Erkenntnisse der zeitaufgelösten Diagnose können einerseits zur Prozessregelung beim Mikrostrukturieren mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung eingesetzt werden. Andererseits werden diese zur Modellierung der laserinduzierten Phasenübergänge verwendet.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. I. Mingareev, Tel.: -535
ilja.mingareev@ilt.fraunhofer.de
Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Oben: Schmelzauswurf in Al ($\tau = 1,67 \mu\text{s}$), links: Schattenaufnahme, rechts: berechnetes Phasenbild.

Unten: Oberflächenmodifikation mit Schmelzablagerungen nach 8 Laserpulsen.

Aufgabenstellung

Die Effizienz des Mikroabtrags mit Laserstrahlung soll hinsichtlich der Abtragsrate gesteigert werden. Gleichzeitig soll die Oberflächenrauigkeit hinreichend klein gehalten werden, indem der Schmelzanteil während des Bearbeitungsprozesses reduziert wird.

Vorgehensweise

Mittels maßgeschneiderter, zeitlich modulierter Laserpulszüge sollen bei gleicher Energie der Laserstrahlung sowohl der Materialabtrag maximiert als auch die Diagnostizierbarkeit des Plasmazustands verbessert werden. Ein Ansatz dazu ist die Aufteilung der Energie eines Einzelpulses auf mehrere Pulse (Pulsbursts), deren Interpulsabstand im ns- und μ s-Bereich gewählt wird. Das induzierte Plasma wird mithilfe der Laser-Emissionsspektrometrie auf mögliche Korrelationen mit dem Volumenabtrag untersucht. Durch Analyse und Modellierung des Plasmazustands sollen Steuerungsvorschriften abgeleitet werden, die auf eine Maximierung der Abtragsraten zielen.

Ergebnisse und Anwendungen

Bei der Laser-Mikrostrukturierung mit ps-Multipulsen kann durch die Änderung der Burstparameter das Bearbeitungsergebnis stark variiert werden. Durch den Einsatz von ps-Doppel- bzw. Dreifachpulsen wird der Abtrag pro Schicht um bis zu 90 Prozent gesteigert. Dies ist alleine durch die zeitliche Änderung der Intensität bei gleichbleibender Gesamtenergie zu erreichen. Durch

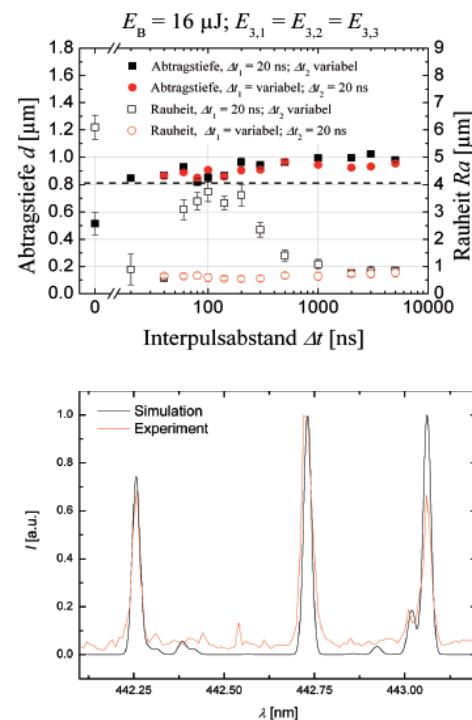
geeignete Wahl der Parameter kann mit ps-Dreifachpulsen ein Abtrag von $1 \mu\text{m}/\text{Schicht}$ mit einer Oberflächenrauigkeit $R_a \geq 0,6 \mu\text{m}$ erreicht werden (siehe Bild oben).

Die beim Mikromaterialabtrag entstehenden Plasmen werden orts- und zeitaufgelöst detektiert. Die Diagnostik der charakteristischen Plasmagrößen (Elektronentemperatur und -dichte, Ausdehnung des Plasmas) zielt auf die Entwicklung eines Online-Monitors für die momentane Abtragseffizienz des Laserpulses.

Modellbasiert werden die Dynamik der Schmelze während des Abtragprozesses, das Verhalten des Plasmas nach Auftreffen des Laserpulses auf die Probe und die spektrale Emission des Plasmas in Abhängigkeit von der Zeit untersucht. Mit einem Modell zur Berechnung der spektralen Plasmaemission, in das Materialeigenschaften und orts-aufgelöste sowie ortsintegrierte Plasmagrößen (Elektronentemperatur und -dichte, Ausdehnung des Plasmas) und deren zeitlicher Verlauf einfließen, können die detektierten Spektren simuliert werden (siehe Bild Mitte). Auf Basis einer fluid-dynamischen Simulation des Plasmas und Dampfes wird die Absorption der Strahlungsenergie und damit auch der Strahlungstransport bis zum Werkstück beschrieben (siehe Bild unten).

Ansprechpartner

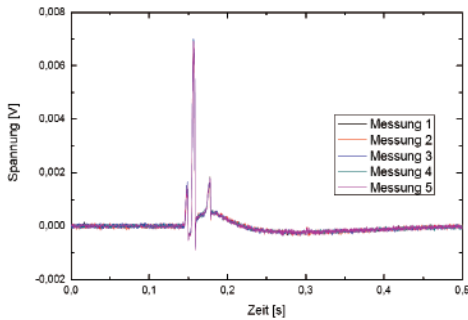
Dipl.-Phys. C. Gehlen, Tel.: -127
christoph.gehlen@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. (FH) C. Hartmann, Tel.: -207
claudia.hartmann@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Phys. U. Eppelt, Tel.: -163
urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de



Oben: Abtrag mit ps-Dreifachpulsen.

Mitte: Vergleich zwischen einem mithilfe des Plasmamodells erstellten Spektrum und einem detektierten Spektrum einer C75 Probe.

Unten: Ergebnisse der Plasma-Simulation.



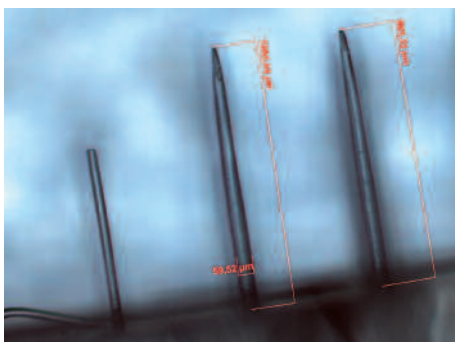
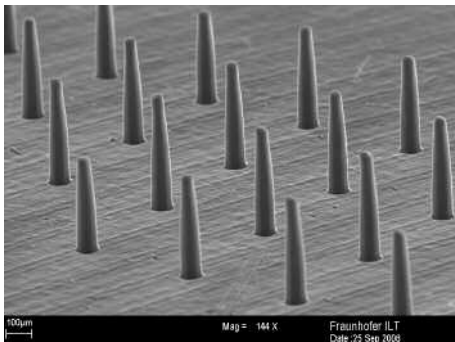
Oben: Signalabfolge bei normalem Lastfall (Quelle: IMFD Freiberg).
Unten: Mikrohaaararray.

Aufgabenstellung

Kleinste Haare als Sensoren für Strömungen sind in der Natur häufig anzutreffen. So haben Spinnen kleine Haare in ihren Gelenken, die Auskunft über die Winkelstellung geben. Fische besitzen das sogenannte Seitenliniensystem, mit dessen Hilfe sie die Strömungsumgebung abbilden können. Zur Übertragung dieser Prinzipien auf künstliche Systeme ist die Herstellung künstlicher Mikrohaare in unterschiedlichen Geometrien mit Durchmessern von 20 - 200 μm und Längen bis zu 1 mm nötig.

Vorgehensweise

Die Herstellung von Mikrohaaren mit Durchmessern im Mikrometerbereich erfolgt nach einem sogenannten »Lost-Mould-Verfahren«. Vorteil dieses Verfahrens ist die kraftfreie Entformung der filigranen Strukturen durch einfaches Aufschmelzen der umgebenden Matrix. Die erhaltenen Mikrohaare können in nahezu beliebigen Abmessungen und Geometrien hergestellt werden. In Kombination mit piezoelektrischen Elementen können so Sensoren für den Einsatz in der Medizin entwickelt werden. Durch eine Abstufung der Länge der Mikrohaare auf einem solchen Sensorelement können z. B. bei Durchgang durch Stenosen genaue Rückschlüsse auf die Geometrie der Stenose gezogen werden. Die Auswertung der Signale des piezoelektrischen Elements muss dabei sowohl hinsichtlich der zeitlichen Abfolge als auch der Stärke des Signals erfolgen.



Ergebnisse und Anwendungen

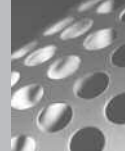
Nach anfänglichen Studien zum Abtragsverhalten von Wachs und einer ausgedehnten Parameterstudie zum Bohren der Abgussformen stehen nun erste Mikrohaaararrays zur Verfügung, die bereits in Kombination mit piezoelektrischen Sensorelementen getestet wurden. Die Signalabfolge beim Eindringen der Mikrohaare ist eindeutig zu erkennen und den unterschiedlich langen Mikrohaaren zuzuordnen. Verbiegungen der Mikrohaare erzeugen wesentlich geringere Signale (Verhältnis ca. 1:10 im Vergleich zum Eindringen). Über die Signalabfolge und die Stärke der einzelnen Signale ist daher eine Zuordnung des Signals zu den jeweiligen Mikrohaaren und zum jeweiligen Lastfall (Scheren, Knicken, Biegen) möglich.

Daneben können solche Mikrohaare auch ohne zusätzliches Sensorelement für strömungsmechanische Messungen verwendet werden. Hier wird die Auslenkung der Mikrohaare im Scherfeld der wandnahen Strömung untersucht. Die Nachbildung biologischer Strukturen, wie z. B. der Haarsinneszellen im Inneren des Ohrs, kann helfen, die strömungsmechanischen Vorgänge beim Hörvorgang zu untersuchen.

Kooperationspartner: Prof. C. Brücker, Institut für Mechanik und Fluidodynamik, TU Bergakademie Freiberg.

Ansprechpartner

Dipl.-Chem. P. Jacobs, Tel.: -135
philipp.jacobs@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

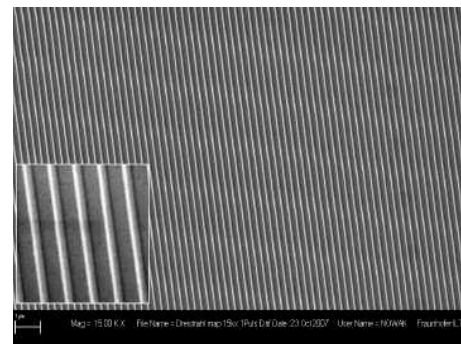
Nanostrukturen bergen ein hohes Potenzial, Oberflächen mit neuen Funktionalitäten zu versehen. Durch eine Nanostrukturierung lassen sich z. B. auf Polymeren und anderen Werkstoffen superhydrophobe Eigenschaften einstellen. Des Weiteren können Nanostrukturen zur Erzeugung optischer Effekte und Funktionen genutzt werden. Dies kann zum Beispiel zur Realisierung einer eindeutigen Produktkennzeichnung verwendet werden, bei der durch Aneinanderreihen von Nanostrukturen unterschiedlicher Periodizitäten eine individuelle Farbcodierung entsteht. Diese Farbcodierung tritt nur in Erscheinung, wenn sie mit einer Lichtquelle aus einer bestimmten Richtung bestrahlt wird.

Vorgehensweise

Zur Erzeugung von Nanostrukturen im Bereich 100 nm wurde eine Dreistrahlinterferenzanlage aufgebaut, mit der es möglich ist, durch die Vereinigung von drei kohärenten Teilstrahlen periodische Strukturen zu erzeugen. Die Periode dieser Strukturen ist abhängig von der Wellenlänge des verwendeten Lasers und des eingestellten Vereinigungswinkels. Bei dieser Anlage bildet sich durch die Überlagerung der drei Teilstrahlen ein Intensitätsprofil aus, das es ermöglicht, einen höheren Kontrast zu erzeugen, als es mit einer klassischen Zweistrahlinterferenzanlage möglich ist. Als Strahlquelle wurde ein frequenzverdreifachter Nd:YAG-Laser bei $\lambda = 355$ nm mit einer ausreichenden Kohärenzlänge verwendet.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit dem entwickelten Strukturierungssystem wurden Nanostrukturen durch photochemische Ablation in dünnen Polymerschichten erzeugt. Durch Variation des Bestrahlungswinkels können Strukturen von z. B. 200 nm bei einer Periode von ca. 1 μ m erzeugt werden (siehe Bild). Durch Veränderung der Bestrahlungsbedingungen sind auch kleinere Strukturen unter 100 nm möglich. Die so erzeugten Streifenmuster dienen der Untersuchung von Zellwachstumseigenschaften auf künstlichen Oberflächen. Durch Drehen des Bauteils und Zwei- und Mehrfachstrukturierung ist mit diesem System die Erzeugung auch komplexer Muster möglich. Auf diese Weise kann die Benetzbarkeit der Oberfläche ortsselektiv verändert werden, so dass sich eine superhydrophobe Oberfläche einstellt (Lotus-Effekt).



Periodische Nanostrukturen in Fotolack, Periode 1 μ m, Strukturbreite 250 nm.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. S. Beckemper, Tel.: -325
stefan.beckemper@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

Vorgehensweise

Durch Fokussierung von Femtosekundenlaserstrahlung im Volumen transparenter Dielektrika (Saphir, Glas) können lokale Änderungen der Gefügestruktur und damit der Ätzbarkeit erzielt werden. Durch nachfolgendes Ätzen mit Flusssäure lassen sich auf diese Weise 3-dimensionale Mikro- und Nanostrukturen erzeugen.

Ergebnisse und Anwendungen

In Saphir werden Unterschiede in der Ätzbarkeit von bis zu 10.000:1 zwischen modifizierten und unmodifizierten Bereichen erzielt. Das ermöglicht die Herstellung von μ -Kanälen mit Durchmessern zwischen 1 und 10 μm

Oben: Durchlichtmikroskopie-Aufnahme eines teilweise geätzten μ -Kanals.

Mitte: REM Aufnahmen von Querschliffen in 500 μm Tiefe der geätzten Bereiche, oben: Nanohohlräume, unten: Mikrokanal.

Unten: Schemaskizze der Volumenmodifikation durch Laserstrahlung.

bei Längen von mehr als einem Millimeter. In Abhängigkeit der Fokussierung und der mittleren Laserleistung kann es zur Ausbildung periodischer Nanostrukturen (Nanoebenen) im bestrahlten Bereich kommen. Die Orientierung der Nanoebenen ist immer senkrecht zur Polarisation der Laserstrahlung ausgerichtet. Eine Änderung der Verfahrrichtung beeinflusst die Orientierung nicht. Durch selektives Ätzen der Nanoebenen lassen sich nanoskopische Hohlräume mit Abmessungen von ca. 100 nm x 10 μm x 1 mm mit Schreibgeschwindigkeiten von 1 mm/s herstellen. Potentielle Anwendungen sind z. B. mikrofluidische Systeme für biologische und chemische Anwendungen sowie photonische Kristalle für integriert optische Bauelemente.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. D. Wortmann, Tel.: -276

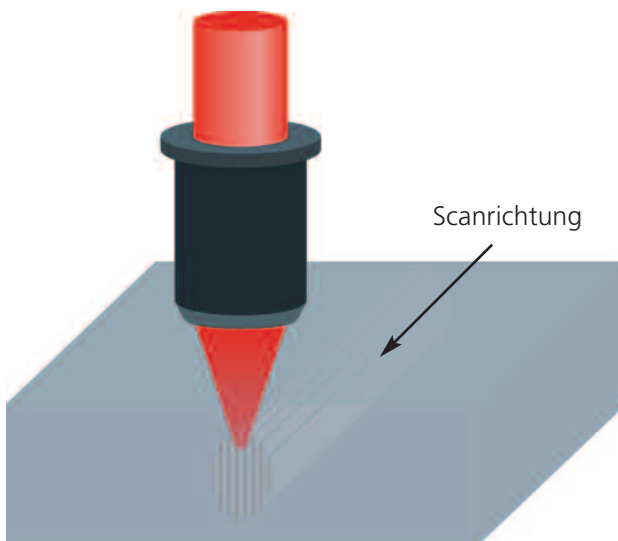
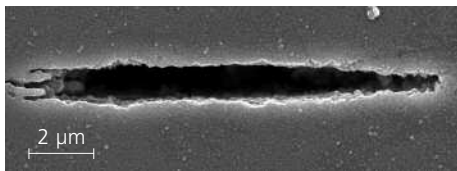
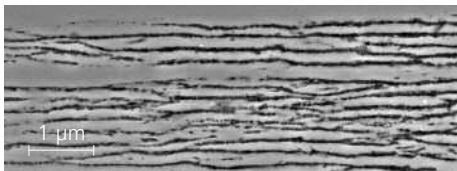
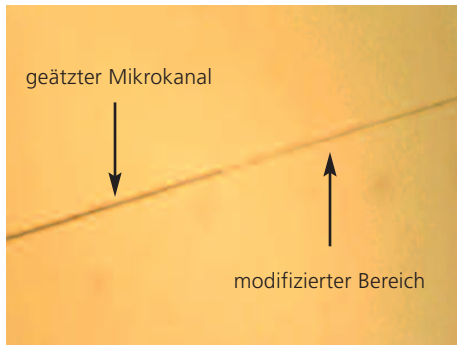
dirk.wortmann@ilt.fraunhofer.de

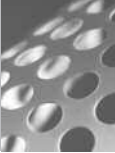
Dipl.-Ing. (FH) H. Horn-Solle, Tel.: -475

herbert.hornsolle@ilt.fraunhofer.de

Dr. J. Gottmann, Tel.: -406

jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de





Vorgehensweise

Durch Fokussierung von Femtosekundenlaserstrahlung im Volumen von Gläsern wird lokal der Brechungsindex vergrößert. Die Verwendung von Doppelpulsen mit zeitlichen Abständen im sub-Nanosekundenbereich ermöglicht eine deutliche Vergrößerung der Brechungsindexänderung gegenüber der Verwendung von Einzelpulsen.

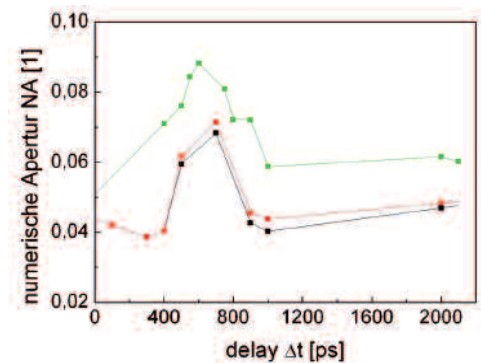
Ergebnisse und Anwendungen

Bei der Bestrahlung von reinem Quarzglas mit fs-Doppelpulsen mit zeitlichen Abständen zwischen 400 und 800 ps lässt sich eine Vergrößerung der Brechungsindexänderung um einen Faktor 1,5 - 2 gegenüber der Verwendung von Einzelpulsen gleicher Gesamtenergie erzielen. Der vergrößerte Brechungsindexunterschied zwischen modifiziertem und unbestrahltem Material resultiert in einer um den gleichen Faktor vergrößerten numerischen Apertur der so entstandenen Wellenleiter.

Die hier erzielten Ergebnisse zählen zu den weltweit größten bisher erreichten Werten für Quarzglas und lassen die Herstellung von Wellenleitern mit numerischen Aperturen in der Größenordnung derer von Diodenlasern möglich erscheinen. Erklärt wird das Resultat durch die gezielte Beeinflussung der Relaxationskanäle elektronischer Zwischenzustände durch den zweiten Puls und daraus resultierende Gefügeänderungen. Anwendungen sind z. B. wellenleitende oder strahlformende Elemente der integrierten Optik wie Strahlteiler, Koppelstrukturen für Diodenlaser oder Wellenleiterlaser.

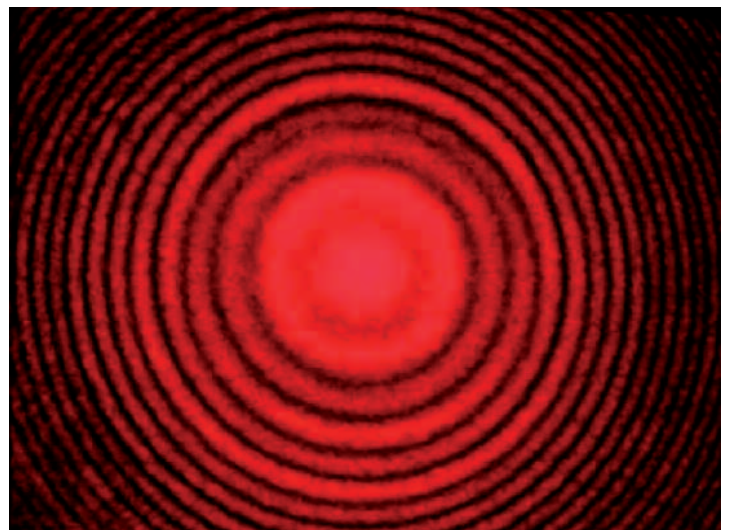
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. D. Wortmann, Tel.: -276
dirk.wortmann@ilt.fraunhofer.de
Dr. J. Gottmann, Tel.: -406
jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Brechungsindexänderung gegen zeitlichen Abstand der Doppelpulse bei einem festen Teilungsverhältnis der Pulsenergie von 50:50.

Unten: Fotografie der Fernfeldverteilung eines mit fs-Doppelpulsen hergestellten Wellenleiters in Quarzglas.



Aufgabenstellung

Für eine bessere Akzeptanz von Implantaten im Körper ist auf diesen eine möglichst nahe dem biologischen Umfeld entsprechende Oberfläche nachzubilden. Zur Erzeugung dieser Biofunktionalisierung wird eine Technik benötigt, mit der beliebige Muster aus Proteinen, Zellen oder Wirkstoffen selektiv auf Oberflächen hergestellt werden können. Auf diese Weise sollen der Natur nachempfundene Strukturen erzeugt werden, die beispielsweise das Einwachsen von künstlichen Implantaten in den Körper erleichtern oder in-vitro Testsysteme auf Chipbasis ermöglichen.

Vorgehensweise

Für diese Aufgabenstellung wird eine Verfahrens- und Maschinenteknik zum selektiven Übertragen von biologisch aktiven Substanzen entwickelt, die in bestehende Systeme z. B. zum Protein-Spotting integriert werden kann. Insbesondere in den Bereichen Bioanalytik, Medizintechnik und regenerative Medizin sollen Produkte mit neuen Eigenschaften zugänglich werden. Die Basis des innovativen Verfahrens bildet eine laserbasierte Transfertechnik, die unter dem Begriff LIFT (Laser Induced Forward Transfer) bekannt ist. Dabei wird ein Stoff, der sich auf einer Folie als Transfermedium befindet, durch Laserabtrag auf ein Substrat übertragen. Der Transfer erfolgt über eine laseraktive Absorberschicht, auf der die Proteine oder Zellen aufgetragen sind und die bei Laserbestrahlung verdampft. Die resultierende Druckwelle transportiert die Proteine und Zellen über kurze Distanzen auf das Substrat.

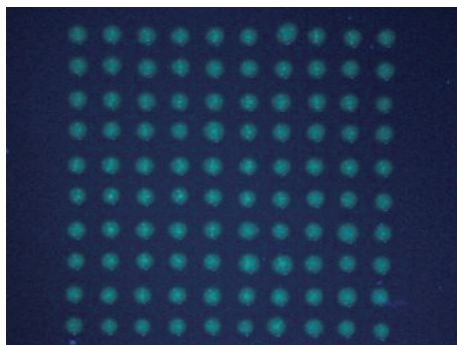
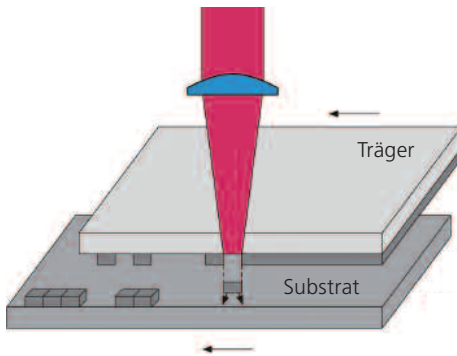
Ergebnisse und Anwendungen

Proteinarrays können mit hoher Geschwindigkeit von ca. 1000 Spots pro Sekunde hergestellt werden. Die Spotgrößen können zum jetzigen Stand von 20 µm bis 200 µm variiert werden. Ebenso können Linien und Spuren von Proteinen geschrieben werden. In einem nächsten Schritt sollen komplexe Muster aus unterschiedlichen Proteinen erzeugt werden, um die Reaktion von Zellen darauf zu studieren. Des Weiteren wurde gezeigt, dass Zellen und Zellverbünde transferiert werden können. Bei geeigneter Wahl der Laserparameter konnte kein Verlust der Vitalität beobachtet werden, die Zellen adhären auf der Substratoberfläche und proliferieren. Auf diese Weise können Konstrukte aus unterschiedlichen Zelltypen aufgebaut und kultiviert werden. In einem weiteren Schritt lassen sich Nanopartikel durch LIFT zielgenau auf Oberflächen übertragen, die mit Wirkstoffen beladen werden und somit neuartige bioaktive Beschichtungen unterschiedlicher Formkörper ermöglichen.

Dieses Projekt wird im Rahmen des Programms InnoNet gefördert (16-IN 0490). Partner sind die Firmen Arthro Kinetics, Aurentum, BioCat, Boston Scientific TZ, CryLaS, GeSim und das Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik der Universität Stuttgart.

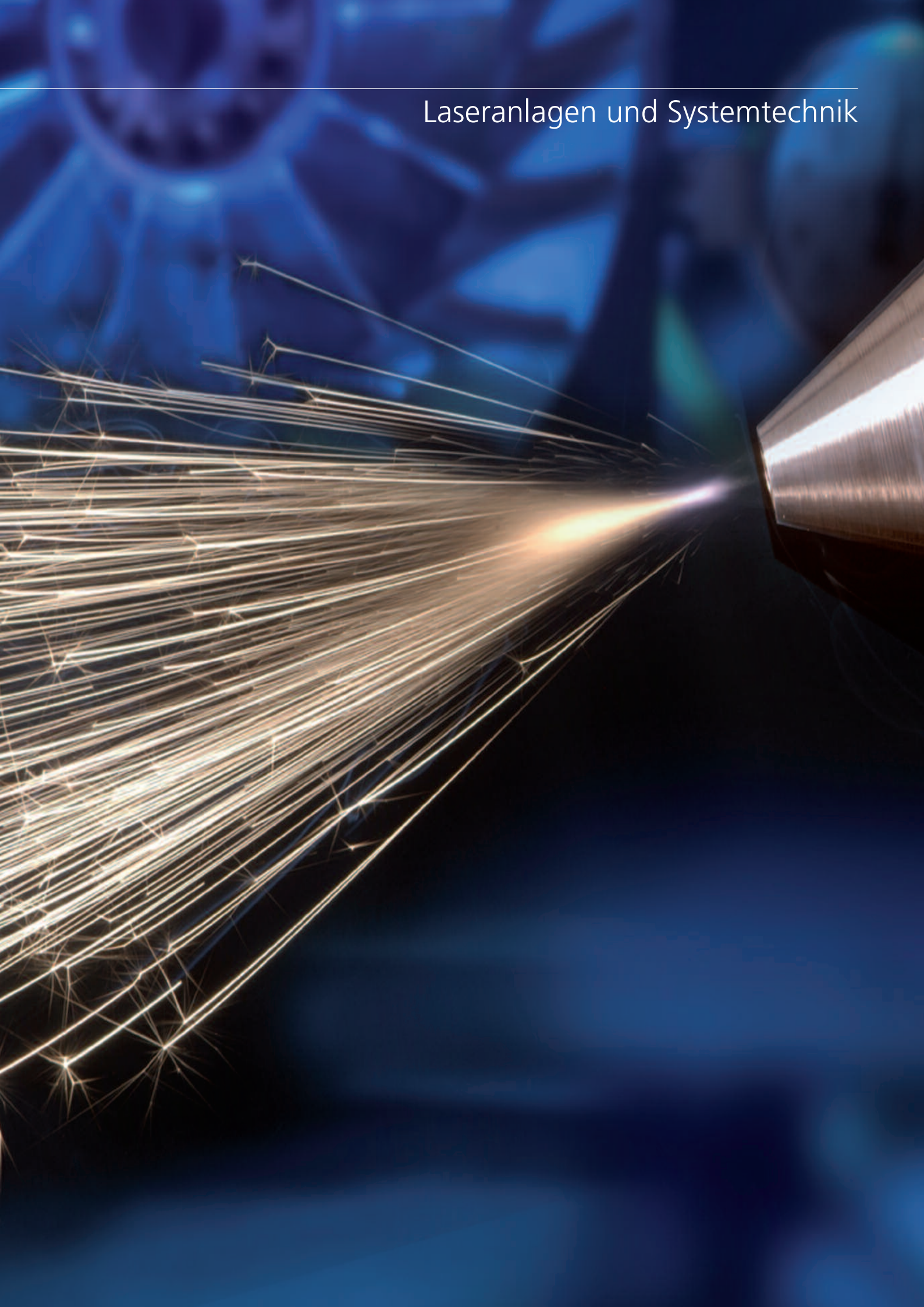
Ansprechpartner

Dr. E. Bremus-Köbberling, Tel.: -396
elke.bremus@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Schema des LIFT-Prozesses.
Unten: Durch LIFT hergestelltes Protein-Array mit Spotgrößen von 60 µm (Fluoreszenzaufnahme).

Laseranlagen und Systemtechnik





Entwicklung von Beschichtungsköpfen zum Laserstrahl-Auftragschweißen.

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.



Aufbau einer multifunktionalen Fertigungszelle mit integriertem Kombikopf	110
Entwicklung einer endoskopisch geführten Bearbeitungsoptik für das Laserstrahl-Auftragschweißen	111
Schweißen von Stoßdämpfer- ventilen: Entwicklung, Qualifizierung und Transfer	112
In-situ Vermessung von Laseranlagen	113
Robuste autonome Fugenfolge zur Qualitätssicherung beim Laserstrahlschweißen	114
Strategien zur Prozessüber- wachung beim Kunststoff- schweißen mit Laserstrahlung	115
Der »Falsche Freund«	116
Analyse und Anwendung von Methoden und Algorithmen zur Gewährleistung einer konstanten Produktqualität	117
Computational Steering System für parallelisierte Simulationsrechnungen	118

Aufgabenstellung

Die Kombibearbeitung ermöglicht durch den schnellen, rüftfreien Prozesswechsel zwischen Laserstrahlschneiden und -schweißen einen sehr flexiblen und hochproduktiven Einsatz von Laseranlagen. Dieser Vorteil kommt besonders klar zur Geltung, wenn das gesamte Anlagensystem einschließlich Handhabungs- und Spanntechnik optimal auf die effiziente Prozesskette und die hohe Bearbeitungsgenauigkeit der Kombibearbeitung abgestimmt wird. Das gilt insbesondere für High-Speed-Anwendungen mit großer Anlagendynamik und für 3-D-Anwendungen.

In systematischen Parametervariationen wurden mit dem Kombikopf beispielsweise für 1 mm dicke Stahlbleche unter Nutzung einer Faser mit dem Faserdurchmesser 150 μm Schneidgeschwindigkeiten von 38 m/min und bei einem Faserdurchmesser von 50 μm 135 m/min ermittelt. Mit diesen Geschwindigkeiten ist bei 2-D- und deutlich ausgeprägter bei 3-D-Anwendungen nicht der Prozess, sondern die Maschine der limitierende Faktor.

Vorgehensweise

In Zusammenarbeit mit der Fa. Reis Robotics als Maschinenhersteller und der Fa. Laserfact als Hersteller des Kombikopfes wird ein Kombikopf mit einem, zur optischen Maschinenachse koaxialen, Anschlussflansch und kompakter Zusatzachse entwickelt, der optimal in die Spiegelstrahlführung eines Roboter-Portalsystems integriert werden kann. Durch die intern im Roboterarm verlaufende Strahlführung wird eine Bewegung in drei rotatorischen Achsen bei unbewegter Faser ermöglicht. Bei schnellen Umlagerungen des Kopfes und hohen Beschleunigungen wird so die

Belastung der Faser reduziert und die zulässige Dynamik deutlich gesteigert. Die im Kopf integrierte dynamische Zusatzachse dient zur Abstandsregelung. Schnellwechsellmöglichkeiten von Fokussieroptik und Schutzglas erhöhen den Bedienkomfort.

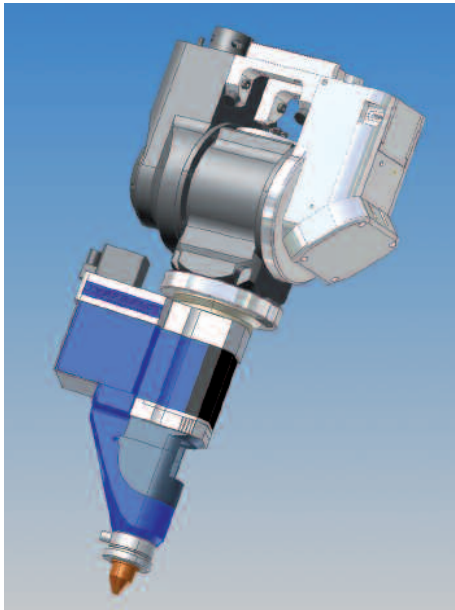
Ergebnisse und Anwendungen

Komponenten des Kopfes wie die kapazitive Abstandsregelung und die Düsenbaugruppe wurden bereits erfolgreich getestet. Die Integration des Kopfes in die Strahlführung des Portalsystems erfolgt im Januar 2008. Ab diesem Zeitpunkt steht damit neben dem Kombikopf mit direkter Faseran-kopplung auch die koaxiale Variante für die Erprobung der multifunktionalen Fertigung von Blechbaugruppen von Tailored Blanks bis hin zu 3-dimensionalen Fahrzeugkomponenten zur Verfügung.

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

Ansprechpartner

Dr. F. Schneider, Tel.: -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petrting@ilt.fraunhofer.de



Kombikopf mit koaxialer Anbindung für 5-Achs-Anlagen und Roboter mit integrierter Strahlführung (Grafik: Fa. Laserfact).



Aufgabenstellung

Im Rahmen eines Projekts mit der Fa. Rolls-Royce Deutschland wird eine endoskopisch geführte Bearbeitungsoptik für das Laserstrahl-Auftragschweißen konzipiert, konstruiert und gefertigt. Ziel ist eine »On-wing«-Reparatur von z. B. durch Fremdkörpereinschlag verursachten Schäden an Verdichterschaufeln von Flugtriebwerken.

Konventionell werden durch die Fa. Rolls-Royce Deutschland bereits kleinere, meist scharfkantige Defekte an beschädigten Schaufeln durch endoskopisch geführtes Fräsen im Triebwerk geglättet, so dass die Kerbwirkung unter Belastung (im Betrieb) durch diesen Defekt deutlich reduziert wird.

Durch eine Kombination des endoskopisch geführten Fräsens mit einem generativen Verfahren wie dem Laserstrahl-Auftragschweißen soll eine Reparatur größerer Defekte ermöglicht werden.

Vorgehensweise

In der Konzeptphase werden die Anforderungen bzgl. Baugröße, limitiert durch Zugänglichkeits- und Bearbeitungsbedingungen, erforderlicher Prozessmedien und konstruktiver Aspekte erarbeitet. Auf Basis der technischen Spezifikationen von Laser- und Lichtleitfaserhersteller wird der Strahlengang berechnet und die optischen Komponenten entsprechend ausgelegt.

Konstruktiv wird die Bearbeitungsoptik modular aus Beschichtungskopf, Kollimier- und Fokussiermodul, Lichtleitfaser- und Prozessmedienübergabestelle und Aufnahme für das Guide Tube (flexibler Führungskanal) ausgelegt (Bild oben). Neben den Zuleitungen für Pulver und Schutzgas sind zwei Wasserkühlkreisläufe integriert. Die Laserstrahlung wird kollimiert, fokussiert und tritt koaxial aus der Bearbeitungsoptik.

Ergebnisse und Anwendungen

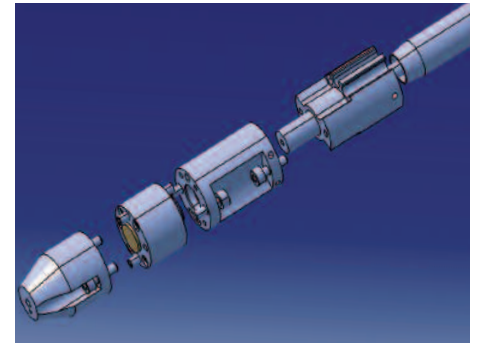
Drei Module der Bearbeitungsoptik sind aus Kupfer gefertigt und oberflächlich verchromt. Das Modul zur Aufnahme des Guide Tubes besteht aus Stahl (Bild unten).

Als Laserstrahlquelle wird ein Diodenlaser mit einer max. Ausgangsleistung von 1 kW eingesetzt. Die Laserstrahlung wird über eine speziell angefertigte Lichtleitfaser mit einem max. Außendurchmesser von 8 mm in die Bearbeitungsoptik eingekoppelt. Die Lichtleitfaser wird durch das Guide Tube geführt, auf dessen durch Bauten-züge bewegbarer Spitze die Bearbeitungsoptik befestigt wird.

Nach dem Zusammenbau der Optik und der Anbindung an das Guide Tube und die Lichtleitfaser werden generelle Funktionstest erfolgreich durchgeführt. Erste Beschichtungsversuche auf flachen Substratplatten verlaufen erfolgreich. Der nächste Schritt ist die Umsetzung des Prozesses auf schaufelähnlichen Proben.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) P. Albus, Tel.: -479
patrick.albus@ilt.fraunhofer.de
Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Oben: Explosionszeichnung der Bearbeitungsoptik mit Beschichtungskopf, Kollimier- und Fokussiermodul, Lichtleitfaser- und Prozessmedienübergabestelle, Lichtleitfaser, Aufnahme und Guide Tube (v. l. n. r.).

Unten: Zusammengebaute Bearbeitungsoptik.



Aufgabenstellung

Aufgabe ist die Entwicklung und Qualifizierung des Laserstrahlschweißens für Stoßdämpferventile mit definierten Vorspannkräften. Das Produkt und das Verfahren sollen in eine wirtschaftliche Großserienfertigung überführt werden. Ziel ist, einen fähigen Prozess mit einem Index von $c_p > 1,33$ zu entwickeln. Später soll eine Produktionsanlage mit einer Kapazität von > 2 Mio. Teilen pro Jahr aufgebaut werden.

Vorgehensweise

Der Kunde stellt als Zulieferer für die Automobilindustrie u. a. Stoßdämpfer her. Diese sollen genauer als bisherige Produktvarianten gefertigt werden. Daher wurde ein Laserschweißverfahren entwickelt und im Labor erprobt, das es ermöglicht, den Verlauf der Geschwindigkeits-Kraft-Kenn-Linie der Stoßdämpfer präzise einzustellen. Der Festigkeitsindex beträgt $c_p > 1,33$.

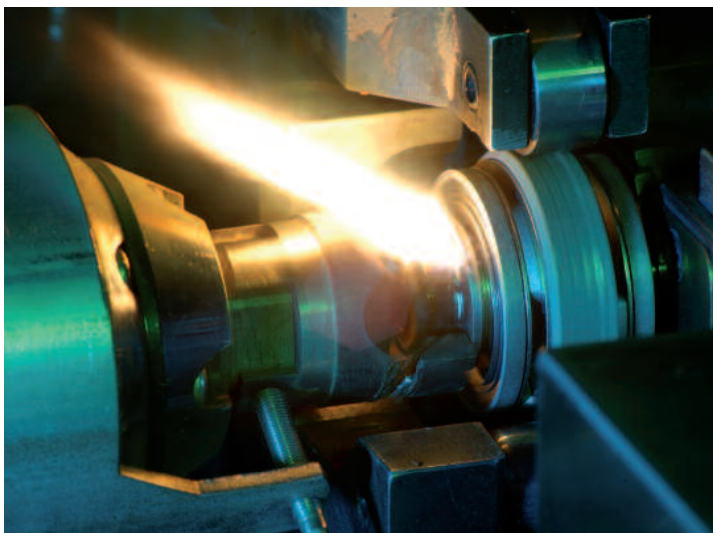
Ergebnisse und Anwendungen

Für die Vorserienerprobung des Verfahrens wird eine Spannvorrichtung verwendet, mit der in einer Laseranlage am Fraunhofer ILT Taktzeiten von ca. 30 Sekunden pro Teil erreicht werden und mit der eine signifikante Anzahl von Dämpferventilen geschweißt worden ist. In der Vorrichtung werden die Teile mit definierten Kräften gespannt. Die Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Werkstück wird durch die Rotation der Teile realisiert. Dabei werden Störungen induziert, welche im Ergebnis die Streuung der Dämpfereigenschaften vergrößern und damit die Beherrschung des Fertigungsprozesses beeinträchtigen. Der Fähigkeitsindex ist kleiner als 1. Deshalb wird die Vorrichtung schrittweise verbessert. Neben der Lösung der produktionstechnischen Aufgabenstellung ist der wirksame Transfer des Know-hows entscheidend für den Erfolg des Vorhabens. Dazu ist geplant, die Produktionsanlage zunächst am Fraunhofer ILT aufzubauen und zu betreiben. Während des Betriebs am Fraunhofer ILT sollen Mitarbeiter des Kunden geschult und mit der Lasertechnik vertraut gemacht werden. Erst danach soll die Anlage in eine Fertigungslinie beim Kunden integriert werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. M. Dahmen, Tel.: -307
martin.dahmen@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de

Detailansicht der Schweißung
eines Stoßdämpferventils.





Aufgabenstellung

Prozesseingangsparameter am Werkstück können - wenn überhaupt - nur sporadisch bei Wartungsarbeiten an Produktionsanlagen überprüft werden. Ihre Erfassung beschränkt sich in den meisten Fällen auf die Vermessung des Laserstrahls bezüglich Fokusslage und Leistung. Hinsichtlich der entscheidenden kinematischen Eigenschaften von Bearbeitungsanlagen ist prinzipbedingt und auch mangels geeigneter Instrumente die Vermessung von Positioniergenauigkeit, Vorschubgeschwindigkeit und Beschleunigung während der Bearbeitung nicht möglich. Dies gilt insbesondere für Scanneroptiken, wie sie für hochbrillante Lasersysteme häufig eingesetzt werden. Hier besteht nur die Möglichkeit, die Regelung der Bewegungsachsen über Positionsgeber an den Scannerspiegeln zu realisieren. Damit wird sichtbar, dass nur eingeschränkte Möglichkeiten der Bahnregelung auf dem Werkstück existieren.

Vorgehensweise

Die am Fraunhofer ILT entwickelte koaxiale Prozesskontrolle (Coaxial Process Control, CPC) beobachtet durch den Strahlengang mit einer digitalen Hochgeschwindigkeitskamera die Wechselwirkungszone. Die Prozesszone und der umliegende Bereich werden mit einer integrierten Fremdbeleuchtung erhellt und damit das Eigenleuchten fast vollständig überstrahlt. Die aufgezeichneten Prozessbilder werden mit einem Rechner in Echtzeit interpretiert.

Insbesondere Bereiche außerhalb des Wechselwirkungspunktes werden hinsichtlich der Oberflächenstruktur des Werkstücks analysiert. Mithilfe der zweidimensionalen Korrelationsberechnung wird aus aufeinanderfolgenden Bildern der Bewegungsvektor des Werkstücks bestimmt. Daraus lassen sich die kinematischen Größen Beschleunigung, Vorschubgeschwindigkeit und der Ort der Bearbeitung berechnen.

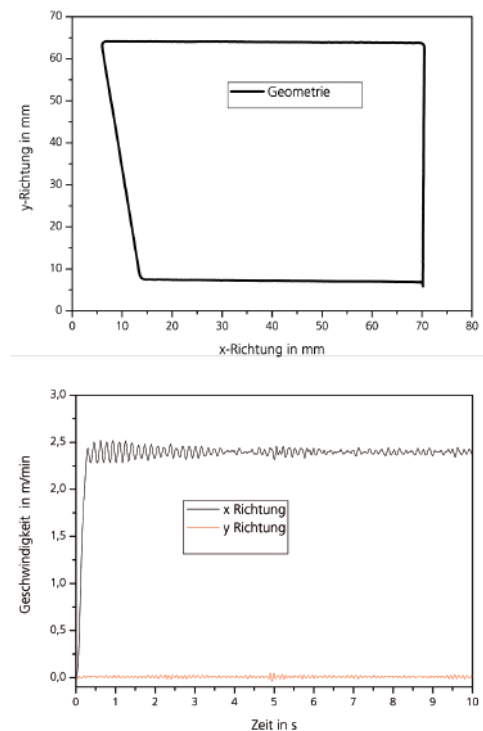
Ergebnisse und Anwendungen

Dieses Verfahren erlaubt die direkte Bestimmung der wahren kinematischen Größen einer Laseranlage während der Bearbeitung. Hiermit werden die Bearbeitungsprobleme, die auf Nichteinhaltung von Verfahrensparametern beruhen, systematisch erkannt und behebbar.

Zukünftig wird das Verfahren besonders nutzbringend beim Einsatz neuer, hochfokussierbarer Laserstrahlquellen im Multikilowattbereich sein, um Prozessfehler zu vermeiden. Bei der Nutzung der technologischen Vorteile dieser Systeme, z. B. zur Maximierung der Prozessgeschwindigkeit und der damit verbundenen Verkleinerung des verfügbaren Prozessfensters, entsteht die Gefahr ungewollter und unbemerkter Schwankungen der Prozesseingangsparameter, die durch dieses Verfahren sicher erkannt bzw. vermieden werden können.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. P. Abels, Tel.: -428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de



Oben: Gemessene Kontur eines Laserschneidprozesses mit Kantenverrundungen und anderen Störungen der Schnittkontur.

Unten: Anfahrsequenz einer großen Laserschweißanlage mit unerwünschten Einschwingvorgängen der Bearbeitungsgeschwindigkeit.



Aufgabenstellung

Für die Schweißapplikation von Schiffbaustahl D36 im Stumpfstoß wird die Integration eines Fugenfolgesystems mit koaxialer Prozessüberwachung erprobt. Bei dieser Applikation wird ein Hybridschweißprozess mit einem Doppelfokus-Laserstrahl und einem nachlaufenden MIG-Prozess angewendet.

Ziel ist die Untersuchung der Verbesserung eines Systems für die Fugenfolge mit integrierter optischer Geschwindigkeitsmessung und der Vergleich zu einem konventionellen vorlaufenden Sensor für die Fugenfolge. Darüber hinaus sind die Möglichkeiten der Prozessbeobachtung mit dem Ziel einer Qualitätssicherung simultan zur Bearbeitung zu prüfen.

Vorgehensweise

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

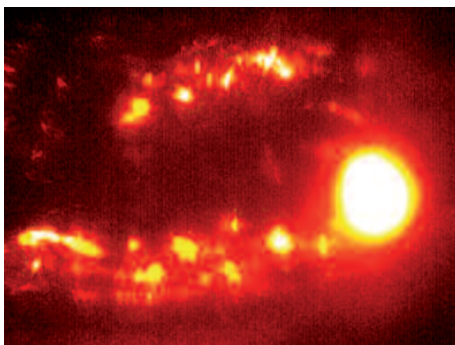
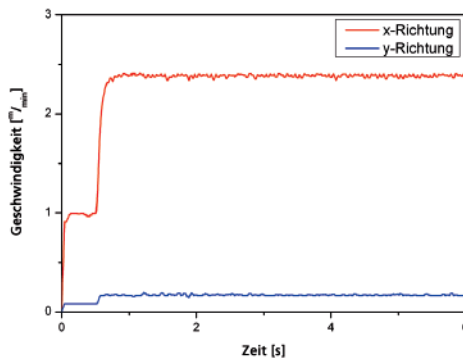
Dabei stellen Wellenlänge und Leistung der eingesetzten Laserstrahlung (CO₂-Laser bis 8 kW Strahlleistung) besondere Anforderungen an den Aufbau. Die koaxial angeordnete Kamera ermöglicht die Visualisierung des Schmelzbades durch die Erfassung der reflektierten Strahlung aus dem Bearbeitungsbereich.

Ergebnisse und Anwendungen

Die autonome Fugenfolge unterscheidet sich von konventionellen Nahtfolgesystemen durch eine zusätzliche Messung der Relativgeschwindigkeit zwischen Sensor und Werkstück. Dies bietet den Vorteil, dass nur eine minimale Anzahl an Messsignalen erfasst werden muss. Außerdem ist dieses Verfahren robust gegenüber Verdrehung und Querbewegung des Schweißkopfes, da Stellfehler durch direkte Messung der relativen Verschiebung vermieden werden. Durch die Berücksichtigung von Stellfehlern entfällt zudem eine Kalibrierung des Sensors nach einem Werkzeugwechsel oder einer Änderung der Roboterbahn bzw. Vorschubgeschwindigkeit. Momentan wird die Prozessbeobachtung bei Schweißapplikationen mit CO₂-Laserstrahlung mit dem Schwerpunkt der Detektion von Schweißfehlern weiterentwickelt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. W. Fiedler, Tel.: -390
wolfgang.fiedler@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de



Oben: Gemessene Geschwindigkeitskomponenten in Vorschubrichtung relativ zur Beobachtungskamera.

Unten: Kamerabild von einer Schweißung eines Baustahlblechs beim Stumpfstoß bei $v_s = 2,4$ m/min, $s = 6$ mm.



Aufgabenstellung

Das industrielle Laserstrahlschweißen von Kunststoffen sollte möglichst robust in Bezug auf Chargenschwankungen des Werkstoffs sowie zulässige Fertigungstoleranzen der Einzelteile bzw. Montagetoleranzen einsetzbar sein. Dennoch kann es zu unvermeidbaren Schwankungen des Parameterbereichs kommen. Die daraus resultierenden Bearbeitungsfehler müssen auch bei großer Stückzahl zuverlässig erkannt werden. Ziel ist, die Möglichkeiten der optischen Prozessüberwachung für Problemstellungen beim Kunststoffschweißen industriell nutzbar zu machen.

Vorgehensweise

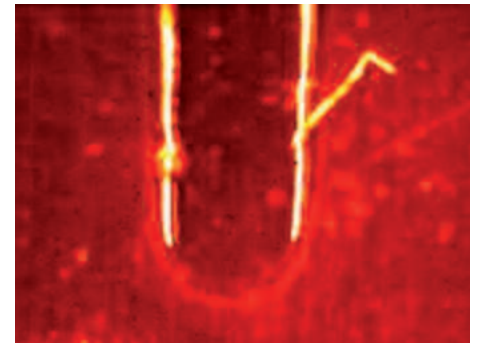
Die Arbeiten werden gemeinsam mit den Industriepartnern Amtron GmbH, Huf Tools GmbH und LIMO-Lissotschenko Mikrooptik GmbH im Rahmen eines von der »Stiftung Industrieforschung« geförderten Projekts durchgeführt. Hierbei werden die spezifischen Aussagefähigkeiten der koaxialen ortsintegrierten und ortsauflösenden koaxialen Prozessbeobachtung untersucht. Des weiteren werden Verfahren zur Messung der Sekundärstrahlung und der Beobachtung mit Fremdbeleuchtung gegenübergestellt. Hierfür wurde mithilfe eines am Fraunhofer ILT entwickelten modularen Optiksystems ein Bearbeitungskopf ausgelegt und aufgebaut, welcher die simultane Beobachtung mit den unterschiedlichen Strategien ermöglicht.

Ergebnisse und Anwendungen

Für die Durchführung der Grundlagenuntersuchungen wurde aus geeigneten Modulen und eigens angepassten optischen Elementen eine Versuchsanordnung aufgebaut. Dabei wird die Bearbeitungslaserstrahlung und die vom Werkstück emittierte oder reflektierte Strahlung in einem gemeinsamen Strahlengang transportiert. Hierzu wurden der optische und der spektrale Strahlengang berechnet und alle optischen Komponenten mit entsprechenden Beschichtungen versehen. Für Beobachtungen mit einer CMOS-Kamera, welche im sichtbaren Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 900 nm empfindlich ist, wurden verschiedene Beleuchtungsstrategien auf ihre Tauglichkeit untersucht. Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass bei orts aufgelöster Beobachtung unter Hellfeldbeleuchtung Nahtbreite, Anbindungsfehler, Kratzer sowie Zersetzungen bei den Werkstoffen Polycarbonat (PC), Polypropylen (PP) und Polyamid (PA) erkannt werden können.

Ansprechpartner

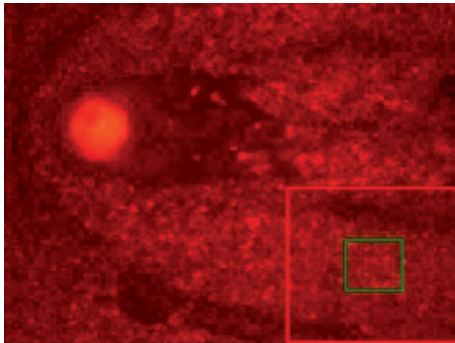
Dipl.-Ing. S. Mann, Tel.: -321
stefan.mann@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de



Kameraaufnahme: Schweißen von Polycarbonat, 2 mm + 2 mm, 19 W, 3 m/min, 500 Hz.

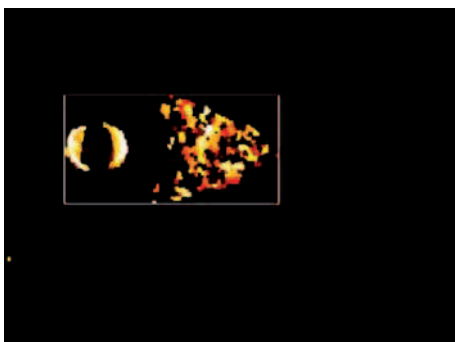
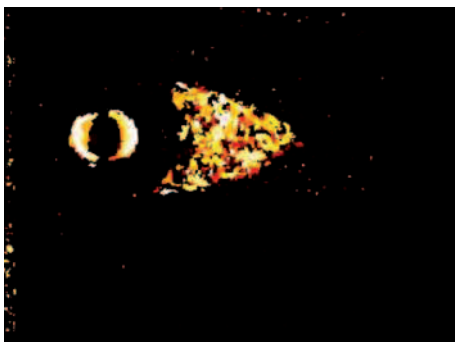
Aufgabenstellung

»Falsche Freunde« sind nicht besonders beliebt - weder im Privatleben noch beim Schweißen. Wenn Bleche mit Laserstrahlung im Überlapp miteinander verschweißt werden, kann es trotz sichtbarer Nahtwurzel bei zu großem Spalt zwischen den Fügepartnern zum »falschen Freund« kommen. Ein gefährlicher Prozessfehler - die Bleche sind nicht miteinander verbunden. Die Aufgabe der koaxialen Prozesskontrolle (Coaxial Process Control, CPC) ist, diesen Fehler zu erfassen.



Vorgehensweise

Das am Fraunhofer ILT entwickelte CPC-System sitzt direkt im Strahlengang der Laserbearbeitungsanlage. Die Beobachtung erfolgt mit dem Strahl. Die emittierte Sekundärstrahlung aus dem Prozess wird über spezielle optische Komponenten aus dem Strahlengang ausgekoppelt und mit Hochgeschwindigkeitskameras beobachtet. Die aufgezeichneten Prozessbilder werden mit einem Rechner in Echtzeit interpretiert. Innovative Optionen ergeben sich aus der Integration von Fremdbeleuchtung. Durch eine Lichtquelle wird der Bearbeitungsvorgang erhellt und damit das Eigenleuchten fast vollständig überstrahlt. Dadurch ist die Unterscheidung zwischen aufgeschmolzenem und festem Material möglich. Die Untersuchungen zeigen, dass bei einer Blechkombination aus Edelstahl der Anbindungsfehler im



Bildsequenz zur Auswertung des Rohbilds der fremdbeleuchteten Prozesszone. Zwischenschritte der Bildauswertung bis hin zur automatischen Approximation der Wechselwirkungszone durch ein Rechteck (von oben nach unten).

Überlappstoß mit der Länge und Breite der Schmelzzone im Wechselwirkungspunkt korreliert. Mithilfe eines eigens entwickelten Bildverarbeitungsalgorithmus für das CPC-System konnten die charakteristischen Änderungen der Schmelzbadlänge und -breite während der Bearbeitung beobachtet und dokumentiert werden. Da die Schmelzbad-dynamik zur Erkennung ausgenutzt wird, reichen Einzelbilder zur Überwachung nicht aus. Diese besondere Herausforderung konnte mit der Auswertung von Bildsequenzen erfolgreich gelöst werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Für den genannten Anwendungsfall wurde die Korrelation der Schmelzbadlänge mit dem Spalt beim Überlappstoß gezeigt. Überbrückbare Spalte führen zu verringerter Breite der Schmelzzone. Anbindungsfehler, die weder von der Nahtober- oder -unterseite zu erkennen sind, ergeben eine verlängerte Schmelzbadlänge bei unveränderter Breite. Das CPC-System mit dem entwickelten Auswertealgorithmus bestimmt Länge und Breite des Schmelzbad und erlaubt damit u. a. die Erkennung des »falschen Freundes«.

Das Anwendungsfeld für diese Überwachungsmethode spannt sich über einen großen Branchenbereich, in dem Überlappsschweißungen mit dem Laserstrahl benötigt werden. Gerade in der Automobilindustrie ergibt sich insbesondere beim Schweißen von Karosseriebauteilen eine Reihe von interessanten Möglichkeiten.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. P. Abels, Tel.: -428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Das Einrichten neuer Prozessabläufe sowie die Überwachung und Regelung eingerichteter Prozessvorgänge stellen sowohl für den Maschinenhersteller als auch für den Anwender von Fertigungsanlagen eine große Herausforderung dar. Insbesondere die schlechte Planbarkeit von Störgrößen erfordert neue Ansätze, die eine frühzeitige Absicherung der Funktions- und Leistungsfähigkeit von automatisierten Fertigungsprozessen durch Überwachung und aktive Regelung ermöglichen.

Vorgehensweise

Im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« werden erweiterte Erkenntnisse zu Prozessmodellen, Signalanalysemethoden und Systemen zur Qualitätsüberwachung und Messunsicherheitsdetektion erarbeitet. Hierbei steht die Entwicklung prozessübergreifender Ansätze durch den gegenseitigen interdisziplinären Erfahrungsaustausch einzelner Fachgebiete im Vordergrund.

Die Arbeiten am Fraunhofer ILT haben die Entwicklung von Methoden und Algorithmen zur automatisierten Einrichtung, Überwachung und Regelung von Laserstrahlschneidprozessen zum Ziel.

Ergebnisse und Anwendungen

Am Beispiel des Laserstrahlschneidens wird am Fraunhofer ILT die Anwendbarkeit allgemeingültiger, reduzierter Modelle auf den Fertigungsprozess untersucht. Hierfür werden entsprechende Sensorsysteme konzipiert und verifiziert. Dazu gehört auch die Erarbeitung neuer Methoden zur Signalgewinnung (siehe Bilder) und -analyse.

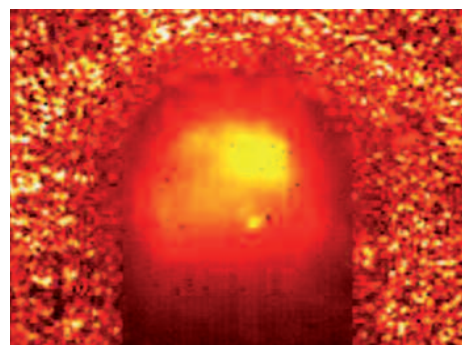
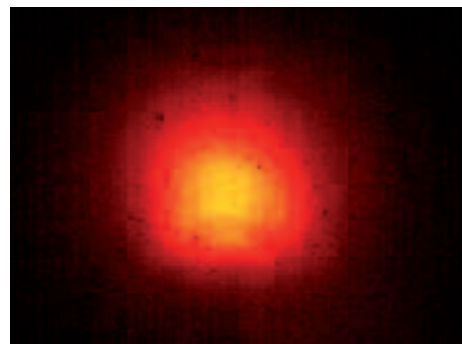
Des Weiteren wird eine detaillierte und systematische Aufschlüsselung sowie Protokollierung aller Maschinen-, Produkt-, Prozess- und Sensordaten durchgeführt.

Durch die Ermittlung und den Umgang von Messunsicherheiten der Sensorik auf der einen Seite und unsicheren Modellparametern auf der anderen Seite soll ein tieferes Prozessverständnis geschaffen werden.

Dies bildet die Grundlage für die Integration von selbstoptimierenden Einrichtung-, Überwachungs- oder Regelsystemen in den Produktionsablauf.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. S. Mann, Tel.: -321
stefan.mann@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de



Kameraaufnahme eines Laserstrahlschneidprozesses ohne Fremdbeleuchtung (oben), mit Fremdbeleuchtung (unten).



Aufgabenstellung

Die Anwendung der Simulation in der Laser-Fertigungstechnik stellt große Anforderungen an die Kopplung von Modellen. Die Analyse der Lösungseigenschaften wird durch eine Möglichkeit zur Steuerung des Simulationsablaufs während der Berechnung wesentlich verbessert. Die Aufgabe besteht darin, eine Umgebung (Framework) zur schnellen und flexiblen Entwicklung von parallelisierten Simulationsrechnungen nach dem Baukastenprinzip zu erstellen. Das Framework enthält:

- Computational Steering System (CSS)
- Visualisierung / Analyse
- Datenstrukturen zur Kopplung
- Numerische Methoden

Vorgehensweise

Das Computational Steering System CSS wird um eine numerische Toolbox erweitert. Durch das CS-System wird eine einheitliche Interface-/Programmstruktur für Simulationscodes vorgegeben. Mit der Programmiersprache C++ und der Verwendung einer einheitlichen Datenstruktur sowie Algorithmen der Standard Template Library (STL) wird die erforderliche Flexibilität erreicht. Abstrakte Datenstrukturen und Template Basisklassen für Numeriktools werden definiert und erste Varianten der Implementierung von Numeriktools werden in folgenden Bereichen durchgeführt:

- Gittererzeugung
- Parallelisierung
- Lösung linearer Gleichungssysteme
- FEM-, FVM-Methoden
- Automatisches Differenzieren

Das CS-System und Numeriktools nutzen eine Client-Server Architektur, wobei die Kommunikation mithilfe des Message Passing Interface (MPI) erfolgt. Ein Kommandozeilen-Interface erlaubt die Initialisierung des batch-Betriebs für Parameterstudien.

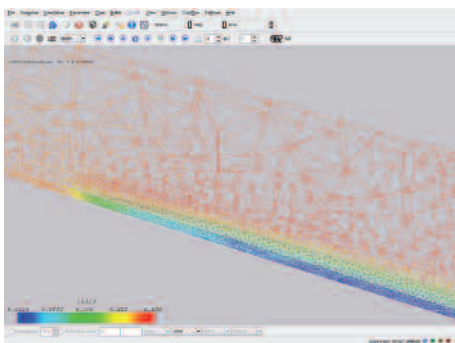
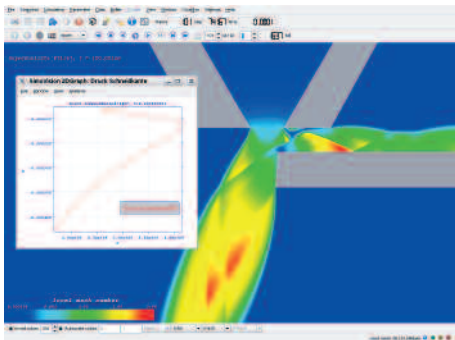
Ergebnisse und Anwendungen

Die Basisfunktionalität der numerischen Toolbox ist fertiggestellt. Erste Simulationsprogramme sind nach dem Baukasten erzeugt und in Anwendungsprojekten erprobt worden. Beispiele für die Anwendung des CS-Systems sind das Schweißen (Bild oben), das Schneiden (Bild unten) und die Überschallgasströmung.

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

Ansprechpartner

U. Jansen, Tel.: -163
ulrich.jansen@ilt.fraunhofer.de
Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: CSS-Schweißen.
Unten: CSS-Schneiden.

Lasermess- und Prüftechnik





Laserinduzierte Plasmen auf Gesteinsproben bei der Einzelkornanalyse zur Mineralientrennung.

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

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



Blaue Laser für die Ultra- präzisions-Triangulation - BLU	122	Optische Ferndetektion von Gefahr- und Explosivstoffen - OFDEX	131
Verwechslungsprüfung von Rohrkomponenten mit Laserspektroskopie LIAS	123	Markerfreies Raman Screening	132
Elementspezifische Charakterisierung von Stahlschrottströmen	124	Quantitative Polarisationsmikroskopie	133
Schnelle Identifikation von Leichtmetall-Legierungen zur auto- matischen Sortierung - SILAS	125	Laserkoagulationssystem mit integrierter Echtzeit-Überwachung von Gefäßverschlüssen	134
Einzelkornanalyse zur Mineralientrennung bei der Gewinnung von Primärrohstoffen - EIGER	126	Integrierte mikrofluidische Diagnostiksysteme - IMIKRID	135
Bildgebende Laseranalyse von Elementverteilungen von Baustoffen	127	Endoskop für die »kalte« Laserneurochirurgie	136
Online-Analyse für die Gewinnung mineralischer Rohstoffe	128	Optische Kohärenz-Tomographie (OCT) in der Endoskopie	137
Schnelle lasergestützte Analyse von metallischen und nicht-metallischen Einschlüssen in Stahl - REAL	129	Optische Kohärenz-Tomographie (OCT) zur Schichtdickenmessung an Stückgütern	138
Charakterisierung ultrafeiner Staubpartikel in Emissionen von Industrieprozessen	130	Weißlicht Mach-Zehnder Interferenzmikroskopie in Transmission	139



Aufgabenstellung

Gestiegene Anforderungen in modernen Serienproduktionen mit automatischer Prozess- und Qualitätskontrolle erfordern u. a. neue Konzepte für Lasertriangulationssensoren. Kompakter, leichter, schneller, genauer und stabiler sind nur einige der Schlagworte, wie sie von der Industrie, z. B. von Walzwerken, gefordert werden. Im Rahmen des Verbundprojektes BLU, welches vom Bundeswirtschaftsministerium und mittelständischen Unternehmen gefördert wird, sollen zusammen mit Industriepartnern neuartige Technologien für den Einsatz bei Triangulationssensoren erprobt werden.

Vorgehensweise

Im Rahmen des Vorhabens sollen neue Laserstrahlquellen mit kürzerer Wellenlänge für den Einsatz in Triangulationssensoren untersucht werden. Dadurch und durch die Kopplung mittels Singlemodefaser sollen höhere Ortsauflösungen und Genauigkeiten erreicht werden, als dies mit derzeit kommerziell erhältlichen Sensoren möglich ist.

Zusätzlich werden systematisch verschiedene Konstruktionswerkstoffe untersucht, um stabilere und leichtere Sensoren zu erhalten. Zusammen mit einer räumlichen und zeitlichen Modulation der Laserstrahlung wird die Ausgangsbasis für eine neue Generation von Triangulationssensoren geschaffen.

Ergebnisse und Anwendungen

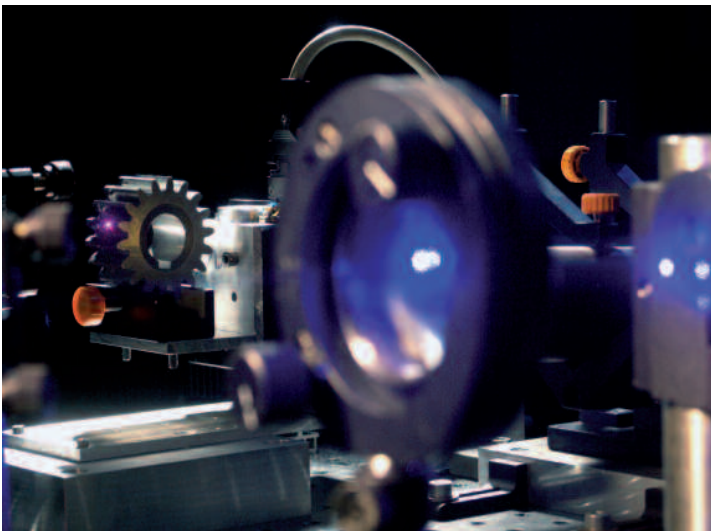
Die derzeit kommerziell erhältlichen Laserdioden im blau-violetten Wellenlängenbereich genügen nicht den hohen Anforderungen an die Strahlqualität, wie sie für die Präzisionstriangulation erforderlich ist. Daher wird eine hochstabile Singlemode-Fasereinkopplung zusammen mit einem Projektpartner entwickelt, welche für den industriellen Einsatz geeignet ist. Mit der gesteigerten Strahlqualität werden nun Messgenauigkeiten erreicht, wie sie derzeit nur mit HeNe-Lasern erreichbar sind.

Parallel zur Sensorentwicklung werden optische Messanlagen mit neuen Stabilisierungsmethoden in einem Kaltwalzwerk an Produkten mit metallisch blanker Oberfläche erprobt, sowie neue Methoden zur Konturvermessung hochpräziser Bauteile mit hoher Oberflächengüte untersucht.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) A. Lamott, Tel.: -133,
andre.lamott@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138,
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

Laboreinsatz blau-violetter
Laserstrahlung für Triangulations-
verfahren.



Aufgabenstellung

Verfahrenstechnische Rohrleitungssysteme finden sich in großer Zahl in der chemischen Industrie, in Anlagen zur Gas- und Ölförderung sowie in thermischen und nuklearen Kraftwerken, in der Lebensmittelindustrie, bei Getränkeabfüllern oder bei Herstellern von Flüssiggasen. Um die Zuverlässigkeit der Rohrleitungen sicherzustellen, müssen für die jeweilige Anwendung stets die richtigen, korrosionsresistenten und miteinander verträglichen Werkstoffgüten eingesetzt werden.

Die Hersteller von Rohrkomponenten (Fittinge, Rohrbögen und Formstücke) müssen deshalb garantieren, dass bei ihren Produkten keine Materialverwechslungen auftreten. Integriert in eine automatisierte Fertigungslinie prüft LIAS jedes hergestellte Produkt auf Verwechslung, ohne den Produktionsfluss zu behindern. Die Ergebnisse liegen im Produktionstakt vor und werden vollständig dokumentiert. Verwechselte Produkte können automatisch ausgeschleust werden.

Vorgehensweise

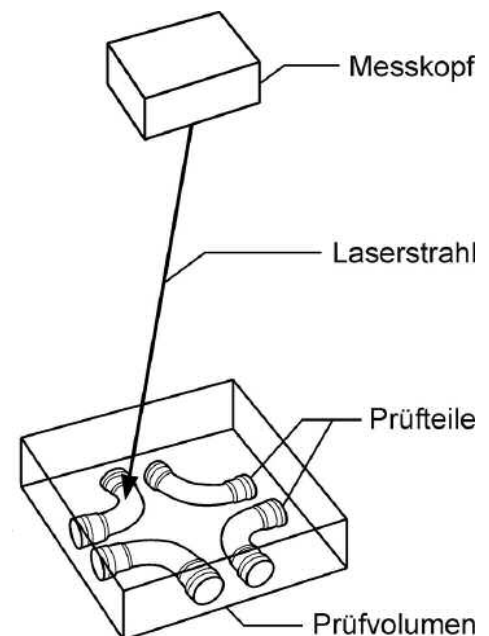
Ein Scanner mit steuerbaren Spiegeln richtet den Laserstrahl flexibel auf frei definierbare Prüfstellen auf den Werkstücken. Das erzeugte Plasmaleuchten wird spektral ausgewertet, um den Werkstoff anhand der Konzentration der Legierungselemente zu identifizieren. Eine Vorbereitung der Oberfläche ist nicht erforderlich. Fremdstoffe an der Oberfläche, z. B. Öle, Oxide oder Zunder, werden vom Laser lokal abgetragen oder durchdrungen. Mit integrierten Referenzproben überwacht sich LIAS automatisch selbst und erfüllt die Forderung der ISO 9001 hinsichtlich der Lenkung von Mess- und Prüfmitteln.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Prüflinge sind z. B. Rohrkomponenten unterschiedlicher Geometrien und Abmessungen. Mit dem für den Industrieinsatz ausgelegten System werden bis zu 4 Millionen Prüfungen auf Werkstoffverwechslungen pro Jahr vollautomatisch durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) R. Fleige, Tel.: -133
ruediger.fleige@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Messkopf mit Laserstrahlquelle und Scanner.

Unten: Verwechslungsprüfung mit flexibel ablenkbarem Laserstrahl. Mehrere frei definierbare Stellen auf den Prüfteilen können geprüft werden. Prüfdauer < 0,5 sec/Prüfstelle, Prüfvolumen (HxBxT) 100 x 400 x 400 mm.

Aufgabenstellung

Die Verwertung von Stahlschrott als Rohstoff für die Stahlerzeugung hat neben dem Umweltaspekt zunehmend wirtschaftliche Bedeutung aufgrund steigender Rohstoffpreise und knapper werdender Ressourcen. Je besser der Stahlschrott bezüglich seiner chemischen Elementzusammensetzung charakterisiert ist, desto höherwertig ist die Fraktion. Klassische Fraktionsierungsverfahren (Magnetabscheidung, Dichteverfahren u. a.) können nur einige Merkmale erfassen - für einzelne in der Verwertung kritische Elementgehalte sind sie meist nicht hinreichend selektiv. Die Aufgabe besteht in der Entwicklung und Eignungsprüfung eines Verfahrens zur Vor-Ort-Charakterisierung von Stahlschrottströmen auf Förderbändern.

Vorgehensweise

Die Laser-Emissionsspektroskopie (engl. LIBS - Laser-induced breakdown spectroscopy) wird als Laserverfahren zur elementselektiven Charakterisierung gewählt. Das Verfahren muss dahingehend entwickelt werden, einen zuverlässigen Mittelwert der Elementkonzentrationen zu ermitteln. Ein Demonstratoraufbau wird für die Vor-Ort-Versuche an einer Schredderanlage und an einem Elektrolichtbogenofen aufgebaut werden.

Ergebnisse und Anwendungen

In der ersten Phase des Vorhabens wurden Experimente zur Laseranalyse an Stahlschrottproben durchgeführt, um Laserparameter zu finden, die es erlauben, auch Beschichtungen und Schmutzschichten zu durchdringen. Die Konzeption des Demonstratoraufbaus für die Vor-Ort-Versuche wurde abgeschlossen und der Aufbau begonnen.

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

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. D. Eilers, Tel.: -308
daniel.eilers@ilt.fraunhofer.de
Dr. V. Sturm, Tel.: -154
volker.sturm@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Beispiel für das Eingangs- (oben) und Ausgangsmaterial (unten) einer Schredderanlage.



Aufgabenstellung

Die Vorsortierung von geschreddertem Aluminiumschrott ist eine notwendige Voraussetzung für die Sekundärherstellung dieses Leichtmetalls. Neben der Separation in die Stoffgruppen Guss- und Knetlegierungen steht dabei insbesondere eine werkstoffliche Trennung in Untergruppen der Knetlegierungen, den sogenannten 1000er-Gruppen, im Vordergrund. Klassische Trenn- sowie Aufbereitungsverfahren sind für diese Aufgabenstellung ungeeignet, so dass ein Großteil der Aluminiumherstellung stets im Rahmen einer energieintensiven Primärproduktion erfolgt. Die Hauptschwierigkeit bei der Schrottvorsortierung liegt darin, dass einzelne auf einem Förderband bewegte Objekte in Sekundenbruchteilen chemisch analysiert werden müssen. Insbesondere bei Altschrotten müssen Oberflächenkontaminationen und -beschichtungen innerhalb der verfügbaren Messzeit entfernt werden, so dass ein repräsentatives objektspezifisches Messergebnis generiert werden kann.

Vorgehensweise

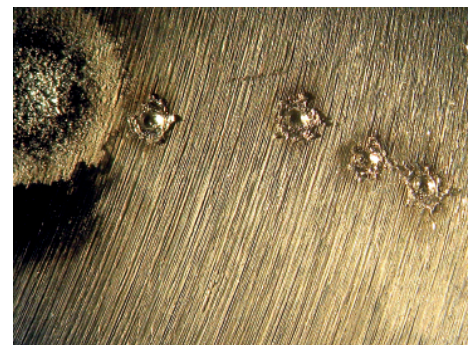
Vereinzelte Aluminiumwerkstücke werden auf ein Förderband ($v = 3 \text{ m/s}$) aufgegeben und von einer Objekterkennungseinheit detektiert. Ein im Hinblick auf optische und geometrische Merkmale ausgewählter Koordinatensatz auf der Probenoberfläche wird an eine Laser-Messeinheit übermittelt. Gepulste Laserstrahlung wird über Scannerspiegel auf diese ausgewählte Stelle fokussiert. Das laserinduzierte Plasma wird antiparallel zur Strahlpropagationsrichtung aufgefangen und spektrometrisch in Echtzeit analysiert. Basierend auf dieser Multi-Element-Analyse können die Werkstücke am Bandkopf in einzelne Fraktionen ausgeschleust werden.

Ergebnisse und Anwendungen

In Kooperation mit einem Laserhersteller wurde ein Lasersystem entwickelt, welches zeitlich-räumlich-modulierte Laserstrahlung aus einem Oszillator emittieren kann. Mit dem ersten Teil dieser Laserstrahlung können beschichtete oder verschmutzte Oberflächen durchdrungen werden. Die im gleichen Laserpulszug folgenden Analysepulse wechselwirken anschließend mit dem freigelegten Material. Das Scannersystem wird während der Emission dieser Laserstrahlung entsprechend nachgeführt. Es konnte im Rahmen von Versuchen gezeigt werden, dass mit dieser Laserstrahlung je nach Lage der Strahltaile im Werkstoff Aluminium Kratertiefen von $300 \mu\text{m}$ und mehr erzielbar sind. Mit diesem Ansatz konnte zum ersten Mal eine erfolgreiche stoffliche Trennung eines Schrottgemischs bestehend aus Guss- und Knetlegierungen demonstriert werden. Die Identifikationsrichtigkeiten lagen für diese Aufgabenstellungen bei über 90 % bei einer gleichzeitigen Ausbringungsrate von 100 %. Derzeit wird mit der verbesserten Analyseverfahren die Leistungsfähigkeit des Sortierdemonstrators im Rahmen einer Industriestudie für Untergruppen der Knetlegierungen validiert. Eine Prototypentwicklung ist ab 1/2008 geplant.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Ü. Aydin, Tel.: -431
uemit.aydin@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de
Dr. J. Makowe, Tel.: -327
joachim.makowe@lsa-systems.de



Oben: Momentaufnahme eines laserinduzierten Plasmas auf einem bewegten Aluminium-Schrottteil ($v = 3 \text{ m/s}$).

Unten: Krateraufnahmen auf einer geschliffenen Aluminiumoberfläche. Links: Messfleck eines Funkenspektrometers (Kratertiefe $< 10 \mu\text{m}$), rechts: 4 Krater erzeugt mit zeitlich-räumlich modulierter Laserstrahlung (Kratertiefen $> 150 \mu\text{m}$). Diese Krater wurden bei einer Relativgeschwindigkeit von $v = 3 \text{ m/s}$ zwischen Probe und Laser-Messsystem erzeugt. Die zeitlich-räumlich modulierte Laserstrahlung wurde dabei nachgeführt.

Aufgabenstellung

Bei der Aufbereitung von Primärrohstoffen, wie beispielsweise Kalkstein oder anderen Mineralien und Erzen, müssen Nutzmateriale von verwachsenen Nebengesteinen getrennt werden. Diese stoffliche Trennung muss aufgrund von vergleichsweise niedrigen Preisen dieser Rohstoffe in der unmittelbaren Umgebung der Abbaustätte erfolgen. Ein Transport des abgebauten Materials ist in vielen Fällen unwirtschaftlich. Derzeit existieren keine automatisch arbeitenden Verfahren zur wirtschaftlichen Online-Einzelkornsortierung von Primärrohstoffen. Im Rahmen eines Verbundvorhabens soll ein lasergestütztes Sortierverfahren zur Trennung von Kalkstein und Dolomit entwickelt werden. Die Erweiterung auf andere Erze und Mineralien ist ebenfalls denkbar.

Vorgehensweise

Nach einer Vereinzelungseinheit werden die Rohstoffe in Form von Einzelkörnern bzw. Gesteinsbrocken dem Messsystem zugeführt. Diese Proben werden im bewegten Materialstrom individuell laserspektroskopisch analysiert und je nach Messergebnis in verschiedene Fraktionen ausgeschleust. Die Realisierung eines Demonstrators, dessen Betriebsbereitschaft unter rauen industriellen Bedingungen gewährleistet werden muss, steht bei diesem Vorhaben im Vordergrund.

Ergebnisse und Anwendungen

In der ersten Projektphase wurden grundlegendere spektroskopische Untersuchungen zur Erforschung verschiedener Einflussfaktoren durchgeführt. Im zweiten Projektabschnitt wurde mit Testreihen an bewegten Gesteinsproben (Kalkstein/Dolomit) mit bekannter chemischer Zusammensetzung begonnen. Diese Proben unterscheiden sich primär im MgO/CaO -Konzentrationsverhältnis. Als Trennkriterien wurden daher Schwellwerte bei Mg-Detektionskanälen näher untersucht. Dabei wurden für jede betrachtete Werkstoffklasse Identifikationsrichtigkeiten jenseits von 90 Prozent bei einer gleichzeitigen Ausbeute von 100 Prozent erzielt.

Desweiteren wurde ein neues Paschen-Runge-Spektrometer mit für den genannten Anwendungsfall angepassten Detektionskanälen beschafft und ein entsprechendes Gehäuse gemäß IP-Standard für den industriellen Einsatz entwickelt. Nach der Integration dieses Spektrometersystems in den Sortierdemonstrator sind Langzeittests mit großen Materialmengen ($> 1\text{ t}$) geplant. Durch die flexible Ausführung des Sortiersystems sind weitere Validierungstests mit anderen Stoffströmen denkbar. Neben Mineralien und Erzen stellt auch die Online-Trennung von Metallen einen interessanten Anknüpfungspunkt dar.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Ü. Aydin, Tel.: -431
uemit.aydin@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Laserinduzierte Plasmen auf Gesteinsproben.

Unten: Paschen-Runge-Spektrometersystem in einer vibrationsgeschützten Doppel-Einhausung. Die gefedert ausgelegte Aufhängung des Spektrometers sowie die EMV-feste Ausführung erlauben den Einsatz unter rauen industriellen Bedingungen und unter freiem Himmel.



Aufgabenstellung

Bauwerke und Betonbauten, wie beispielsweise Brücken und Parkhäuser, werden durch Umwelteinflüsse (Abgase, Streusalze etc.) korrosiv verändert, da eindringende Elemente wie Stickstoff, Schwefel und im besonderen Chlor zu einer nachhaltigen Schädigung der Bausubstanz führen. Um eine aufwandsoptimierte Gebäudesanierung gewährleisten zu können, muss die Eindringtiefe und Konzentration dieser Elemente möglichst genau bestimmt werden. Durch ein Analysesystem soll vor Ort eine Bestimmung von Elementgehalten in Baustoffen realisiert werden, so dass anhand von »Elementlandkarten« Schäden erkannt und diese in Abhängigkeit vom Ausprägungsgrad beseitigt werden können.

Vorgehensweise

Die Laser-Emissionsspektrometrie ist eine Methode mit der feste, flüssige und gasförmige Substanzen berührungslos chemisch analysiert werden können. Die Konzentrationen verschiedener Elemente können innerhalb kurzer Zeit simultan bestimmt werden. Von Bauwerken entnommene Bohrkerns werden gespalten und die Bruchfläche mit einem fokussierten Nd:YAG-Laserstrahl abgerastert. Durch die auftreffenden Laserpulse auf der Oberfläche werden kleinste Mengen des Bohrkerns verdampft und ionisiert, so dass ein Plasma entsteht. Die Plasmaemission lässt durch ihre elementspezifische Linienstrahlung Rückschlüsse auf den Elementgehalt an der jeweiligen Messstelle zu.

Ergebnisse und Anwendungen

Im Rahmen des Projektes wurde ein Demonstrator konzipiert und aufgebaut, mit dem es möglich ist, automatisiert 2-dimensionale Elementlandkarten zu erstellen. Der zur Detektion der Plasmaemission nutzbare Wellenlängenbereich wurde dahingehend erweitert, dass durch die Implementierung einer Messkammer verschiedene Umgebungsgase und -drücke für eine Messung eingestellt werden können. Dadurch sind Spektrallinien im Wellenlängenbereich von 130 nm bis 920 nm detektierbar. Mit den Spektrallinien im VUV- und IR-Bereich wird eine Nachweisgrenze der Elementkonzentration von Chlor unterhalb von 1 Prozent anvisiert.

Das Projekt wird mit finanzieller Unterstützung des Bundeswirtschaftsministeriums, von Industriepartnern und der Fraunhofer-Gesellschaft durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. C. Gehlen, Tel.: -127
christoph.gehlen@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Blick durch das Beobachtungsfenster in die Messkammer. Auf der Probenoberfläche wird ein laserinduziertes Plasma gezündet, dessen Emission über einen Direktlichtkanal in ein Spektrometer geführt wird.
Unten: ILCOM-Demonstrator.

Aufgabenstellung

Im Untertagebergbau erfolgt die Steuerung der Gewinnungsmaschinen derzeit manuell. Dabei wird durch den unvermeidlichen Abbau von Nebengestein die Qualität des Abbauguts verringert und die Menge des an die Oberfläche zu transportierenden Materials erhöht. Im Rahmen des Projekts wird ein Analysemodul für den Einsatz unter Tage entwickelt, mit dem in Echtzeit der Anteil des Nebengesteins bestimmt werden soll.

Im obertägigen Bergbau werden zur Lagerstättenerkundung Prospektionsbohrungen durchgeführt. Hierfür soll ein Modul zur Echtzeitanalyse des Bohrmehls entwickelt werden, das die bisherigen Laboranalysen ersetzen kann. Damit wird es möglich, das Bohrraster dynamisch den geologischen Gegebenheiten anzupassen und so mit weniger Aufwand ein genaueres geologisches Modell zu erstellen.

Vorgehensweise

Die bei der Gewinnung entstehenden Gesteinsstäube werden abgesaugt und mittels Laser-Emissionsspektroskopie direkt im Luftstrom chemisch analysiert. Das Online-Analyseverfahren kann so Nutzmineral von Nebengestein unterscheiden.

Für den untertägigen Einsatz wird im Projekt die Unterscheidung von Steinkohle und Tonschiefer untersucht. Für den übertägigen Abbau ist ein Einsatz zunächst in der Kalkgewinnung vorgesehen. Die verwendete Technik kann allerdings problemlos auf andere Nutzminerale und Nebengesteine übertragen werden.

Der Einsatz unter Tage stellt an das Analysemodul außergewöhnliche Anforderungen hinsichtlich Vibrations-, Staub- und Wasserfestigkeit.

Ergebnisse und Anwendungen

Erste Ergebnisse zeigen, dass eine Unterscheidung von abzubauenem Material und Nebengestein mittels Laser-Emissionsspektroskopie möglich ist. So kann z. B. bei Steinkohle durch ein erhöhtes Auftreten von Silizium und anderen Elementen sowie einem rapide abnehmenden Kohlenstoffgehalt auf einen erhöhten Nebengesteinsabbau geschlossen werden.

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

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. T. Kuhlen, Tel.: -308
tobias.kuhlen@ilt.fraunhofer.de
Dr. P. Jander, Tel.: -440
peter.jander@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Proben von Kalkstein und Steinkohle und deren Nebengesteinen.
Unten: Walzenlader aus dem Hause Eickhoff.



Aufgabenstellung

Wichtige Qualitätskriterien in der Stahlherstellung sind die Anzahl, Verteilung und Zusammensetzung metallischer und nicht-metallischer Einschlüsse. Sie haben eine typische Größe von 0,1 μm bis zu 100 μm . Solche Einschlüsse beeinflussen die Materialeigenschaften und können zu Materialermüdung oder gar Bruch des Materials führen. Vielfach bestehen Einschlüsse aus einer Kombination verschiedener Elemente, wie z. B. MnS oder TiN. Ein Nachweis auch der sogenannten leichten Elemente - wie C, N, O, P und S - ist deshalb gefordert. Die Analyse soll dabei möglichst ohne eine aufwendige Probenpräparation auskommen.

Vorgehensweise

Für die Analyse der Stahlreinheit ist eine gefräste oder geschliffene Probe ausreichend. Diese Probe wird innerhalb einer mit Schutzgas gefüllten Messkammer analysiert. Dazu rastert ein Strahl eines fokussierten diodengepumpten Festkörperlaser die Probenoberfläche ab. Im Fokus des Laserstrahls wird eine geringe Menge des Probenmaterials verdampft und ein Plasma erzeugt. Die emittierte Strahlung des Plasmas wird spektral zerlegt, in elektrische Signale gewandelt und ausgewertet. Mit dieser Messmethode kann durch die hohe Messfrequenz von 1 kHz eine Probenoberfläche von 10 x 10 mm² in 10 min analysiert werden. Innerhalb dieser Messzeit werden Elementlandkarten mit einer Auflösung von 20 μm für bis zu 48 verschiedene chemische Elemente simultan gemessen.

Ergebnisse und Anwendungen

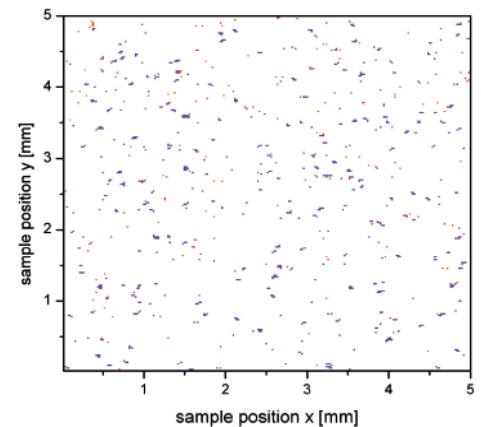
Eine Reihe von Stahlproben wurde hinsichtlich der Verteilung von metallischen und nicht-metallischen Einschlüssen untersucht. Dabei wurde besonders das Verhalten von Doppelpulsen im Vergleich zu bisher eingesetzten Einzelpulsen zur Analyse untersucht.

Verschiedene Algorithmen zur Bearbeitung der Elementlandkarten und eine Filterung der Einschlüsse gegenüber dem Bulkmaterial wurden getestet und bewertet.

Die Arbeiten werden von dem Research Fund for Coal and Steel (RFCS) und der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) M. Höhne, Tel.: -160
manuela.hoehne@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Elementlandkarte von MnS
Einschlüssen, S (rot) Mn (blau).

Aufgabenstellung

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

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

Vorgehensweise

Zur chemischen Analyse der Partikel werden zwei Messmethoden auf Basis der Laser-Emissionsspektroskopie entwickelt. Im ersten Anwendungsfall werden Partikel nach Größenklassen auf Filtern gesammelt und anschließend im Labor untersucht. Alternativ werden Partikel direkt vor Ort im Luftstrom analysiert, um auch schnelle Online-Charakterisierungen zu ermöglichen. Um zuverlässige Messergebnisse zu erhalten, müssen Proben und Aerosole hergestellt werden, die die Kalibrierung des Messgerätes für alle relevanten Elemente über einen Konzentrationsbereich von mehreren Größenordnungen ermöglichen.

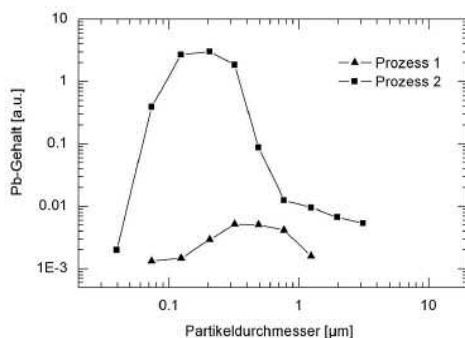
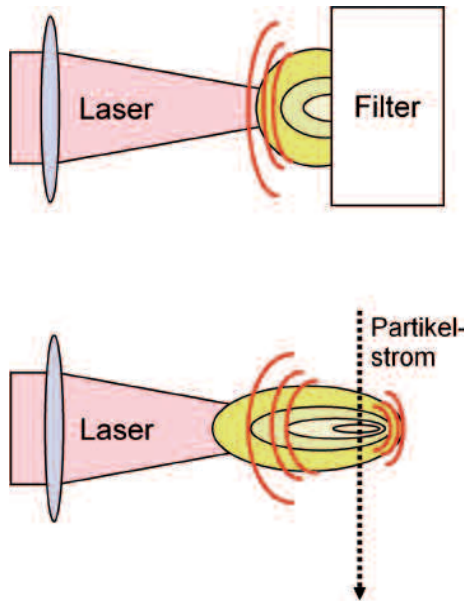
Ergebnisse und Anwendungen

Untersuchungen von Emissionen aus der Stahlherstellung zeigen beispielsweise einen erhöhten Gehalt von Blei, Cadmium und Kupfer bei Partikeln mit einer Größe um 200 nm, während andere Metalle verstärkt in größeren Partikeln vorkommen. Die Zusammensetzung variiert stark mit der Größe und ist charakteristisch für einzelne Prozesse, in denen diese Partikel entstehen. Damit lassen sich »Fingerabdrücke« der Prozesse erstellen, die eine Zuordnung von Emissionsquellen ermöglichen. Aufgrund der Größenabhängigkeit der Zusammensetzung lässt sich somit auch das Gesundheitsrisiko genauer einschätzen, das von den Emissionen ausgeht. Größenaufgelöste Messungen sind ebenfalls bei der Analyse von Partikeln im Luftstrom möglich. Aufgrund der kurzen Messzeit sind damit direkte Prozesskontrollen möglich. Die Projektergebnisse sollen verwendet werden, um Strategien zur Emissionsreduzierung für die untersuchten Industrieanlagen zu erstellen. Das Verfahren kann universell auch in anderen Industriebereichen, der Motorenentwicklung sowie der Nanotechnologie eingesetzt werden.

Das Projekt wird von der Europäischen Union im Rahmen des »Research Fund for Coal and Steel (RFCS)« und mit Mitteln der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. N. Strauß, Tel.: -196
nadine.strauss@ilt.fraunhofer.de
Dr. C. Fricke-Begemann, Tel.: -196
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Die Laserspektroskopie eignet sich sowohl für die Untersuchung von auf Filtern gesammelten Partikeln als auch für die Analyse von luftgetragenen Partikeln.

Unten: Bleigehalt in Feinstaubpartikeln der Größen 40 nm bis 4 µm aus verschiedenen Produktionsprozessen.



Aufgabenstellung

Die Bedrohung durch terroristische Attacken hat in den letzten Jahren stark zugenommen, insbesondere durch Autobomben und Sprengsätze in Gepäckstücken. Zurzeit gibt es kein System zur Fernerkennung solcher »improvised explosive devices (IED)«.

Daneben besteht großer Bedarf für Systeme zur chemischen Fernanalyse im Bereich des Katastrophen- und Umweltschutzes, beispielsweise bei Unfällen in der petrochemischen Industrie oder zur Emissionskontrolle.

Vorgehensweise

Innerhalb eines Verbundes von vier Fraunhofer-Instituten wird ein System zur Fernerkennung von Gefahr- und Explosivstoffen mit sich ergänzenden optischen Verfahren entwickelt.

Von Seiten des ILT werden dazu sowohl die Laser-Emissionsspektrometrie als auch die Ramanspektroskopie untersucht. Die Laser-Emissionsspektroskopie zeichnet sich durch hohe Messfrequenzen und präzise Messung der elementaren Zusammensetzung auch über Entfernungen von mehreren Metern aus. Mit Ramanspektroskopie lassen sich Substanzen mit ähnlicher atomarer Zusammensetzung unterscheiden, indem die Frequenzen der charakteristischen Eigenschwingungen der Moleküle gemessen werden.

Beide Techniken liefern daher komplementäre Informationen über die untersuchte Probe. Eine Kombination erhöht die Nachweiswahrscheinlichkeit und verringert die Fehlalarmquote bei der Explosivstoffdetektion. Ausgehend von den am ILT vorhandenen Erfahrungen mit der Laseranalyse über Distanzen bis 12 m werden Verfahren und Datenauswertalgorithmen entwickelt, um geringste Sprengstoffspuren auch über Entfernungen bis 50 m nachweisen zu können.

Ergebnisse und Anwendungen

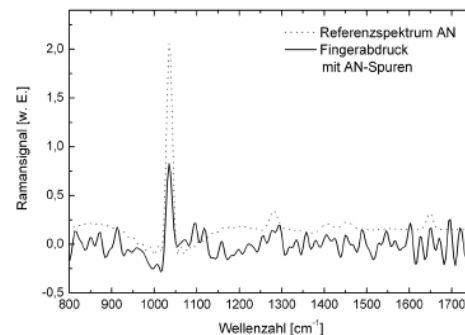
Versuche an Ammoniumnitrat, einer Hauptkomponente von ANFO-Sprengstoff, zeigen die Möglichkeit, mithilfe der Laser-Emissionsspektrometrie geringe Mengen stickstoffhaltiger Verbindungen über eine Entfernung von 5 m auch in der Gegenwart von Luftstickstoff nachzuweisen.

Die Empfindlichkeit der Ramanspektroskopie wurde inzwischen soweit gesteigert, dass ein Fingerabdruck mit Spuren von Ammoniumnitrat entsprechend einer Belegung von $160 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ eindeutig nachgewiesen werden konnte.

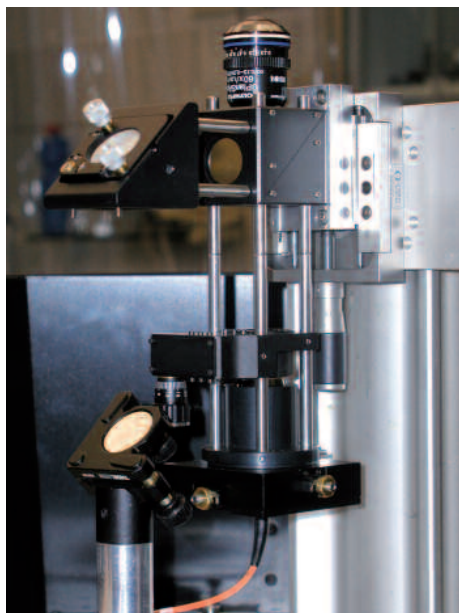
Das Projekt wird mit finanzieller Unterstützung der Fraunhofer-Gesellschaft durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. P. Jander, Tel.: -440
peter.jander@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Ramanspektren eines Fingerabdrucks mit Spuren von Ammoniumnitrat.



Kompaktes Modul für die inverse konfokale Ramanmikroskopie.

Aufgabenstellung

Die Analyse von biochemischen Wechselwirkungen, insbesondere von spezifischen Interaktionen zwischen Proteinen und ihren Bindungspartnern, stellt eine klassische Aufgabenstellung der pharmakologischen Wirkstoffsuche dar. In Screeningexperimenten werden unter Verwendung von Fluoreszenzfarbstoffen als »Markermoleküle« große Substanzbibliotheken nach potentiellen pharmakologischen Wirkstoffen abgesucht, die eine spezifische Affinität zu biologisch relevanten Zielproteinen (z. B. Enzyme oder Signaltransmitter) zeigen. In einem wissenschaftlichen Projekt mit Partnern aus Industrie und Forschung soll der Einsatz der Raman-spektroskopie zur Detektion biochemischer Wechselwirkungen ohne die Verwendung von Fluoreszenzmarkern untersucht und ein Demonstrator für Screeningexperimente aufgebaut werden.

Vorgehensweise

Das Verfahren der Differenz-Spektroskopie ermöglicht die Analyse von Bindungsereignissen zwischen Proteinen und ihren Liganden. Durch eine spezifische Bindung eines Liganden kommt es zu Änderungen im Schwingungsspektrum des untersuchten Proteins. Indem die Differenz der Spektren des gebundenen und des freien Proteins berechnet wird, können die Bandenverschiebungen sensitiv dargestellt werden. Um eine Überlagerung der Ramansignale mit einem starken Fluoreszenzuntergrund zu vermeiden, kommt im Projekt ein besonderes Verfahren der Untergrundreduktion zum Einsatz. Ein schmalbandiger External Cavity Diodenlaser ermöglicht durch eine geringfügige Verschiebung der

Anregungswellenlänge die Aufnahme von zwei Ramanspektren mit gegenseitigem Versatz. Da nur Ramansignale, nicht jedoch der Fluoreszenzuntergrund diesen Versatz aufweisen, kann so eine effektive Entfernung des Fluoreszenzuntergrundes erfolgen.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit einem Laboraufbau wurden erste Ramanspektren von Proteinen mit gutem Signal-zu-Untergrund-Verhältnis aufgenommen. Zum Einsatz kommt ein hochempfindliches Czerny-Turner Spektrometer mit gekühltem CCD-Detektor. Zur Trennung von Anregungslicht und Ramansignalen wurde ein kompaktes Modul zur Aufnahme eines schmalbandigen dichroitischen Spiegels, eines Laserlinienfilters sowie eines Bandpass-Filters konstruiert und aufgebaut. Das Spektrometer wird über eine justierbare Faser angekoppelt. Die Faser wirkt als Lochblende, so dass ein konfokal-optisches Prinzip mit örtlicher Auflösung in drei Raumdimensionen erreicht wird. Dadurch können minimale Probenvolumina vermessen werden. Der Aufbau ist invers ausgeführt, so dass Flüssigkeiten in Mikrotiterplatten mit Glasboden untersucht werden können.

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

Ansprechpartner

Dr. C. Janzen, Tel.: -124
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

Aufgabenstellung

Die Polarisationsmikroskopie mit gekreuzten Polarisatoren ist ein klassisches Verfahren zur Untersuchung doppelbrechender Strukturen (Kristalle, Polymere oder Gläser, die einem Druck oder Zug ausgesetzt sind). Die erhaltenen Bilder zeigen jedoch eine starke Abhängigkeit von der relativen Lage von Probe und Polarisationsrichtung des Untersuchungslichts. Mit einem neuartigen Verfahren der quantitativen Polarisationsmikroskopie ist es möglich, unabhängig von der Probenlage Falschfarbenbilder zu generieren, in denen die Transmission, die Amplitude und die Orientierung der Doppelbrechung der Probe wiedergegeben werden. Dadurch lässt sich zum Beispiel die Qualität von Einkristallen, die für die Proteinstrukturaufklärung gezüchtet werden, bestimmen.

Vorgehensweise

Zentrale Elemente eines quantitativen Polarisationsmikroskops sind eine monochromatische Lichtquelle, ein rotierender Polarisator und ein zirkularer Analysator, der aus einer $\lambda/4$ Platte und einem Polarisationsanalysator besteht. Diese Elemente sind in ein Transmissionsmikroskop mit einem Objektiv sowie einer CCD Kamera für die Bildaufnahme integriert. Die quantitative Doppelbrechungsanalyse erfolgt durch die Aufnahme mehrerer Bilder bei jeweils unterschiedlichen Winkelstellungen des Polarisators. Durch eine mathematische Transformation können aus den Einzelbildern die Transmission, die Amplitude und die Orientierung der Doppelbrechung an jedem Punkt der Probe berechnet werden.

Ergebnisse und Anwendungen

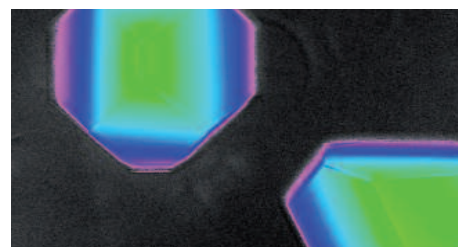
Ein Polarisationsmikroskop für das beschriebene quantitative Verfahren wurde in einen Demonstrator für die automatisierte, rationale Proteinkristallographie integriert. Durch das Polarisationsmikroskop können schwer charakterisierbare Niederschläge, die sich häufig in Kristallisationsexperimenten bilden, analysiert werden. Von besonderem Interesse ist die Unterscheidung zwischen amorphen, nicht-doppelbrechenden und mikrokristallinen, doppelbrechenden Niederschlägen. Auch Bakterienwachstum oder Bildverfälschungen durch Grenzflächenartefakte können sicher von kristallinen Strukturen unterschieden werden. Schließlich gelingt auch die Charakterisierung der Qualität von Kristallen, da nur Einkristalle eine einheitliche Orientierung der optischen Achse aufweisen. Der Demonstrator mit dem Polarisationsmikroskop wird zzt. in einem Applikationslabor eines Partner-Instituts evaluiert, dabei werden verschiedene Aspekte der Polarisationsmikroskopie untersucht.

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

Ansprechpartner

Dr. C. Janzen, Tel.: -124
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

Oben: Demonstrator für die Proteinkristallisation mit integrierter quantitativer Polarisationsmikroskopie.
Unten: Charakterisierung der Güte von Proteinkristallen. Die Bilder zeigen die Transmission (oben), die Amplitude (Mitte) und die Orientierung der Doppelbrechung (unten).



Aufgabenstellung

Die minimal invasive Laserchirurgie in durchbluteten Arealen erfordert ein endoskopisches Koagulationsverfahren zum Verschluss durchtrennter Blutgefäße. Hierfür ist der Einsatz leistungsstarker cw-Laserquellen geeignet, da sie über den optischen Kanal eines endoskopischen Laseroperationssystems eingekoppelt werden können. Zum Verständnis des Koagulationsablaufs sowie zur Bestimmung geeigneter Koagulationsparameter wurde ein optisches Tomographie-System entwickelt, mit dem Gefäße dreidimensional dargestellt werden können.

Vorgehensweise

Das für die Laserkoagulation entwickelte Endoskop fokussiert Laserstrahlung (Nd:YAG, $\lambda = 1064 \text{ nm}$, $P = 25 \text{ W}$) über einen mikrooptischen Kanal auf zu verschließende Gefäße in einer Operationshöhle. Während der Koagulation erfolgt die Beobachtung der Gefäßveränderung mit Hilfe der optischen Kohärenztomographie (OCT). Hierzu bewegt ein Galvo-Scannerspiegel einen Messstrahl quer zum Durchmesser des zu verschließenden Gefäßes. Senkrecht zur Bewegungsrichtung des Messstrahls nimmt das OCT-System Bildinformationen bis zu einer Gewebetiefe von ca. 1,5 mm auf. Dabei wird alle 50 μm ein neuer Tiefenscan (A-Scan) gestartet und der Gefäßquerschnitt über eine Breite von 1 mm aufgenommen. Der A-Scan erfolgt mit 200 Hz, eine Querschnittsaufnahme besteht aus 20 A-Scans im lateralen Abstand von 50 μm . Mit diesen Einstellungen für die Bildakquisition kann ein Gefäßquerschnitt von 1 mm mit einer Bildwiederholrate von 10 Hz aufgenommen werden. Dabei weist ein Bildpunkt in

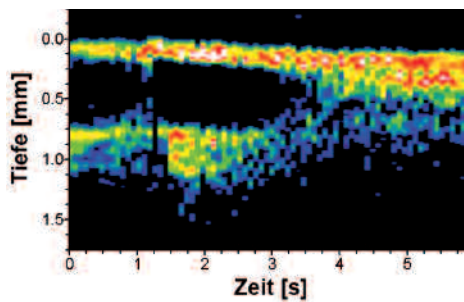
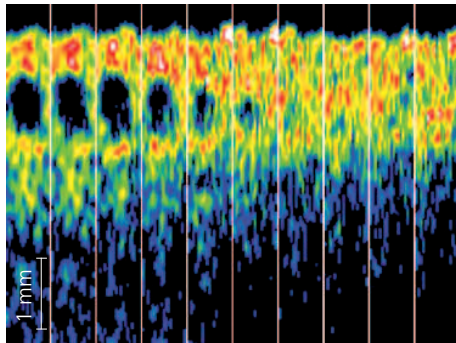
Richtung des Tiefenscans eine Größe von 4 μm auf. Die Bildaufnahmeparameter wie Bildwiederholrate, Bildgröße, Pixelgröße sowie der A-Scan können auf den zu untersuchenden Prozess angepasst werden.

Ergebnisse und Anwendungen

In umfassenden Koagulationsexperimenten an über 700 Ex-vivo-Gefäßen des Schweineherzens wurden Leistung, Leistungsdichte, bestrahlte Fläche sowie Bestrahlungsdauer variiert und ein Prozessfenster ermittelt, innerhalb dessen ein zuverlässiger Verschluss von Gefäßen mit Durchmessern zwischen 150 μm und 1000 μm stattfindet. In einem zweiten Schritt erfolgten Koagulationsexperimente bei konstanten Bestrahlungsparametern unter Beobachtung der zeitlichen Dynamik mit dem optischen Tomographiesystem. Dabei konnten erstmalig die dynamischen Prozesse während der Gefäßkoagulation sichtbar gemacht und die mittlere Bestrahlungsdauer bis zum Gefäßverschluss ermittelt werden. Der Koagulationsvorgang bis zum Verschließen eines Gefäßes dauerte im Mittel ca. 2 s. Mit dem für das Laserkoagulationssystem entwickelten Softwarepaket kann die Dynamik der Koagulationsprozesse in Schnittbildserien (Bild oben) und Orts-Zeit-Diagrammen dargestellt werden (Bild unten).

Ansprechpartner

Dr. A. Lenenbach, Tel.: -124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Schnittbildserie eines Gefäßes ($\varnothing 200 \mu\text{m}$) während der Koagulation. Die Bilder sind von links nach rechts mit zunehmender Bestrahlungsdauer angeordnet. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Aufnahmen liegen 100 ms. Die Sequenz beginnt nach Einschalten des Koagulationslasers, die Koagulationsdauer beträgt ca. 0,6 s. **Unten:** Im Orts-Zeit-Diagramm ist die zeitliche Veränderung des Abstands der oberen und unteren Gefäßwand während des Koagulationsvorgangs an einem Gefäß ($\varnothing 900 \mu\text{m}$) dargestellt. Die Darstellung beginnt mit dem Einschalten des Lasers, der Koagulationsverschluss erfolgte nach 3,5 s.



Aufgabenstellung

Ziel des Projekts IMIKRID ist die Entwicklung einer Technologieplattform für die Point-of-Care-Diagnostik zum empfindlichen Nachweis molekularer Markerproteine im Blutserum und Körperschweiß.

Vorgehensweise

IMIKRID bezeichnet einen in eine mikrofluidische Zelle integrierten Diagnostikchip mit vier unabhängigen einzelmolekülempfindlichen Sensorelementen, die eine biologische Antwort in ein optisches oder elektronisches Signal umwandeln. Die Sensoroberflächen ragen in den Fluidikkanal hinein und sind mit multifunktionalen Nanopartikeln beschichtet, die ein nachzuweisendes Analytmolekül aus dem Blutserum spezifisch binden. Im Falle des elektronischen Sensors (seFET = sensitivity enhanced FET) wird die biologische Wechselwirkung durch Ladungsverschiebungen im Sensor markierungsfrei nachgewiesen. Die Signaltransduktion des optischen Sensors beruht auf der Markierung des gebundenen Analytmoleküls mit einem fluoreszenten Sekundärmarker, der über Anregung mit Licht geeigneter Wellenlänge die spezifische Bindung des Analyten optisch sichtbar macht. Das Fraunhofer ILT entwickelt ein Werkzeug, um die Sensoren von IMIKRID auf Einzelmolekülniveau zu testen und zu kalibrieren. Hierzu wird eine optische Pinzette in einen konfokalen Einzelmoleküldetektor integriert. Die optische Pinzette erlaubt den kontrollierten Transport eines Nanopartikels an die Sensoroberfläche der Transducer zum Auslösen einer reproduzierbaren Einzelmolekülantwort. Darüber hinaus kann ein Nanopartikel als spezifische Fangsonde mit der optischen Pinzette im Fluidikstrom positioniert

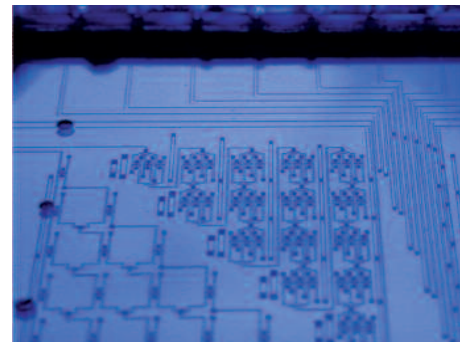
niert und die Anbindung nachzuweisender Analytmoleküle mit dem konfokalen Einzelmoleküldetektor direkt detektiert werden. Die Verwendung einzelner Nanopartikel als reaktive Sensoroberfläche im Flüssigkeitsstrom eines mikrofluidischen Systems minimiert Oberflächeneffekte wie z. B. die unspezifische Adsorption von Proteinen, welche die Sensitivität jedes diagnostischen Systems limitieren. Durch die Kombination von optischer Pinzette und Einzelmoleküldetektion soll eine hochsensitive Diagnostik im Konzentrationsbereich unterhalb von 10^{-12} mol/l realisiert werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Der Nachweis von Serumproteinen durch spezifische Bindung an Nanopartikel erlaubt eine Frühdiagnostik zur Prävention von Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen. Dies ist nach heutigem Stand der Technik aufgrund der Nachweisgrenze antikörperbasierter serologischer Tests auf 1 ng/ml (10^{-11} mol/l) nicht möglich. IMIKRID setzt Einzelmolekül empfindliche Sensorik mit hoher Integrationsdichte für den Einsatz im Point-of-Care-Bereich um. Die FuE-Arbeiten zu IMIKRID werden vom BMBF gefördert und in Zusammenarbeit mit Partner-Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Institut für Mikrosensorik in Erfurt durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. A. Lenenbach, Tel.: -124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Mikrofluidische Verzweigungsstruktur für integrierten Sensorchip, Quelle: Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik, Abteilung Biomolekulare Optische Systeme.
Unten: Optische Pinzette zur Integration in ein konfokales Detektionssystem für die Einzelmoleküldiagnostik, Quelle: Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik, Abteilung Biomolekulare Optische Systeme.

Aufgabenstellung

Bei der Resektion intrakranieller Tumoren erfolgt der Zugang zum Tumor über Öffnungen in der Schädeldecke in der Größe der abzutragenden Tumoren. Eine endoskopische Entfernung von Hirntumoren über einen Schlüssellochzugang würde daher eine deutliche Verbesserung der neurochirurgischen Operationstechnik im Sinne einer geringeren Traumatisierung des Patienten bedeuten. Hierzu entwickelt das Fraunhofer ILT zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung ein Endoskop für die plasmaintuzierte, »kalte« Laserneurochirurgie.

Vorgehensweise

Grundlage des Operationssystems ist ein Endoskop mit 5,5 mm Außendurchmesser und einem 2,8 mm breiten mikrooptischen Kanal. Die Mikrooptik des Endoskops führt die Laserstrahlung zur Operationshöhle und fokussiert sie auf das abzutragende Gewebe. Die Endoskopspitze trägt einen 90°-Umlenkspiegel, der den Ablationslaser senkrecht zur Symmetrieachse des Endoskops auskoppelt. Als Ablationslaser dient ein Nd:YVO₄-Pikosekundenlaser mit nachgeschaltetem INNOSLAB-Verstärker, der folgende Spezifikationen aufweist: Leistung $P = 10 \text{ W}$, Pulsenergie $E_p = 1 \text{ mJ}$, Pulsdauer $t_p = 25 \text{ ps}$, Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$. Die Repetitionsrate kann zwischen $f = 1 \text{ kHz}$ und 10 kHz variiert werden. Der Abtragsprozess erfolgt automatisiert, wobei der Laserfokus durch Rotation des Umlenkspiegels, Verschieben der Fokussierlinse und Tiefenverstellung des Endoskops eine beliebige Geometrie innerhalb eines Zylindervolumens von 5 cm Durchmesser und 12 cm Höhe absキャン kann. Abgetragenes Gewebe wird mit einer integrierten

Spül- und Absaugvorrichtung aus der Operationshöhle entfernt. Ablationsexperimente zur Ermittlung der Laserparameter hoher Abtragseffizienz werden im Labor an Gewebeproben des Schweineherzens und Schweinehirns durchgeführt. Die Proben befinden sich während der Abtragsexperimente in einer Durchflusszelle, die bei variabler Flussgeschwindigkeit von 0,2 l/min bis 2 l/min von Wasser durchspült wird. Der Fluss entfernt die abgetragenen Gewebebruchstücke aus der Abtragszone. Dies verhindert die Absorption der Laserstrahlung durch Debris im Strahlengang des Abtragslasers. Die Flussrate wird so eingeregelt, dass die Abtragseffizienz bei konstanter Reprate maximal wird.

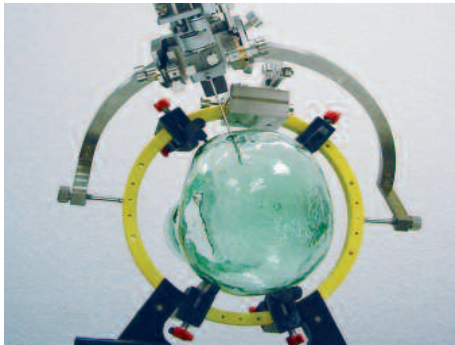
Ergebnisse und Anwendungen

Bei Abtragsexperimenten an Gewebe des Schweineherzens wurde als Schwellwert für die plasmaintuzierte Laserablation eine Energie von $E_p = 30 \mu\text{J}$ ermittelt. Bei einer Pulsenergie von $200 \mu\text{J}$ lag der Durchmesser eines Abtragskraters zwischen $50 \mu\text{m}$ und $100 \mu\text{m}$. Die Abtragskrater weisen scharfe Grenzen an den Rändern auf und zeigen keine thermische Einwirkung der Laserstrahlung auf das randständige Gewebe.

Die Entwicklung des Endoskops wird vom BMWI gefördert und gemeinsam mit Partnern aus der Industrie und dem klinischen Bereich durchgeführt.

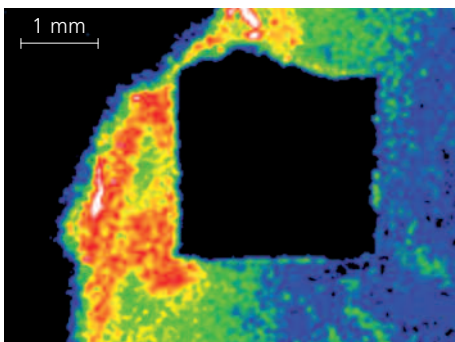
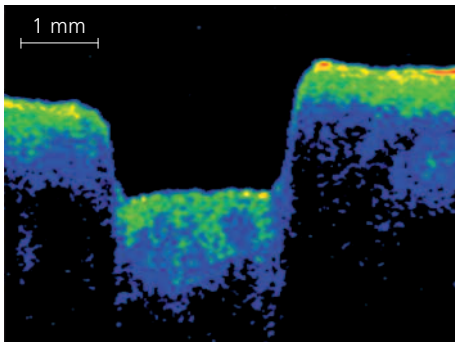
Ansprechpartner

Dr. A. Lenenbach, Tel.: -124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Endoskop für die »kalte« Laserablation mit stereotaktischem Rahmen, Quelle: MRC-Systems GmbH, Heidelberg.

Mitte: Querschnitt durch einen quaderförmigen Abtragskrater im Muskelgewebe des Schweineherzens.
Unten: Die scharfen Ränder der Abtragsgeometrie sind in der Draufsicht deutlich erkennbar.





Aufgabenstellung

Endoskopische Therapieverfahren erfordern neue diagnostische Methoden, die dem Chirurgen Informationen über das intraoperative Geschehen liefern. Neben der Weißlicht- und der Fluoreszenz-Endoskopie steht mit der optischen Kohärenztomographie ein hochauflösendes interferometrisches Messverfahren zur Verfügung, mit dem Gewebemorphologien ohne den Einsatz von Markermolekülen erfasst werden können. Haupteinsatzgebiet der OCT in der Medizin ist die Online-Kontrolle laserchirurgischer Prozesse am Auge. Das Fraunhofer ILT entwickelt ein OCT-Modul, das die endoskopische Detektion und Vermessung von Blutgefäßen erlaubt. Ziel ist die Überwachung der Koagulation von Blutgefäßen mit hochenergetischem Laserlicht während eines laserchirurgischen Eingriffs über einen Schlüsselochzugang.

Vorgehensweise

Um eine möglichst große Eindringtiefe von ca. 2 mm im Gewebe zu erzielen, wird eine Strahlquelle mit einer Zentralwellenlänge um 1300 nm verwendet. Über eine Glasfaser und ein starres Endoskop gelangt das Messlicht in die Operationshöhle. Der parallele Messstrahl wird an der Endoskopspitze über einen Umlenkspiegel senkrecht zur Endoskopachse ausgekoppelt und mit einer Mikrolinse auf das zu untersuchende Gewebe fokussiert. Durch Verfahren des Endoskops in axialer Richtung sowie durch Rotation des Umlenkspiegels und Verschieben der Fokussierlinse kann die Oberfläche eines dreidimensionalen Zielvolumens punktweise mit dem Fokus abgerastert werden. An jedem Messpunkt liefert ein Scan mit dem OCT-System von der Oberfläche ins Gewebe hinein eine

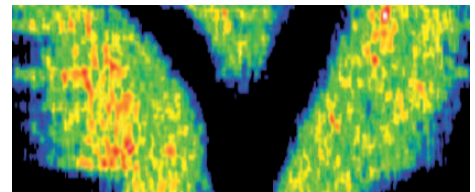
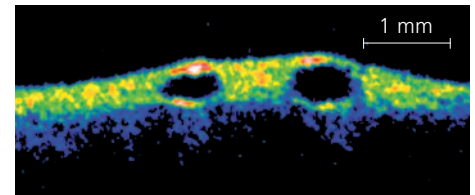
Tiefeninformation. Dies geschieht durch periodische Variation der optischen Weglänge eines Referenzstrahls, der mit dem Messstrahl überlagert wird. Diese interferometrische Messung (A-Scan) erfolgt mit einer Frequenz von 200 Hz bei einer digitalen Auflösung von 1,6 μm pro Bildpunkt. Die erhaltene Bildinformation kann zu einem 3-D-Bild zusammengesetzt werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Die axiale Auflösung der endoskopischen OCT-Diagnostik beträgt ca. 25 μm bei einer lateralen Auflösung von 20 μm . In Validierungsexperimenten wurden Querschnittsbilder von Gefäßen ex vivo am Gefäßbaum des Schweineherzens aufgenommen. Die Aufnahmen erfolgten bei ruhender Probe und Bewegung des Messstrahls über den Gefäßquerschnitt durch Rotation des Endoskopspiegels. Dabei zeigte sich ein deutlicher Kontrast zwischen den Gefäßen und dem umliegenden Gewebe. Die Messdaten sind mit einer speziell für die OCT-Diagnostik entwickelten Software als 2-D-Schnittbilder darstellbar. Anhand von Bildsequenzen können Veränderungen der Gefäßposition bzw. der Gefäßgeometrie, z. B. nach thermischer Wechselwirkung durch Bestrahlung mit Laserlicht, beurteilt werden.

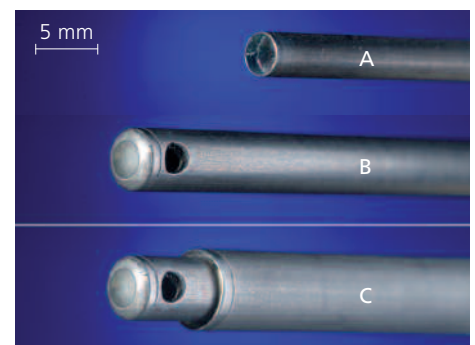
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. S. Hölters, Tel.: -436
stefan.hoelters@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: OCT-Querschnittsaufnahme zweier Blutgefäße nach einer Verzweigung, Messung durch das Endoskop. Die Durchmesser der Blutgefäße betragen 420 μm und 440 μm .

Mitte: Das horizontale Schnittbild durch den dreidimensionalen OCT-Datensatz zeigt die Verzweigung des Blutgefäßes.



Unten: Endoskop für die OCT mit:

A mikrooptischem Kanal und
B rotierbarem Spiegelrohr.
C Endoskop im Zusammenbau. Mikrooptischer Kanal und Spiegelrohr sind coaxial und gegeneinander beweglich angeordnet. Durchmesser des mikrooptischen Kanals 3,0 mm, Durchmesser des Gesamtsystems 5,5 mm.

Aufgabenstellung

Stückgüter aus Kunststoff, wie transluzente Flaschen oder Vorformlinge (Preforms), aus denen Flaschen hergestellt werden, können während der Produktion Schwankungen in der Wandstärke aufweisen. Um zu verhindern, dass durch diese Schwankungen die Wandstärke einen definierten Sollbereich verlässt, werden stündlich Flaschenstichproben aus der Produktion entnommen, zersägt und unter dem Lichtmikroskop vermessen. Zur Erhöhung der Prozesssicherheit sowie zur Verbesserung der Produktqualität soll die Wandstärkenvermessung im Sinne einer 100 Prozent-Kontrolle automatisiert werden. Hierzu ist der Einsatz von optischer Kohärenztomographie (OCT) vorgesehen. Die OCT ist ein auf interferometrischen Messungen basierendes, bildgebendes Verfahren zur Erstellung hochauflösender 3-D-Tomographieaufnahmen. Durch die Aufnahme von Reflexions- und Streusignalen ermöglicht sie die berührungslose Vermessung der Wandstärken von Kunststoffflaschen und Preforms im Produktionsprozess. Neben der Wandstärke kann auch die Dicke einzelner Schichten mehrschichtiger Verbundwerkstoffe mit einer Auflösung von ca. 25 μm bestimmt werden.

Vorgehensweise

Die Vermessung ausgewählter Teilgeometrien - wie Längs- oder Querschnitte - erlaubt es, bei rotationssymmetrischen Kunststoffflaschen bzw. Preforms auf die Dickenverteilung über die gesamte Flaschengeometrie zu schließen. Bei Taktraten von bis zu 10.000 Flaschen pro Stunde ist damit eine 100 Prozent-Online-Kontrolle von Wandstärken und Einzelschichtdicken im Produktionsprozess möglich. Da die

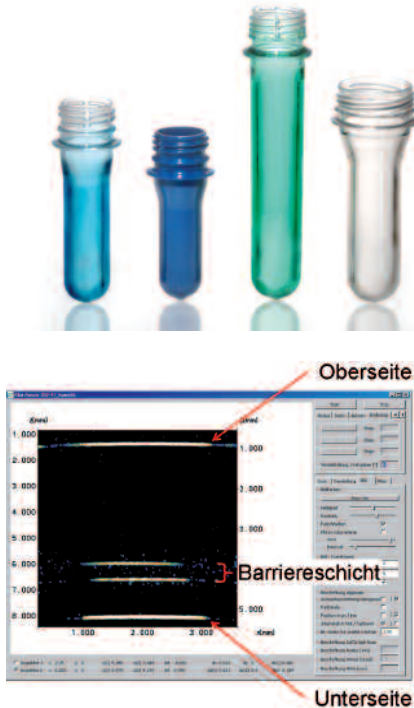
OCT-Messung punktweise erfolgt, muss zur Erfassung von Oberflächen- bzw. Schichtgeometrien der OCT-Messstrahl mit einem Scannerspiegel-paar über die zu vermessende Fläche geführt werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Für das bestehende OCT-System beträgt der axiale Messbereich in Luft 9 mm bei einer Scanfrequenz von 200 Hz und einer Auflösung von ca. 25 μm . Im Gegensatz zu absorptiven Messverfahren erlaubt die OCT-Messung eine epitaxiale Messanordnung, bei der sich Quelle und Empfänger im Außenraum des Messobjekts befinden. Mit dieser Messanordnung wurden Lage und Dicke von Multilayer-Preforms und -Flaschen mit minimalen Schichtdicken von ca. 50 μm bestimmt. Gegenstand aktueller Arbeiten ist das Design spezieller optischer Systeme, welche die Weglängenunterschiede des Messlichts kompensieren, die bei der OCT-Messung an zwei unterschiedlichen Orten der Bahnkurve eines bewegten Objekts auftreten. Diese Weglängenkompensation ist eine notwendige Voraussetzung für den Einsatz der OCT-Messtechnik an bewegten Proben, da die Messungen auf optischen Weglängenunterschieden beruhen. Das OCT-Messsystem wird im Labor an bewegten Preforms validiert, die mit einem Drehteller auf einer Kreisbahn geführt werden, um den Transport an einem Zentrifugalförderer in der Produktionsanlage zu simulieren.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. S. Hölters, Tel.: -436
stefan.hoelters@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Preforms für die Herstellung von PET-Kunststoffflaschen.

Unten: Querschnittsaufnahme einer Multilayer-PET-Preform mit dem OCT-Messsystem. Gesamtwandstärke ca. 4,3 mm, Barrierschichtdicke in der Mitte ca. 410 μm .



Aufgabenstellung

Durch Messung des Brechungsindex kann eine Vielzahl wichtiger materialspezifischer und struktureller Informationen aus mikroskopischen Objekten gewonnen werden. Im Rahmen der Materialforschung können durch Messung des Brechungsindex und der Dispersion mikro- oder kristalloptische Komponenten qualifiziert werden. Kernproblem bei der Beobachtung dünner, transparenter Objekte im Lichtmikroskop ist zudem die Erzeugung von Bildkontrasten. Für die färbungsfreie Lebendzellbeobachtung kann der Brechungsindex von Zellen allein auf optischem Wege in Kontrast überführt und quantifiziert werden. Diese Messung ermöglicht die Bestimmung der Zelltrockenmasse und eröffnet damit neue Anwendungsfelder in der Biologie und medizinischen Diagnostik.

Vorgehensweise

Mit der Mach-Zehnder Interferenzmikroskopie nach Horn wird die beste Phasenauflösung für die Messung des Brechungsindex erzielt bei gleichzeitig maximaler Vergrößerung im Lichtmikroskop. Dazu sind in die Interferometerarme zwei vollständige und wellenoptisch identische Mikroskopoptiken integriert. Durch moderne optomechanische Konzepte aus der Lasertechnik kann das hochempfindliche System automatisiert und bedienerfreundlich ausgelegt werden.

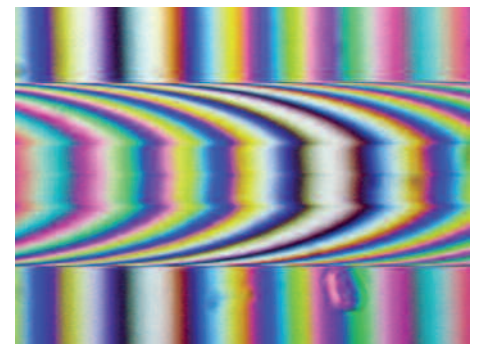
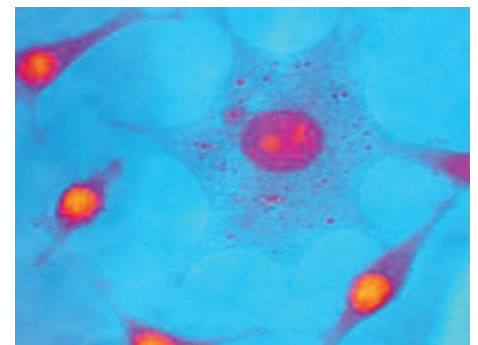
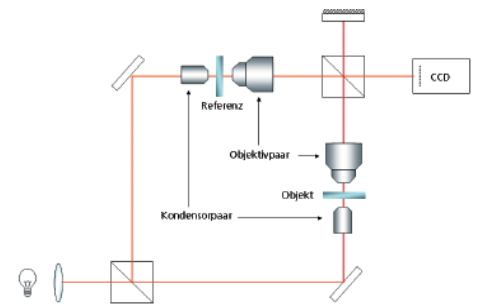
Ergebnisse und Anwendungen

In Kooperation mit Partnern aus den Bereichen Zellbiologie, Pathologie, Ökologie und Kristallographie konnten verschiedene Pilotexperimente durchgeführt werden. So wurden an lebenden Zellen über mehrere Stunden die Zellbewegung und der dabei stattfindende Massentransport aufgezeichnet. Durch Messung der Zelltrockenmasse konnten erfolgreich Tumorzellen von gesunden Zellen in Ausstrichpräparaten und Dünnschnitten unterschieden werden. Dies dient als Grundlage für neue Anwendungen in der Tumordiagnostik, die durch echte physikalische Messungen die Diagnosestellung sicherer machen. Ebenfalls durch Messung der Zelltrockenmasse wurden für ökologische Modellrechnungen die Kohlenstoffinhalte verschiedener Algenarten bestimmt. Es zeigte sich eine signifikante Abweichung zu tabellierten Werten, die bisher verwendet werden.

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung einer kommerziellen Version eines Interferenzmikroskops, das sich neben einzigartigen Möglichkeiten der Hochpräzisionsmessung durch besondere Anwenderfreundlichkeit auszeichnet.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. D. Mahlmann, Tel.: -172
daniel.mahlmann@ilt.fraunhofer.de
Prof. Dr. P. Loosen, Tel.: -162
peter.loosen@ilt.fraunhofer.de



Oben: Kombination eines Mach-Zehnder Interferometers mit abgestimmter Mikroskopoptik.
Mitte: Neuron im Interferenzkontrast. Ungefärbte Zellen können kontrastreich beobachtet und quantitativ untersucht werden.
Unten: Lichtwellenleiter im Interferenzstreifenfeld. Das Brechungsindexprofil kann anhand der Verkrümmung der Interferenzstreifen mit Subnanometer Genauigkeit gemessen werden.

Patenterteilungen Deutschland

DE 197 80 124 B4
Anordnung zur Formung des geometrischen Querschnitts mehrerer Festkörper- und/oder Halbleiterlaser

DE 101 06 474 B4
Verfahren sowie Vorrichtung zum Aufbringen einer Korrosionsschutzschicht auf Kantenflächen von Blechen

DE 10 2005 026 968 B4
Einbringen von Mustern in matte Oberflächen durch moduliertes Laserstrahlpolieren

DE 10 2005 010 381 B4
Verfahren zur Vermessung von Phasengrenzen eines Werkstoffes bei der Bearbeitung mit einem Bearbeitungsstrahl sowie zugehörige Vorrichtung

DE 10 2005 022 095 B4
Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung einer lateralen Relativbewegung zwischen einem Bearbeitungskopf und einem Werkstück

DE 10 2005 000 840 B4
Verfahren und Vorrichtung zur Elementanalyse mittels Laser-Emissionsspektrometrie

Patenterteilungen Europa

EP 1 399 287 B1
Verfahren zum Schneiden von zu fügenden Bauteilen mit Laserstrahlung

Patenterteilungen USA

US 7,176,408 B2
Method for laser-cutting structural components to be joined

Patenterteilungen Australien

2003249876
Method and device for carrying out emission spectroscopy

Patenterteilungen China

ZL02807825.X
Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von extrem ultravioletter Strahlung und weicher Röntgenstrahlung

Patentanmeldungen National

10 2007 002 888.3
Anordnung mit einem feststehenden Festkörpermedium

10 2007 002 821.2
Verfahren und Anordnung zur Frequenzkonvertierung kohärenter optischer Strahlung

10 2007 003 759.9
Verfahren zur Frequenzstabilisierung gütegeschalteter Laser

10 2007 014 665.7
Verfahren zur Herstellung laseraktiver Wellenleiterschichten

10 2007 018 400.1
Optisches System für einen Lasermaterialbearbeitungskopf

10 2007 024 701.1
Verfahren zur Materialabtragung sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

10 2007 024 700.3
Verfahren zur Materialbearbeitung mit Laserstrahlung sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

10 2007 029 052.9
Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen eines Bauteils auf dreidimensionalen Daten des Bauteils

10 2007 028 789.7
Verfahren zum Fügen von Hybridbauteilen

10 2007 031 244.1
Vorrichtung und Verfahren zur Durchführung statischer und dynamischer Streulichtmessungen in kleinen Volumina

10 2007 038 502.3
Verfahren zum Fügen von mindestens zwei Bauteilen mittels Laserstrahlung

10 2007 039 035.3
Verfahren zur Herstellung eines Bauteils sowie Verwendung des nach dem Verfahren hergestellten Bauteils

10 2007 041 939.4
Vorrichtung und Verfahren für die XUV-Mikroskopie

Patentanmeldungen International

PCT/DE2007/001856
Verfahren und Vorrichtung zur Feinpositionierung eines Werkzeugs mit einer Handhabungseinrichtung

PCT/EP2007/009094
Anordnung mit einem feststehenden Festkörpermedium

PCT/DE2007/000341
Vorrichtung und Verfahren zum Fügen von wenigstens zwei aus thermoplastischem Material bestehenden Fügepartnern mittels Laserstrahlung

Markenanmeldungen

307 58 327.9/42
TWIST

307 61 417.4/42
LIFTEC

Fuhrmann, C. - 19.03.2007

Laser-Lichtbogen-Hybridschweißen bis zu Blechdicken von 25 mm

Scholz, C. - 23.05.2007

Thermal and Mechanical Optimisation of Diode Laser Bar Packaging

Trippe, L. - 03.09.2007

Reduzieren erstarrter Schmelze in der Bohrung beim Einzelpuls- und Perkussionsbohren mit Nd:YAG-Laserstrahlung

Baatzsch, Andreas

Untersuchung zur Stirnflächenkopplung von Large-Mode-Area-Fasern

Beck, Matthias

Untersuchungen zur Schweißbarkeit des Chrom-Nickel-Stahls 1.4305 am Beispiel der Faserrohrspitze eines endoskopischen Instrumentes

Biermann, Tim

Laserstrahlschweißen und -schneiden mit dem Kombikopf: Verfahrens- und Systemoptimierung

Binder, Markus

Versuchsumgebung und Grundlagen zur Ultrapräzisionstriangulation mit blauen Lasern

Bock, Mario

Untersuchung der elektrischen und optischen Eigenschaften kurzgepulster Diodenlaser

Buchbinder, Damien

Konzeption und Erprobung eines Pulverdosiersystems zur definiert orts aufgelösten Deposition unterschiedlicher Pulverwerkstoffe für das Selective Laser Melting

Dietrich, Jens

Untersuchung der Effizienzsteigerung beim Bohren mit zeitlich und räumlich überlagerter Laserstrahlung durch Hochgeschwindigkeitsfotografie

Fitzau, Oliver

Vergleichende Untersuchungen zur Erzeugung polarisierter Laserstrahlung mit Faserlasern

Funck, Max Christian

Auslegung einer miniaturisierten Bearbeitungsoptik für das Laserstrahl-Mikrofügen

Geffers, Christoph

Untersuchung zur Ausweitung von Laseranwendungen in der industriellen Produktion

Goldner, Andreas

Konstruktion eines optischen Sensormoduls für die lasergestützte Schichtdickenmessung

Groebner, Mario

Laseranalyse von Einschlüssen in Metallen

Hamad, Eyad

Messung der Temperatur in biologischem Gewebe während der Laserkoagulation

Hammer, Philipp

Temperaturabhängigkeit der optischen Eigenschaften von Thermoplasten

Hauck, Sebastian

Möglichkeiten und Grenzen bildrotatorischer Lichtstrahldrehung

Hoerstmann-Jungemann, Maren Christine

Weißlichtinterferometer zur Bestimmung der Dispersion der Gruppenlaufzeit dielektrischer Spiegel im sichtbaren und ultravioletten Spektralbereich

Jedrzejczyk, Daniel

Simulation und Experimente zur nichtlinear optischen Frequenzkonversion in periodisch gepoltem MgO:LiNbO₃ Kristall mit Wellenleiter

Kochem, Gerd

Konstruktion und Aufbau eines singlemodefasergekoppelten Trapezlaser-Moduls

Küpper, Felix

Erzeugung weicher Röntgenstrahlung in einer gepulsten Gasentladung für den Einsatz in einem Laborröntgenmikroskop

Kuhlen, Tobias

Analyse von Feinstaub auf Filtersubstraten mittels Laser-Emissionsspektrometrie

Langer, Torsten

Thermische Auslegung einer Fasereinkopplung für Hochleistungsdiodenlaser

Lu, Xin

Laserstrahl-Auftragschweißen auf Titanaluminiden mit artähnlichen Werkstoffen

Ostholt, Roman

Auslegung und Konstruktion eines optischen Systems für eine SLM-Anlage zur variablen Einstellung des Fokusedurchmessers

Roth, Peter

Spektroskopische Analyse laser-induzierter Plasmen beim Mikro-Materialabtrag mit ns-Pulsgruppen

Schleifenbaum, Henrich

Erhöhung der Aufbauraten beim SLM

Soeryanto, Denny

Erarbeitung von Verfahrensgrundlagen zur Reparatur von einkristallinen Shroud-Segmenten eines Flugzeugtriebwerks durch Laserstrahl-Auftragschweißen

Temmler, André

Physikalische Ursachen und Grenzen des Strukturierens metallischer Oberflächen durch Umschmelzen mit Laserstrahlung

Volkmer, Niels-Christian

Mikrostanzen mit lokal angepasster Bauteiltemperatur

Weitenberg, Johannes

Ytterbiumdotierte Kristalle bei hohen Pumpleistungsdichten

- S. Kaierle, W. Fiedler, B. Regaard, M. Dahmen
Anwendung brillianter Diodenlaser beim Schweißen von Aluminium-Dünnschichten
Laser Technik Journal 2, 35-38, 2007
- S. Kaierle, M. Dahmen, S. Mann, R. Poprawe
Autonomous Production Cell for Laser Beam Welding
Proc. Int. Conf. on Competitive Manufacturing »COMA 07«, Stellenbosch, Südafrika 6 S., 2007
- R. Noll, M. Krauhausen
Autoteile unter Laseraugen
Laser + Photonik 2, 30-33, 2007
- C. Johnigk
Berührungslos - präzise - steuerbar
MO Metalloberfläche 61, 24-27, 2007
- J. Geiger, B. Erben, D. Hoffmann, S. Altmeyer
Characterization of high power multimode combiners
CLEO Europe 2007, Munich, Germany, June 18-21 1 S., 2007
- C. Franz, S. Mann, S. Kaierle
Comparison of process monitoring strategies for laser transmission welding of plastics
Proc. of ICALEO October 29 - November 1, 2007, Orlando, FL 602-606, 2007
- M. Dahmen, W. Fiedler, B. Regaard, S. Kaierle
Continuous process control during laser beam welding of small section aluminium sheet
Proc. of the 4th Int. WLT Conf. on Lasers in Manufacturing, Munich, June 2007 5 S., 2007
- R. Noll, M. Krauhausen
Den Bewegungszustand des Blechs einfrieren
QZ Qualität und Zuverlässigkeit 52, 36-40, 2007
- B. Jungbluth, M. Vierkoetter, M. Hofer, J. Loehring, D. Oberbeckmann, D. Hoffmann
Design and characterization of a rugged and compact setup for widely tunable harmonic generation in the ultraviolet
Proc. SPIE 6455, 1-10, 2007
- J. Loehring, K. Nicklaus, N. Kujath, D. Hoffmann
Diode pumped Nd:YGG laser for direct generation of pulsed 935 nm radiation for water vapour measurements
Proc. SPIE 6451, in print, 2007
- B. Zintzen, A. Emmerich, J. Geiger, D. Hoffmann, P. Loosen
Effective cooling for high-power fiber lasers
Proc. of the 4th Int. WLT-Conf. on Lasers in Manufacturing, Munich, June 2007 5 S., 2007
- B. Regaard, W. Fiedler, S. Kaierle
Error detection in lap welding applications using on-line melt pool contour analysis by coaxial process monitoring with external illumination
Proc. of the 4th Int. WLT Conf. on Lasers in Manufacturing, Munich, June 2007 5 S., 2007
- M. Haverkamp, K. Wieching, M. Traub, K. Boucke
Fiber-coupled diode laser modules with wavelengths around 2 µm
Proc. SPIE 6456, 9 S., 2007
- C. Wessling, M. Traub, D. Hoffmann
Fiber coupled diode laser of high spectral and spatial beam quality with kW class output power
Proc. SPIE 6456, 1-7, 2007
- I. Miyamoto, A. Horn, J. Gottmann, D. Wortmann, F. Yoshino
Fusion Welding of Glass Using Femtosecond Laser Pulses with High-repetition Rates
J. Laser Micro/Nanoeng. 2, 57-63, 2007
- B. Zintzen, T. Langer, J. Geiger, D. Hoffmann, P. Loosen
Heat transport in solid and air-clad fibers for high-power fiber lasers
Opt. Expr. 15, 16787-16793, 2007
- E. W. Kreutz, K. Walther, R. Poprawe, S. Angel, E. Ratte, W. Bleck, K. Bobzin, E. Lugscheider, R. Nickel, K. Richardt, N. Bagcivan
High-temperature turbine applications using open porous metallic foams with thermal barrier coatings and cooling hole arrays
ISCORMA-4, Calgary/Alberta, Canada, August 27-31, 2007 11 S., 2007
- K. Walther, M. Brajdic, I. Kelbassa
Increase of drilling velocity by use of superposed laser radiation
Proc. of the 4th Int. WLT-Conf. on Lasers in Manufacturing, Munich, June 2007 4 S., 2007
- H. Schinkel, P. Jacobs, S. Schillberg, M. Wehner
Infrared picosecond laser for perforation of single plant cells
Biotechnol. Bioeng. 99, 244-248, 2007
- D. Petring
Integriertes Laserstrahlschneiden und -schweißen: Reduzierung von Nebenzeiten und Systemaufwand
EALA 2007, Bad Nauheim 15 S., 2007
- P. Albus, B. Burbaum, I. Kelbassa
Laser cladding of mesh structures on HPT liner and NGV parts
Proc. of the 4th Int. WLT-Conf. on Lasers in Manufacturing, Munich, June 2007 3 S., 2007
- J. Gottmann, L. Moiseev, D. Wortmann, I. Vasilief, L. Starovoytova, D. Ganser, R. Wagner
Laser deposition and laser structuring of laser active planar waveguides of Er:ZBLAN, Nd:YAG and Nd:GGG for integrated waveguide lasers
Proc. SPIE 6459, 10 S., 2007
- M. Wehner, P. Jacobs, D. Esser, H. Schinkel, S. Schillberg
Laser-mediated perforation of plant cells
Proc. SPIE 6632, 9 S., 2007
- M. Wehner, T. Mans, W. Meiners, A. Lenenbach, C. Wessling, R. Poprawe
Lasertechnik für die Zahnmedizin
Laserzahnheilkunde 3, 191-198, 2007
- R. Noll
Lasertriangulation
In: Handbuch zur Industriellen Bildverarbeitung. Hrsg.: N. Bauer Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. 56-60, 2007
- R. Noll, M. Krauhausen
Lasertriangulation für die Online-Messung geometrischer Größen in der Produktion
In: Handbuch zur Industriellen Bildverarbeitung. Hrsg.: N. Bauer Stuttgart: Fraunhofer IRB. Verl. 260-275, 2007
- I. Miyamoto, A. Horn, J. Gottmann
Local Melting of Glass Material and Its Application to Direct Fusion Welding by Ps-laser Pulses
J. Lasermicro/Nanoeng. 2, 7-14, 2007
- J. Gottmann, D. Wortmann, I. Vasilief, L. Moiseev, D. Ganser
Manufacturing of Nd:Gd3Ga5O12 ridge waveguide lasers by pulsed laser deposition and ultrafast laser micromachining
Appl. Surf. Sci. 254, 1105-1110, 2007
- L. Peter, R. Noll
Material ablation and plasma state for single and collinear double pulses interacting with iron samples at ambient gas pressures below 1 bar
Appl. Phys. B 86, 159-167, 2007
- T. Jambor, K. Wissenbach
Micro laser cladding with high quality fibre lasers
Proc. 4th Int. WLT-Conf. on Lasers in Manufacturing, Munich, June 2007 193-197, 2007

- R. Schmitt, B.E. Damm, L. Juschkin
Mit weicher Röntgenstrahlung hochgenau messen
In: Optische Messung technischer Oberflächen in der Praxis
Düsseldorf: VDI-Verl.
VDI-Berichte. 1996
329-337, 2007
- M. Hoefer, M. Traub, R. Kleindienst, H. Sipma, H.-D. Hoffmann, P. Wessels, P. Burdack
Multi ten-watt, ultra-stable, and tuneable Innoslab-based single frequency MOPA
Proc. SPIE 6451, 7 S., 2007
- D. Petring, H. Dickler
Multifunktionaler Laserbearbeitungskopf
MM Maschinenmarkt 22, 34-36, 2007
- D. Petring, H. Dickler
Nebenzeiten senken und Flexibilität steigern
Technica 56, 72-74, 2007
- P. Albus, A. Boglea, B. Burbaum, J. Holtkamp, I. Kelbassa, V. Nazery-Goneghany, A. Olowinsky, D. Petring, M. Poggel, F. Schmitt, F. Schneider, N. Wolf, R. Poprawe
Neue Schweißtechnologien mit neuen Lasern
Proc. of the 10th Int. Aachen Welding Conf. iASTK'07
229-242, 2007
- M. Leers, C. Scholz, K. Boucke, M. Oudart
Next generation heat sinks for high-power diode laser bars
Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, 2007
SEMI-THERM 2007, 23. Annual IEEE 105-111, 2007
- M. Leers, K. Boucke, C. Scholz, T. Westphalen
Next generation of cooling approaches for diode laser bars
Proc. SPIE 6456, 10 S., 2007
- M. Traub, M. Bock, H.-D. Hoffmann, M. Bartram
Novel high peak current pulsed diode laser sources for direct material processing
Proc. SPIE 6456, in print, 2007
- V. Sturm, A. Brysch, R. Noll
Online Multielement Analysis of the Top Gas of a Blast Furnace by Laser-induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)
Berg- und Hüttenmännische Monatsh. 1, 28-32, 2007
- R. Noll, M. Krauhausen
Online-Lasermesstechnik für Walzprodukte
stahl und eisen 127, 99-105, 2007
- S. Angel, E. Ratte, W. Bleck, K. Bobzin, E. Lugscheider, R. Nickel, K. Richardt, N. Bagcivan, K. Walther, E.W. Kreutz, I. Kelbassa, R. Poprawe
Open porous metallic foams with thermal barrier coating and cooling hole array for high temperature turbine applications
High Temp. Mat. Proc. 11, 321-344, 2007
- V. Sturm
Optical micro-lens array for laser plasma generation in spectrochemical analysis
J. Anal. Atom. Spectr. 22, 1495-1500, 2007
- E. Willenborg
Polieren mit Laserstrahlung
Kunststoffe 97, 63-66, 2007
- I. Kelbassa, K. Walther, L. Trippe, W. Meiners, C. Over
Potentials of manufacture and repair of nickel base turbine components used in aero engines and power plants by laser metal deposition and laser drilling
J. Aerospace Power 22, 739-748, 2007
- W. Fiedler, M. Dahmen, S. Kaierle
Process control of laser beam welded small section aluminum sheets
Proc. of ICALAO, October 29 - November 1, 2007, Orlando, Fl. 271-276, 2007
- E.W. Kreutz, L. Trippe, K. Walther, R. Poprawe
Process development and control of laser drilled and shaped holes in turbine components
J. Lasermicro/Nanoeng. 2, 123-127, 2007
- D. Petring, C. Fuhrmann, N. Wolf, R. Poprawe
Progress in Laser-MAG hybrid welding of high-strength steels up to 30 mm thickness
Proc. of ICALAO, October 29 - November 1, 2007, Orlando, Fl. 300-307, 2007
- J. Wilkes, K. Wissenbach
Rapid Manufacturing of ceramic components by selective laser melting
Proc. of the 4th Int. WLT-Conf. on Lasers in Manufacturing, Munich, June 2007
207-211, 2007
- D. Buchbinder, W. Meiners, K. Wissenbach, K. Müller-Lohmeier, E. Brandl
Rapid manufacturing von Aluminiumbauteilen für die Serienproduktion durch Selective Laser Melting (SLM)
Euro-uRapid2007, Frankfurt/M., December 3-4, 2007
6 S., 2007
- D. Wortmann, M. Ramme, J. Gottmann
Refractive index modification using fs-laser double pulses
Opt. Expr. 15, 10149-10153, 2007
- S. Höges, W. Meiners
Selective Laser Melting
Proc. 41. Jahrestagung Dt. Ges. f. Biomed. Technik im VDE, Aachen, Germany, September 2007
2 S., 2007
- M. Traub, H.-D. Plum, H.-D. Hoffmann, T. Schwander
Spaceborne fiber coupled diode laser pump modules for intersatellite communications
Proc. SPIE 6736, in print, 2007
- R. Wagner, J. Gottmann
Sub-wavelength ripple formation on various materials induced by tightly focused femtosecond laser radiation
8th Int. Conf. on Laser Ablation
J. Phys.: Conference Series 59, 333-337, 2007
- D. Wortmann, L. Moiseev, I. Vasilief, D. Ganser, L. Starovoytova, J. Gottmann
Waveguide lasers of Er:ZBLAN and Nd:GGG by pulsed laser deposition and fs-laser microstructuring
Proc. 4th Int. WLT-Conf. on Lasers in Manufacturing 2007, Munich, June 2007
821-826, 2007
- C. Schnitzler, S. Hambuecker, O. Ruebenach, V. Sinhoff, G. Steckman, L. West, C. Wessling, D. Hoffmann
Wavelength stabilization of HPDL array: fast-axis collimation optic with integrated VHG
Proc. SPIE 6456, 1-7, 2007
- W. Meiners, A. Weisheit
Werkstoff-Kompromisse passé? Form + Werkzeug 5, 78-81, 2007
- M. Haverkamp, G. Kochem, K. Boucke, E. Schulze, H. Roehle
1.1W Four-wavelength Raman pump using BH lasers
Optical Fiber Communication and the National Fiber Optic Engineers Conf. OFC/NFOEC 2007
1-3, 2007

20.01.2007 - M. Hoefer
Multi ten-watt, ultra-stable and tuneable INNOSLAB-based single frequency MOPA
 Photonics West 2007, San Jose, CA, USA

20.01.2007 - M. Traub
Novel high-peak current pulsed diode laser sources for direct material processing
 Photonics West 2007, San Jose, CA, USA

21.01.2007 - J. Gottmann
Laser deposition and laser structuring of laser active planar waveguides of Er:ZBLAN, Nd:YAG and Nd:GGG for integrated waveguide lasers
 Photonics West 2007, San Jose, CA, USA

21.01.2007 - M. Leers
Next generation of cooling approaches for diode laser bars
 Photonics West 2007, San Jose, CA, USA

22.01.2007 - H.-D. Hoffmann
The INNOSLAB laser, extending the parameter range for industrial and scientific applications
 Photonics West 2007, San Jose, CA, USA

22.01.2007 - J. Löhring
Diode pumped Nd:YGG laser for direct generation of pulsed 935 nm radiation for water vapour measurements
 Photonics West 2007, San Jose, CA, USA

22.01.2007 - M. Wehner
Rapid prototyping of micro-fluidic components by laser beam processing
 Photonics West 2007, San Jose, CA, USA

23.01.2007 - B. Jungbluth
Design and characterization of a rugged and compact setup for widely tunable harmonic generation in the ultraviolet
 Photonics West 2007, San Jose, CA, USA

23.01.2007 - C. Wessling
Fiber coupled diode laser of high spectral and spatial beam quality with kW class output power
 Photonics West 2007, San Jose, CA, USA

23.01.2007 - K. Wieching
Fiber-coupled diode laser modules with wavelengths around 2 μ m
 Photonics West 2007, San Jose, CA, USA

24.01.2007 - K. Nicklaus
Frequency stabilization of q-switched Nd:YAG oscillators for airborne and spaceborne LIDAR systems
 Photonics West 2007, San Jose, CA, USA

30.01.2007 - D. Petring
Integriertes Laserstrahlschneiden und -schweißen: Reduzierung von Nebenkosten und Systemaufwand
 8th EALA »Automotive Circle International« Conference, Bad Nauheim

02.02.2007 - S. Kaieler
Autonomous production cell for laser beam welding
 COMA 2007, Stellenbosch, Südafrika

04.02.2007 - A. Horn
Orts- und zeitaufgelöste Diagnose von Prozessen induziert durch ultrakurz gepulste Laserstrahlung
 Seminarvortrag, Universität Kassel, Kassel

13.02.2007 - A. Gillner
Lasers and photonics for industrial manufacturing
 Photonics 2007, Eindhoven, Niederlande

13.02.2007 - R. Noll
Laser scanning methods for verification tasks
 IAEA, Wien, Österreich

23.02.07 - W. Schulz,
Schneiden mit Laserstrahlung
 Kolloquium Fraunhofer SCAI, Birlinghofen

06.03.2007 - A. L. Boglea,
Mikro-Kunststoffschweißen mit Laserstrahlung - Schweißen im Sekundentakt bei Geometrien < 100 μ m
 Aachener Laserseminar »Laserschweißen von Kunststoffen«, Fraunhofer ILT, Aachen

06.03.2007 - A. Gillner
Laserstrahlquellen zum Kunststoffschweißen
 Aachener Laserseminar »Laserschweißen von Kunststoffen«, Fraunhofer ILT, Aachen

06.03.2007 - M. Poggel
Laser und Kunststoff - eine feste Verbindung
 Aachener Laserseminar »Laserschweißen von Kunststoffen«, Fraunhofer ILT, Aachen

06.03.2007 - M. Poggel
Transparent und Artungleich
 Aachener Laserseminar »Laserschweißen von Kunststoffen«, Fraunhofer ILT, Aachen

06.03.2007 - A. Gasser
Anlagen- und Systemtechnik für die Laseroberflächentechnik
 Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

06.03.2007 - C. Johnigk
Reinigen mit Laserstrahlung
 Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

06.03.2007 - G. Vitr
Randschichthärten und Wärmebehandeln von Stählen mit Laserstrahlung
 Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

06.03.2007 - A. Weisheit
Laserstrahl-Auftragschweißen von Funktionsschichten für den Verschleiß- und Korrosionsschutz
 Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

06.03.2007 - E. Willenborg
Polieren und Strukturieren mit Laserstrahlung
 Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

06.03.2007 - K. Wissenbach
Lasereinsatz in der Oberflächentechnik - Ein Überblick
 Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

07.03.2007 - A. L. Boglea
Mikroschweißen von Kunststoffen - mit hoher Geschwindigkeit in Mikrodimensionen
 Aachener Laserseminar »Mikroverbindungstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

07.03.2007 - A. Gillner
Aktuelle Entwicklungen zu neuen Laserstrahlquellen für die Mikroverbindungstechnik
 Aachener Laserseminar »Mikroverbindungstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

07.03.2007 - A. Olowinsky
Mikroschweißen mit Laserstrahlung - Neue Verfahrenskonzepte mit optimiertem Energieeintrag
 Aachener Laserseminar »Mikroverbindungstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

07.03.2007 - F. Sari
Lasermikrofügen von Halbleitern und Keramiken
 Aachener Laserseminar »Mikroverbindungstechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

08.03.2007 - A. Gillner
Aktuelle Entwicklungen zu neuen Laserstrahlquellen für das Mikrobohren
 Aachener Laserseminar »Mikrobohren mit Laser«, Fraunhofer ILT, Aachen

08.03.2007 - C. A. Hartmann
Hochgeschwindigkeits-mikrobohren
 Aachener Laserseminar »Mikrobohren mit Laser«, Fraunhofer ILT, Aachen

08.03.2007 - S. Kaieler
Prozessüberwachung beim Laserstrahlbohren
 Aachener Laserseminar »Mikrobohren mit Laser«, Fraunhofer ILT, Aachen

08.03.2007 - W. Wawers
Mikrobohren mit Laserstrahlung
 Aachener Laserseminar »Mikrobohren mit Laser«, Fraunhofer ILT, Aachen

19.03.2007 - M. Benk
Pinchplasma für den Spektralbereich des Wasserfensters
 Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Düsseldorf

19.03.2007 - M. Hermans
Entwicklung einer Methode zur Beobachtung der Dampf- und Plasmadynamik innerhalb der Bohrung beim Laserstrahlbohren
 Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Düsseldorf

19.03.2007 - A. Mader
Time-resolved EUV images of a tin vapour discharge plasma for future lithography
 Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Düsseldorf

19.03.2007 - I. Mingareev
Untersuchungen zur Schmelzdynamik bei der Materialbearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen
 Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Düsseldorf

19.03.2007 - A. Werth
Glasschweißen mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung
 Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Düsseldorf

20.03.2007 - S. Meyer
Zeitaufgelöste Plasmabeobachtung bei der Mikrostrukturierung von Metallen mit ps-Doppelpulsen
 Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Düsseldorf

20.03.2007 - M. Leers
Next generation heat sinks for high power diode laser bars
 SEMI-THERM 2007, San Jose, CA, USA

21.03.2007 - E. Bremus-Koebberling
Neurite growth on micro-patterned polymer surfaces with complex topographies
 (Posterpräsentation)
 Biomedica, Aachen

22.03.2007 - C. D. Gehlen
Zeit- und orts aufgelöste Untersuchung laserinduzierter Plasmen beim präzisen Mikro-Materialabtrag mit Pulsgruppen
 (Posterpräsentation)
 Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Düsseldorf

23.03.07 - M. Nießen
Charakterisierung von Verfahrensparametern beim Schneiden
 Kolloquium Fraunhofer SCAI, Birlinghofen

23.03.2007 - M. Haverkamp
1.1W four wavelength Raman pump using BH-lasers
 OFC / NFOEC 2007, Anaheim, CA, USA

27.03.2007 - A. Gillner
Laser structuring of metals and hard materials
 Tagung Mikrobearbeitung, Leuven, Belgien

16.04.2007 - G. Backes
Laserbearbeitung im Triebwerksbau
 Seminarvortrag »Laserbearbeitung im Triebwerksbau«, Berlin

18.04.2007 - R. Poprawe
The consequences of societal demands for industrial innovation and the future of laser materials processing
 ALAW 2007, Orlando, FL, USA

23.04.2007 - A. Horn
Investigations on melting and welding of glass by ultra-short pulsed laser radiation
 LPM 2007, Wien, Österreich

23.04.2007 - F. Sari
Laser transmission bonding and welding - Introduction and experimental results
 LPM 2007, Wien, Österreich

25.04.2007 - D. Ganser
Fabrication of Nd:GGG planar waveguide laser by pulsed laser deposition
 LPM 2007, Wien, Österreich

26.04.2007 - C. Johnik
Cleaning of technical surfaces with laser radiation
 IDC 2007, Düsseldorf

02.05.2007 - A. Olowinsky
Advances in polymer laser micro welding
 SPIE Microtechnologies for the New Millennium, Maspalomas, Spanien

05.05.2007 - H.-D. Hoffmann
High power solid state lasers for LPP EUV
 Sematech »Source Workshop«, Baltimore, MD, USA

05.05.2007 - H.-D. Hoffmann
Rod-slab-disc-fiber, design and performance comparison of high power laser architectures
 CLEO / PHAST 2007, Baltimore, MD, USA

05.05.2007 - D. Wortmann
Highspeed production of periodical nanostructures using femtosecond laser radiation
 CLEO / PHAST 2007, Baltimore, MD, USA

05.05.2007 - D. Wortmann
Waveguide lasers of Er:ZBLAN and Nd:GGG by pulsed laser deposition and fs-laser microstructuring
 CLEO / PHAST 2007, Baltimore, MD, USA

28.05.2007 - A. L. Boglea
Fiber laser welding for packaging of disposable polymeric microfluidic-biochips
 EMRS 2007 Spring Meeting, Strasbourg, Frankreich

31.05.2007 - J. Gottmann
Manufacturing of Er:ZBLAN ridge waveguides by pulsed laser deposition and ultrafast laser micromachining for green integrated lasers
 EMRS 2007 Spring Meeting, Strasbourg, Frankreich

31.05.2007 - J. Gottmann
Manufacturing of Nd:Gd3Ga5O12 ridge waveguide lasers by pulsed laser deposition and ultrafast laser micromachining
 EMRS 2007 Spring Meeting, Strasbourg, Frankreich

31.05.2007 - R. Poprawe
Tailored Light - Neue Laser für neue Anwendungen
 Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

01.06.2007 - W. Schulz
Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren
 Kolloquium BAM, Berlin

06.06.2007 - S. Kaierle
Basics for common laser applications
 University of Technology, Peking, China

12.06.2007 - J. Gottmann
Pulsed Laser Deposition und fs-Laser Strukturierung für Wellenleiterlaser
 Seminar TU Braunschweig

13.06.2007 - S. Pfeiffer
Prozesssimulation für das Laserstrahl-tiefschweißen
 FOSTA Forschungsvereinigung Stahlanwendungen, Arbeitskreisitzung P708: Untersuchung der strukturellen Stabilität von Modellen zur Schweißverzugsimulation bei Stahlwerkstoffen, Düsseldorf

18.06.2007 - R. Poprawe
Societal demands determine the industrial innovation and the future of laser materials processing
 Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

18.06.2007 - D. Wortmann
Waveguide lasers of Er:ZBLAN and Nd:GGG by pulsed laser deposition and fs-laser microstructuring
 Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

19.06.2007 - M. Brajdic
Increase of drilling velocity by use of superposed laser radiation
 Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

19.06.2007 - J. Geiger
Characterization of high power multimode combiners
 CLEO Europe / Laser 2007, München

19.06.2007 - M. Wehner
Laser processing of medical and bio-analytical devices
 Industry Workshop - Medical device manufacturing, Laser 2007, München

19.06.2007 - M. Wehner
Laser-mediated perforation of plant cells
 European Conference on Biomedical Optics - ECBO 2007, München

20.06.2007 - H.-D. Hoffmann
Recent developments and perspectives of high-brightness slab-, fiber- and diodelasers
 Industrial Workshop »Advanced Solid State Lasers«, Laser 2007, München

20.06.2007 - P. Albus
Laser cladding of mesh structures on HPT liner and NGV parts
 Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

20.06.2007 - T. Jambor
Micro laser cladding with high quality fibre lasers
 Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

20.06.2007 - M. Poggel
Welding of transparent thermoplastics with fibre lasers
 Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

20.06.2007 - J. Wilkes
Rapid manufacturing of ceramic components by selective laser melting
Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

20.06.2007 - S. Kaierle
Process basics and their influence on process stability and diagnostics
LASER INDUSTRY WORKSHOP, München

21.06.2007 - B. Zintzen
Effective cooling for high-power fiber lasers
Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

21.06.2007 - A. Gillner
Laser micro and nano structuring for functional surfaces on polymer parts
Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

21.06.2007 - A. Olowinsky
Laser beam micro joining - new processes and applications
Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

21.06.2007 - A. L. Boglea
Microwelding of polymeric materials with fibre lasers
Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

21.06.2007 - W. Schulz
Diagnosis and simulation of high speed drilling
Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

22.06.2007 - D. Wortmann
Highspeed production of periodical nanostructures using fs-laser radiation
Lasers in Manufacturing - LIM 2007, München

22.06.2007 - M. Dahmen
Repair of blade integrated disks by laser beam welding - weldability aspects and approach
Seminar »Laser application in turbo machinery«, München

22.06.2007 - K. Kowalick
Quality assurance for laser applications in turbo machinery
Seminar »Laser application in turbo machinery«, München

22.06.2007 - K. Walther
Manufacture of shaped holes in multilayer systems by laser drilling and laser structuring: From theory to application
Seminar »Laser application in turbo machinery«, München

22.06.2007 - W. Meiners
Technological basics and economical advantages of additive manufacture and repair by Laser Metal Deposition
Seminar »Laser application in turbo machinery«, München

27.06.2007 - J. Holtkamp
Laser assisted micro sheet forming
FLAMN 2007, St. Petersburg, Russland

27.06.2007 - L. Starovoytova
Fabrication of Nd:Gd₃Ga₅O₁₂ planar waveguide laser by pulsed laser deposition
FLAMN 2007, St. Petersburg, Russland

19.07.2007 - R. Noll
Laserspektroskopische Verfahren für Sicherheitsanwendungen
Workshop »Optische Mikrosysteme für Sicherheitsanwendungen«, Goslar

08.08.2007 - R. Poprawe
Frontiers of advanced laser manufacturing technology for 2015
National Natural Science Foundation of China, Peking, China

28.08.2007 - E. W. Kreutz
High temperature turbine applications using open parvus metallic foams with thermal barrier coatings and cooling hole arrays
ISCORMA 2007, Calgary, Kanada

05.09.2007 - J. Gottmann
Diode pumped ridge waveguide laser by pulsed laser deposition and ultrafast laser micromachining
Advanced Laser Technologies, Levi, Finland

05.09.2007 - J. Gottmann
Manufacturing of periodical nanostructures by fs-laser direct writing
Advanced Laser Technologies, Levi, Finland

07.09.2007 - M. Wehner
Multimodal laser sources for surgery and device fabrication
Photonics 21 Workshop »Life Science and Health«, Jena

11.09.2007 - K. Wissenbach
DMD and SLM activities at ILT
4. European Summer School »Rapid Manufacturing for Competitiveness«, St. Etienne, Frankreich

11.09.2007 - C. Fricke-Begemann
Laser-based measurement systems for size-dependent particle composition
EAC 2007, Salzburg, Österreich

11.09.2007 - C. D. Gehlen
Time and spatially resolved investigations of laser-induced plasmas produced by ns- and ps-bursts in the milli- and sub-millijoule regime
(Posterpräsentation)
EMSLIBS 2007, Paris, Frankreich

11.09.2007 - Ü. Aydin
Analysis of limestone and dolomite samples by laser-induced breakdown spectroscopy for mineral processing
(Posterpräsentation)
EMSLIBS 2007, Paris, Frankreich

11.09.2007 - Ü. Aydin
LIBS identification of moving aluminium scrap particles by cleaning contamination layers with new tailored laser system
(Posterpräsentation)
EMSLIBS 2007, Paris, Frankreich

11.09.2007 - M. Höhne
Determination of metals and non-metallic inclusions by rapid LIBS analysis in steel samples
(Posterpräsentation)
EMSLIBS 2007, Paris, Frankreich

11.09.2007 - A. Lamott
Readout electronics for spectrometers used in laser-induced breakdown spectroscopy
(Posterpräsentation)
EMSLIBS 2007, Paris, Frankreich

11.09.2007 - N. Strauss
LIBS-based measurement system for size-dependent particle composition
(Posterpräsentation)
EMSLIBS 2007, Paris, Frankreich

11.09.2007 - V. Sturm
Fast vacuum slag analysis in a steel works by laser-induced breakdown spectroscopy
(Posterpräsentation)
EMSLIBS 2007, Paris, Frankreich

11.09.2007 - Q. Wang
Comparison of NIR and UV excitation of LIBS plasma for the detection of explosives
(Posterpräsentation)
EMSLIBS 2007, Paris, Frankreich

12.09.2007 - R. Noll
LIBS - from research to industry, new frontiers for process control
EMSLIBS 2007, Paris, Frankreich

12.09.2007 - J. Vrenegor
Testing of a LIBS machine in a steel works laboratory for process control
EMSLIBS 2007, Paris, Frankreich

20.09.2007 - M. Traub
Spaceborne fiber coupled diode laser pump modules for intersatellite communications
Security and Defense 2007, Florenz, Italien

23.09.2007 - D. Ganser,
Laser deposition of laser active planar waveguides for integrated waveguide lasers
COLA 2007, Teneriffa, Spanien

24.09.2007 - A. Horn
Time-resolved investigations on ultra-fast welding of glass-glass and glass-silicon non-interferometric time-resolved quantitative phase microscopy for ultrafast engineering
COLA 2007, Teneriffa, Spanien

24.09.2007 - D. Wortmann
FS-laser structuring of ridge waveguides
COLA 2007, Teneriffa, Spanien

24.09.2007 - D. Wortmann
Waveguidelasers by pulsed laser deposition and fs-laser structuring
COLA 2007, Teneriffa, Spanien

24.09.2007 - R. Poprawe
High speed precision laser ablation
COLA 2007, Teneriffa, Spanien

26.09.2007 - M. Dahmen
Hybrid laser beam welding of structural parts
13th IIV WG Shipbuilding Meeting, Odense C., Dänemark

- 26.09.2007 - M. Dahmen
Autonomous joint tracking and applications to robot control
13th IIW WG Shipbuilding Meeting, Odense C., Dänemark
- 26.09.2007 - S. Hoeges
SLM-Generative Fertigung von individuellen Knochenersatz-implantaten
41. DGBMT-Jahrestagung BMT 2007, Aachen
- 27.09.2007 - R. Poprawe
Festvortrag
41. DGBMT-Jahrestagung BMT 2007, Aachen
- 05.10.2007 - E. W. Kreutz
Evolution of laser sources
LASERAP 2007, Saint Léger Beuvray, Frankreich
- 06.10.2007 - R. Noll
LIBS - R&D projects at Fraunhofer ILT
NASLIBS 2007, New Orleans, LA, USA
- 08.10.2007 - C. Hinke
Individualized serial production for mass customization and open innovation
MCPC 2007, Boston, DC, USA
- 17.10.2007 - R. Poprawe
Future high power lasers and new applications
Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA
- 24.10.2007 - R. Poprawe
New welding technologies by new lasers
10. Internationales Aachener Schweißtechnik Kolloquium, Aachen
- 24.10.2007 - J. Geiger
Tutorial on fiber laser pumping
BRIGHTER-Treffen, Madrid, Spanien
- 29.10.2007 - R. Poprawe
Photonics in the 21st century - The European Technology Platform Photonics 21
ICALEO® 2007, Orlando, FL, USA
- 29.10.2007 - S. Kaielerle
From flexible to adaptive manufacturing: an approach for laser materials processing
(plenary talk)
ICALEO® 2007, Orlando, FL, USA
- 30.10.2007 - C. A. Hartmann
Investigation on laser micro ablation of steel using ps-IR pulse bursts
ICALEO® 2007, Orlando, FL, USA
- 30.10.2007 - D. Petring
Progress in laser-MAG hybrid welding of high-strength steels up to 30 mm thickness
ICALEO® 2007, Orlando, FL, USA
- 31.10.2007 - A. L. Boglea
TWIST - A new method for the micro-welding of polymers with fibre lasers
ICALEO® 2007, Orlando, FL, USA
- 31.10.2007 - C. Chaminade
Laser-based glass soldering for MEMS packaging
ICALEO® 2007, Orlando, FL, USA
- 31.10.2007 - S. Kaielerle
Comparison of process monitoring strategies for laser transmission welding of plastics
ICALEO® 2007, Orlando, FL, USA
- 01.11.2007 - S. Kaielerle
Process control of laser beam welded small section aluminum sheet
ICALEO® 2007, Orlando, FL, USA
- 08.11.2007 - W. Schulz
Modelling and simulation of laser processing
Seminar Graduiertenschule AICES - Cluster of Excellence, RWTH Aachen University
- 15.11.2007 - H.-D. Hoffmann
Designaspekte robuster und kompakter Faserlaser mit Ausgangsleistung im kW- Bereich
IWS Faserlaser Workshop, Dresden
- 15.11.2007 - E. Wagenaar
A tin-based plasma source for extreme ultraviolet lithography
WELTPP-10, Kerkrade, Niederlande
- 20.11.2007 - E. Bremus-Koebberling
Selektive Laser-Oberflächen-funktionalisierung medizinischer Kunststoffbauteile
Aachener Laserseminar »Laserverfahren in der Medizintechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 20.11.2007 - A. Gillner
Lasersysteme und Laserverfahren in der Medizintechnik - Etabliert und trotzdem nicht abgehackt, Ideen für die Zukunft
Aachener Laserseminar »Laserverfahren in der Medizintechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 20.11.2007 - A. Gillner
Neue Laserstrahlquellen für die Präzisionsbearbeitung von Medizinprodukten - Eigenschaften und Potentiale von Kurzpuls-lasern, UV-Lasern bis zu Faserlasern
Aachener Laserseminar »Laserverfahren in der Medizintechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 20.11.2007 - S. Hoeges
Patientenspezifische Fertigung medizinischer Implantate durch Selective Laser Melting
Aachener Laserseminar »Laserverfahren in der Medizintechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 20.11.2007 - M. Poggel
Laserstrahlfügen medizintechnischer Kunststoffbauteile - von transparent über flexibel bis zu ultrafein
Aachener Laserseminar »Laserverfahren in der Medizintechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 20.11.2007 - S. Kaielerle
Moderne Systemtechnik für die sichere und effiziente Materialbearbeitung mit Laserstrahlung
Aachener Laserseminar »Systemtechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 20.11.2007 - S. Kaielerle
Autonomes Laserstrahlschweißen durch optische Geschwindigkeitsmessung und Nahtfolge
Aachener Laserseminar »Systemtechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 21.11.2007 - S. Kaielerle
Prozessüberwachung und Qualitätssicherung für die Materialbearbeitung mit Laserstrahlung
Aachener Laserseminar »Systemtechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 21.11.2007 - S. Mann
Prozessüberwachung mit koaxialer Fremdbeleuchtung
Aachener Laserseminar »Systemtechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 21.11.2007 - A. Lamott
Online Überwachung von Schweißprozessen mit Emissionspektrometrie
Aachener Laserseminar »Lasermess-technik für die metallverarbeitende Industrie«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 21.11.2007 - R. Noll
Grundlagen und Methoden der Lasermesstechnik - Stand der Technik und neue Entwicklungen
Aachener Laserseminar »Lasermesstechnik für die metallverarbeitende Industrie«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 21.11.2007 - F. Schmitt
Entwicklung und Einsatz miniaturisierter Scanner für das Laserstrahl-Mikrofügen
Kolloquium Mikroproduktion, Akademie-Hotel Karlsruhe, Karlsruhe
- 22.11.2007 - F. Sari
Anwendungsmöglichkeiten von Laserdurchstrahlverfahren für das Fügen von Mikrobautteilen
Kolloquium Mikroproduktion, Akademie-Hotel Karlsruhe, Karlsruhe
- 28.11.2007 - S. Pfeiffer
Prozesssimulation zur Nutzung als Wärmequelle in FEM-Simulationen des Verzugs beim Schweißen
FOSTA Forschungsvereinigung Stahlanwendungen, Arbeitskreissitzung P708: Untersuchung der strukturellen Stabilität von Modellen zur Schweißverzugssimulation bei Stahlwerkstoffen, Düsseldorf
- 01.12.2007 - D. Petring
Present status and future research and development of laser material processing on sheet metal in Europe
20th Anniversary of Amada Foundation for Metal Work Technology, Isehara, Japan
- 03.12.2007 - D. Buchbinder
Rapid Manufacturing von Aluminiumbauteilen für die Serienproduktion durch Selective Laser Melting (SLM)
Euro-uRapid 2007, Frankfurt/Main
- 04.12.2007 - A. Gillner
Functional surfaces on polymers for medical products and micro optics by laser based embossing and micro structured tools
Euro-uRapid 2007, Frankfurt/Main
- 10.12.2007 - F. Sari
Laser assisted transmission bonding
International Conference on »Wafer Bonding for MEMS Technologies and Wafer Level Integration«, Halle

11.01.2007
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Prof. Alan H. Epstein, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA
 »Chip-based gas turbine generators, rocket engines and chemical lasers«

25.01.2007
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Dr. Joseph Pankert, Philips Lighting B.V., Eindhoven, NL
 »EUV Lithographie für die Herstellung hochintegrierter Halbleiter-Chips«

13.02.2007, Aachen
Unihits für Kids
 Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Geschwister-Scholl-Gymnasiums in Pulheim zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

06.03.2007, Aachen
Aachener Laser Seminar »Vorsprung durch Laseroberflächentechnik - Auftragschweißen, Reparieren, Reinigen, Polieren«
 Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
 Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

06.03.2007, Aachen
Aachener Laser Seminar »Laserschweißen von Kunststoffen - Präzision und Flexibilität von Mikro bis Makro«
 Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
 Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

07.03.2007, Aachen
Aachener Laser Seminar »Mikroverbindungstechnik mit Laserstrahlung«
 Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
 Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

08.03.2007, Aachen
Aachener Laser Seminar »Mikroböhren mit Laser – Von den Grundlagen zur industriellen Anwendung«
 Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
 Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

23.03.2007, Aachen
27. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
 des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT in der Laser Bearbeitungs- und Beratungszentrum GmbH in Geilenkirchen mit Vortrag von Dipl.-Ing. Ulrich Berners zum Thema »Laserbearbeitung à la carte - die Herausforderungen eines Laserlohnbetriebes am Beispiel der LBBZ GmbH«, Besichtigung der LBBZ GmbH in Geilenkirchen und Vorstellung der Neumann & Esser Group mit anschließender Firmenbesichtigung in Übach Palenberg.

03.05.2007
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Dr. Thomas Riedl, TU Carolo-Wilhelmina, Braunschweig
 »Organic semiconductor lasers - from the visible to the UV«

24.05.2007
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Dr. Götz Erbert, Ferdinand-Braun-Institut für Höchstfrequenztechnik, Berlin
 »Hochleistungslaser - Schlüsselelemente moderner Lasertechnologie«

14.06.2007
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Dr. Holger Schlüter, Trumpf Photonics Inc., Cranbury, NJ, USA
 »Scheibenlaser in Produktion und Entwicklung«

14.06.2007, Aachen
Unihits für Kids
 Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Inda Gymnasiums in Aachen zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

20.06.2007, München
28. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
 des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT anlässlich der LASER 2007 mit Podiumsdiskussion zum Thema »Arbeiten und Leben als Unternehmer«
 Diskussionsteilnehmer:
 • Dipl.-Ing. Ulrich Berners, Geschäftsführer, Laser Bearbeitungs- und Beratungszentrum GmbH, Geilenkirchen
 • Dr. Keming Du, Geschäftsführer, EdgeWave GmbH, Aachen
 • Dipl.-Ing. Jürgen Jannsen, Geschäftsführer, RJ Lasertechnik GmbH, Übach Palenberg
 • Dr. Reinhard Kramer, Geschäftsführer, PRIMES GmbH, Pfungstadt
 Moderation: Dipl.-Phys. Axel Bauer, Arbeitskreis Lasertechnik e. V., Aachen

22.06.2007, München
LASER 2007 - Seminar »Laser application in turbo machinery«
 Im Anschluss an die LASER 2007 fand am 22.06.2007 im NH Hotel Neue Messe München das Seminar »Laser application in turbo machinery« statt. Organisiert wurde dieses Seminar vom Fraunhofer ILT und vom Lehrstuhl für Lasertechnik LLT. Primäre Zielgruppe des von Akad. Rat Dr.-Ing. Ingomar Kelbassa geleiteten Seminars waren Systemhersteller, Zulieferer und Dienstleister aus dem Triebwerksbau. Rund 40 Teilnehmer informierten sich über die neuesten Entwicklungen im Bereich der Instandsetzung von Komponenten aus dem Flugtriebwerksbau.



Oben: Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People« am 23.03.2007.
Mitte: Aachener Laser Seminar.
Unten: LASER 2007 - Seminar »Laser application in turbo machinery« am 22.06.2007.

18.07.2007

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT
der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des
Kolloquiums Lasertechnik
Prof. Dr. Karl Leo, Institut für
Angewandte Photophysik (IAPP),
Dresden
»Organische Halbleiter: Physik und
Bauelementanwendungen«

16.08.2007, Aachen
Unihits für Kids

Informationsveranstaltung des
Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und
des Fraunhofer ILT für Schüler des
St. Ursula Gymnasiums in Aachen
zu naturwissenschaftlichen Berufs-
bildern.

27. - 28.09.2007, Thun, Schweiz

29. Seminar des Ehemaligen-
clubs »Aix-Laser-People«
des Fraunhofer ILT und des Lehr-
stuhls für Lasertechnik LLT mit
Besichtigung des Werkes Birr (CH)
der Alstom AG am 27.09.2007. Die
Alstom Power, eine der führenden
Anbieter für umfassende Energie-
erzeugungslösungen, wurde durch
Dr.-Ing. Markus Oehl, Manager
process development im Bereich
Hot gas parts, vorgestellt. Die
Werksführung umfasste die Be-
sichtigung der Fertigungslinien
für Generatoren und Rotoren
für Gas- und Dampfturbinen. Am
28.09.2007 wurde das Seminar
durch die Besichtigung der LASAG
AG in Thun (CH) fortgeführt.
Dr. Dietmar Wagner, Geschäftsführer
der LASAG AG, sowie Dr. Ulrich Dürr
stellten den Laserhersteller vor.

18.10.2007

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT
der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des
Kolloquiums Lasertechnik
Dipl.-Ing. Stefan Irrgang,
IPG Laser GmbH, Burbach
»Faserlaser für die industrielle
Anwendung«

25.10.2007

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT
der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des
Kolloquiums Lasertechnik
Prof. Dr. Karl-Friedrich Klein,
Fachhochschule Gießen-Friedberg,
Friedberg
»Mikrostrukturierte Faser für neue
Anwendungen«

08.11.2007

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT
der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des
Kolloquiums Lasertechnik
Prof. Dr. T. Baumert, Universität
Kassel, Institut für Experimental-
physik, Kassel
»Ultraschnelle Laserkontrolle«

20.11.2007, Aachen

Aachener Laser Seminar

»Laser in der Medizintechnik«
Seminar des Carl Hanser Verlags
München in Kooperation mit dem
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik
ILT in Aachen.
Weitere Informationen unter
www.aachenerlaserseminare.de.

20. - 21.11.1007, Aachen

Aachener Laser Seminar »Laser-
systemtechnik - Qualitätssiche-
rung und Prozessüberwachung,
Strahlquellen und Handhabungs-
systeme«

Seminar des Carl Hanser Verlags
München in Kooperation mit dem
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik
ILT in Aachen.
Weitere Informationen unter
www.aachenerlaserseminare.de.

21.11.2007, Aachen

Aachener Laser Seminar »Laser-
messtechnik für die metallverar-
beitende Industrie«

Seminar des Carl Hanser Verlags
München in Kooperation mit dem
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik
ILT in Aachen.
Weitere Informationen unter
www.aachenerlaserseminare.de.

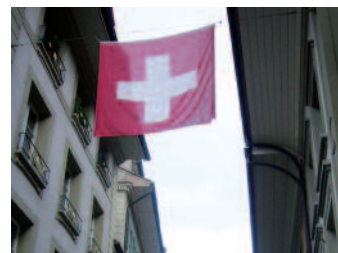
29.11.2007

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT
der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des
Kolloquiums Lasertechnik
V. K. Tikhomirov, Chemistry
Department, Catholic University
Leuven, Belgien
»Rare-earth doped nano-crystals in
transparent glass-ceramics and their
applications«

20.12.2007, Aachen

30. Seminar des Ehemaligen-
clubs »Aix-Laser-People«
des Fraunhofer ILT und des Lehr-
stuhls für Lasertechnik LLT mit Vor-
trägen von Dr. Jochen Stollenwerk
über »Neue Entwicklungen im
Bereich der Oberflächentechnik
am Fraunhofer ILT« und Dipl.-Ing.
Volker Cremer, Bertrandt Ingenieur-
büro GmbH, Köln zum Thema
»Projektmanagement bei Bertrandt
- Tier 1 Partner der Automobil-
industrie«. Anschließend fand eine
Besichtigung der GIF Gesellschaft
für Industrieforschung mbH im IGA
Alsdorf statt.



Seminar des Ehemaligenclubs
»Aix-Laser-People« am 27. und
28.03.2007 in Thun, Schweiz.

23.01. - 25.01.2007

San Jose, USA

Photonics West 2007

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik

Teilnahme der Abteilungen Laserkomponenten sowie Festkörper- und Diodenlaser des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT am deutschen Gemeinschaftsstand.

ILT/LLT Themen: Montage von Diodenlasern, Charakterisierung von Diodenlaserbarren, Lasersysteme basierend auf Laserbarren, Hochenergie-Diodenlasermodule für Raumfahrtanwendungen und Festkörperlaser.



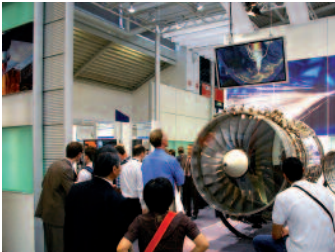
16.04. - 20.04.2007

Hannover

Hannover Messe 2007

Internationale Industriemesse
Teilnahme der Abteilung Mikrotechnik des Fraunhofer ILT am IVAM Gemeinschaftsstand.

ILT Thema: Laser in der Mikrotechnik, Highlights: Mikroboren mit hoher Bohrrate sowie Mikroschweißen von Kunststoffen.



Oben: Fraunhofer-Gemeinschaftsstand auf der EuroMold 2007 in Frankfurt.

Mitte und unten: Fraunhofer-Gemeinschaftsstand auf der LASER 2007 in München.

08.05. - 11.05.2007

Sinsheim

Control

Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung

Teilnahme der Abteilung Lasermesstechnik des Fraunhofer ILT am Gemeinschaftsstand mit der Firma LSA - Laser Analytical Systems + Automation GmbH in Halle 4.

ILT Themen: Produkte und Anlagen aus dem Bereich Lasermesstechnik für die Aufgaben der Prozesskontrolle und der Qualitätssicherung, wie z. B. ein kompaktes Lasermessgerät zur spektralen Elementanalyse, eine Anlage für die schnelle orts aufgelöste Elementanalyse sowie Systeme der berührungslosen Lasermesstechnik für die chemische Analyse und zur Bestimmung der Maßhaltigkeit und Geometrie von Produkten.

18.06. - 21.06.2007

München

LASER 2007

LASER 2007 World of Photonics and World of Photonics Congress 2007

Teilnahme des Fraunhofer ILT am Fraunhofer Gemeinschaftsstand in Halle B3.

ILT-Themen: Instandsetzung von Flugtriebwerkskomponenten durch Laserauftragschweißen; Entwicklung von maßgeschneiderten Dioden-, Faser- und YAG-Lasern für die Medizintechnik, die Materialbearbeitung und die Satellitenkommunikation; Rapid Manufacturing von Flugzeug-, Werkzeug- und medizinischen Komponenten mit dem Selective Laser Melting (SLM) Verfahren; Modellierungs- und Simulationssoftware zur Optimierung von Präzisionsbohrprozessen; Mikrobore von Silizium-Komponenten für die Solarzellenproduktion; Mikrostrukturieren und Mikrogenerieren; Kunststofffügen transparenter Teile; integriertes Laserstrahlschweißen und -schneiden mit Kombikopf ohne Werkzeugwechsel; Coaxial-Process-Control System (CPC) zur online-Überwachung von Schweiß- und Schneidprozessen; Laserstrahlschneiden mit Leistungen über 5 kW mit robustem Spiegelschneidkopf.

18.06. - 24.06.2007

Le Bourget, Frankreich

Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace

International Paris Air Show

Teilnahme der CLFA an der Ausstellung in Halle 4.
CLFA Themen: Rapid Manufacturing und Instandsetzung mit Laserauftragschweißen.

24.10. - 31.10.2007

Düsseldorf

K 2007

Internationale Messe für Kunststoff und Kautschuk

Teilnahme der Abteilung Mikrotechnik des Fraunhofer ILT am Fraunhofer Gemeinschaftsstand in Halle 3. ILT Thema: Kunststoffschweißen.

29.10. - 01.11.2007

Orlando, Florida

ICALEO

26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics

Teilnahme des Fraunhofer ILT an den Vortragsessions und am »Vendor Program« der ICALEO. Das »Vendor Program« umfasste 86 Aussteller aus 9 Ländern, darunter das Fraunhofer ILT in Kooperation mit dem Fraunhofer CLT, Plymouth, USA.

13.11. - 16.11.2007

München

Productronica 2007

Internationale Fachmesse der Elektronik-Fertigung

Teilnahme der Abteilung Mikrotechnik des Fraunhofer ILT am Fraunhofer Gemeinschaftsstand in Halle B5.

ILT Thema: Flexible Fertigungszelle zur Lasermikrobearbeitung.

05.12. - 08.12.2007

Frankfurt

EuroMold

Weltmesse für Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung

Teilnahme der Abteilung Oberflächentechnik des Fraunhofer ILT am Fraunhofer Gemeinschaftsstand »Innovation Werkzeugbau« in Halle 8. ILT Thema: Hochleistungsform-einsätze für den Werkzeugbau.



»Partner der Innovatoren« (deutsch/englisch)

Diese Broschüre vermittelt einen prägnanten Überblick über das Fraunhofer ILT. Die zusammenfassende Darstellung der am ILT durchgeführten FuE-Projekte ist ebenso Bestandteil wie ein Kurzprofil des Instituts und eine Kundenreferenzliste.

»Angebot und Ansprechpartner« (deutsch/englisch)

Diese Broschüre vermittelt einen Überblick über das aktuelle Dienstleistungsangebot sowie die Ansprechpartner des Instituts. Die einzelnen Abteilungen des Fraunhofer ILT werden mit ihren Arbeitsschwerpunkten vorgestellt.

Jahresbericht 2007 (deutsch/englisch)

Der Jahresbericht stellt umfassend die FuE-Aktivitäten des Fraunhofer ILT für das jeweilige Geschäftsjahr dar. Listen wissenschaftlicher Publikationen und Vorträge sind ebenso enthalten wie die Aufstellungen von Patenten, Dissertationen, Tagungen und Messebeteiligungen. Die englische Version kann nur im Internet unter www.ilt.fraunhofer.de abgerufen werden.

Tagungsband des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'06

Im technischen Tagungsband des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'06 (03. bis 05.05.2006) berichten 34 Laserhersteller und Anwender über neueste Entwicklungen und technologische Trends aus den Branchen optische Industrie, Automobilindustrie, metallverarbeitende Industrie, Werkzeug- und Formenbau sowie Elektrotechnik und Elektronik. Die Fallbeispiele aus der Praxis beleuchten die unterschiedlichen Laserverfahren wie Laserstrahlschweißen und -schneiden, Laseroberflächentechnik sowie Lasermikrotechnik.

Tagungsband des Technologie Business Tages TBT'06

Der Tagungsband des Technologie Business Tages, der am 03.05.2006 in Aachen mit 13 Experten aus den Bereichen Finanzwesen, Technologiemarketing, Recht, Vertrieb und Unternehmensberatung stattfand, richtet sich an Führungskräfte expandierender Technologiefirmen sowie an Unternehmensgründer. Einerseits wird ein prägnanter Überblick über Chancen und Trends der Lasertechnik, des Maschinenbaus und der Automobiltechnik vermittelt. Andererseits werden Aspekte, die Unternehmern in den unterschiedlichen Phasen des Wachstums begegnen, aus finanztechnischer, patentrechtlicher und marketingspezifischer Sicht beleuchtet.

»Hochleistungsdiodenlaser«

Der Fachprospekt erläutert die unterschiedlichen Aktivitäten des Fraunhofer ILT in der Entwicklung von Hochleistungsdiodenlasern. Hierzu zählen die Auslegung spezieller Bauelemente zur Kühlung der Laser, die Konfektionierung der Diodenlaserbarren, die Charakterisierung in Burn-In-Plätzen, das optische Design und die Entwicklung kompletter Diodenlasermodule.

»Lasertechnik für die Oberflächenmodifikation und das Umformen«

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über den Einsatz des Lasers zum Umformen und zur Modifikation von Oberflächen. Hierzu zählen Verfahren wie das Entgraten und das formgebende Schmelzen, das Polieren, das Aufrauen, das Strukturieren und Aktivieren, das Rekristallisieren, das Glühen sowie das Feinperlitisieren.





Laser in der Kunststoff- und Papiertechnik

»Lasertechnik für den Verschleiß- und Korrosionsschutz«

Verschleiß- und Korrosionsschutz kann durch unterschiedliche Laserverfahren erzeugt werden. Der Fachprospekt gibt einen Einblick in Verfahren wie martensitisches Randschichthärten, Umschmelzen, Auftragschweißen, Legieren und Dispergieren.

»Laserstrahlaufragschweißen«

Im Fachprospekt werden sowohl das Verfahren als auch die Systemtechnik zum Laserstrahlaufragschweißen vorgestellt. Auch die Unterschiede der hierzu einzusetzenden Pulverzufuhrdüsen werden erläutert.

»Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing«

Der Fachprospekt erläutert das am Fraunhofer ILT entwickelte Verfahren des Selective Laser Melting, mit dem komplexe metallische Bauteile direkt aus 3-D-CAD Daten hergestellt werden. Auch die Anwendungsfelder des Laserstrahlgenerierens werden vorgestellt.

»Laser in der Mikrostrukturierungstechnik«

Der Fachprospekt erläutert Verfahren wie das Laserabtragen, das Präzisions-schneiden, das Bohren und das laser-unterstützte Mikroumformen.

»Abtragen, Reinigen und Markieren mit Laserstrahlung«

Der Fachprospekt stellt die Vorteile der unterschiedlichen Laserverfahren vor und beschreibt die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten.

»Systeme und Anlagen für die Lasermaterialbearbeitung«

Der Fachprospekt veranschaulicht die systemtechnischen Lösungen, die das Fraunhofer ILT ihren Kunden anbietet. Die Systemtechnik befasst sich am Fraunhofer ILT mit der Planung, Entwicklung und Installation von kompletten Laseranlagen sowie von Prozessüberwachungs- und Regelungssystemen. Machbarkeitsstudien, Beratung sowie Aus- und Weiterbildungsseminare ergänzen das Angebot.

»Qualitätssicherung in der Lasermaterialbearbeitung«

Der Fachprospekt verdeutlicht das Potential der Prozessüberwachung und -regelung in der Lasermaterialbearbeitung. Weiterhin werden die Leistungen des Fraunhofer ILT zur Entwicklung entsprechender Überwachungssysteme kurz vorgestellt.

»Laser in der Aufbau- und Verbindungstechnik«

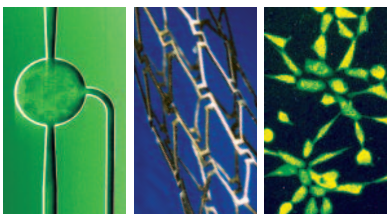
Der Fachprospekt gibt einen Überblick über den Einsatz der Lasertechnik in der Aufbau- und Verbindungstechnik. So werden beispielsweise Mikrofügeverfahren, wie das Laserstrahlbünden und das Laserstrahllöten, erläutert.

»Laser in der Kunststoff- und Papiertechnik«

Der Fachprospekt erläutert den Einsatz des Lasers zur Bearbeitung von Kunststoffen, Verbundwerkstoffen sowie von Papier und Glas.

»Laser in Life Science«

Der Fachprospekt verdeutlicht den Einsatz des Lasers in der Medizintechnik. Auch wird die Laserstrahlung als Werkzeug in der Mikroreaktionstechnik und der Biotechnologie vorgestellt.



Laser in Life Science

»Modellierung und Simulation«

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über die Aktivitäten und Kernkompetenzen der Projektgruppe »Modellierung und Simulation«. Die Experten des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen simulieren sowohl Resonatorkonzepte und Strahlführungssysteme als auch Verfahrensprozesse beispielsweise zum Schneiden, Schweißen oder Bohren.

»Lasermikroskopie«

Der Fachprospekt vermittelt einen Einblick in moderne Verfahren der Laser Scanning Mikroskopie, die am Fraunhofer ILT weiterentwickelt werden.

»Polieren mit Laserstrahlung«

Der Fachprospekt erläutert das Verfahren und die Anwendungsmöglichkeiten des Polierens mit Laserstrahlung.

»Wärmebehandlung mit Laserstrahlung«

Der Fachprospekt vermittelt einen Einblick in das Härten, Entfestigen, Glühen und Umformen mit Laserstrahlung.

»Materialanalyse und Prozesskontrolle mit Laserstrahlung«

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über Systeme für die Materialanalyse und Anwendungsmöglichkeiten.

»Design of Diode Laser Heat Sinks«

Der Fachprospekt stellt den Aufbau und Prototypen von Diodenlaser-Wärmesenken vor.

»Customized Services for Diode Lasers«

Der Fachprospekt vermittelt einen Einblick in Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten und kundenspezifische Lösungen im Bereich Hochleistungsdiodenlaser.

Studieninfo »Optische Technologien an der RWTH Aachen«

Diese Broschüre richtet sich an Studenten der Ingenieurwissenschaften Maschinenbau und Elektrotechnik als auch an Physikstudenten und gibt einen Überblick über das Lehrangebot im Bereich Lasertechnik an der RWTH Aachen. Sie informiert über die Wahlmöglichkeiten der Studenten im Hauptstudium, die von den einzelnen RWTH Lehrstühlen unter dem Dach des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT angeboten werden.

»Kompetenznetze.de«

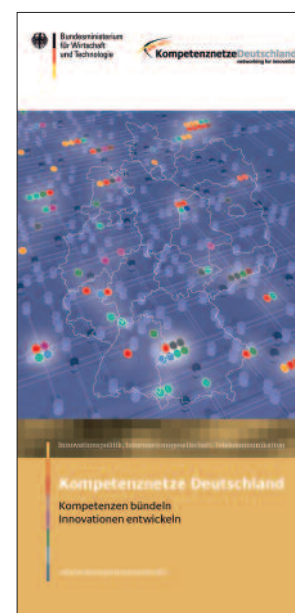
Kompetenznetze.de ist eine Initiative des BMBF und wird als Instrument für internationales Standortmarketing durch Präsentation der kompetentesten Technologie-Netze in Deutschland genutzt. Die Internet Plattform www.kompetenznetze.de, in der auch das Aachener Netzwerk PhotonAix e. V. vertreten ist, bietet eine attraktive Recherchenquelle und Kommunikationsplattform für Informations- und Kooperationssuchende im In- und Ausland.

»European Laser Institute ELI«

Die Informationsbroschüre stellt das vom Fraunhofer ILT koordinierte europäische Netzwerk anerkannter FuE Laserzentren vor. Diese haben sich zum Ziel gesetzt, das in Europa vorhandene Laser-Know-how Interessenten aus Industrie und Wissenschaft zur Verfügung zu stellen. Das Projekt wird von der Europäischen Kommission gefördert. Weitere Informationen hierzu sind unter www.europeanlaserinstitute.org zu finden.

Produkt- und Projekthandzettel

Die Projektdarstellungen aus den Jahresberichten des Fraunhofer ILT sowie gesonderte Produktinformationen können über die Internet-Seiten www.ilt.fraunhofer.de heruntergeladen werden.



CD-Rom »Lasertechnik« (deutsch)

Die CD-Rom ist eine Sammlung von Grafiken, Bildern und Videos der Vorlesungen Lasertechnik I + II von Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe M.A. und wurde 2003 produziert.

Sie wurde vom Lehrstuhl für Lasertechnik LLT in der Fakultät Maschinenwesen der RWTH Aachen in enger Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT erstellt.

Inhalt sind die Grundlagen der Lasertechnik sowie die physikalischen und technischen Prozesse für moderne Fertigungsverfahren. Darüber hinaus wird an zahlreichen Beispielen zu Lasern und industriellen Anwendungen der heutige Stand der wirtschaftlichen Nutzung demonstriert.

Die Darstellungen können einzeln über das mitgelieferte Programm Acrobat Reader 5.0 auf handelsüblichen PCs aufgerufen werden. Systemvoraussetzungen sind: Microsoft Windows 95 OSR 2.0, Windows 98 SE, Windows Millenium Edition, Windows NT 4.0 mit Service Pack, Windows 2000, Windows XP und MacOSX (64 MB Ram Arbeitsspeicher sowie 30 MB freier Festplattenspeicher).

Das Ausdrucken und Verwerten der unveränderten Grafiken und Bilder ist ausschließlich zu Lehrzwecken gestattet.

Weitere Informationen und Bestellzettel zur CD-Rom »Lasertechnik« erhalten Sie über den Arbeitskreis Lasertechnik e.V., Steinbachstraße 15, 52074 Aachen.

Ansprechpartnerin

Diana Heinrichs

Telefon +49 241 8906-122

Fax +49 241 8906-112

diana.heinrichs@ilt.fraunhofer.de



**»Lasertechnik für die Fertigung«
von Reinhart Poprawe**

Grundlagen, Perspektiven und
Beispiele für den innovativen Ingenieur.

Die Anwendung von Lasertechnik ist ein sehr breites Thema, das nicht erschöpfend in einem Werk zusammengefasst sein kann. Daher wird hier der Fokus auf Anwendungen in der Fertigungstechnik gelegt, insbesondere die Bearbeitungsverfahren der heutigen Produktionstechnik. Für den ingenieurwissenschaftlich oder physikalisch vorgebildeten Fachmann sind die bei der Werkstoffbearbeitung mit Laserstrahlung auftretenden Phänomene formelmäßig quantifiziert und in entsprechenden Modellen beschrieben. Diese Grundlagen ermöglichen eine systematische Einordnung der unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren und ermöglichen es, die verschiedenen Anwendungen auf einer einheitlichen wissenschaftlichen Basis abzubilden. Von mehr praxisbezogener Bedeutung sind die zu Bearbeitungsverfahren beschriebenen Prozesse, die auf leicht verständlichem Niveau die Grundprinzipien und wesentlichen quantitativen Zusammenhänge von Prozessparametern erläutern. Zahlreiche Beispiele sollen die Phantasie des Lesers anregen und zu neuen Anwendungsideen verhelfen.

Inhalt

Einleitung, Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung an Grenzflächen, Absorption von Laserstrahlung, Energietransport und Wärmeleitung, Thermo-mechanik, Phasenumwandlungen, Schmelzbadströmung, Laserinduziertes Verdampfen, Plasmaphysik, Laserstrahlquellen, Oberflächentechnik, Umformen, Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Fügen, Abtragen und Bohren, Schneiden, Systemtechnik, Lasermesstechnik, Ergänzungen A: Optik, B: Kontinuumsmechanik, C: Laserinduziertes Verdampfen, D: Plasmaphysik, E: Bedeutung der verwendeten Symbole und Konstanten, F: Farbbildteil, Sachverzeichnis.

2005. XVII, 526 S. 353 Abb. (VDI-Buch)
ISBN 3-540-21406-2

Bestelladresse

Springer Kundenservice
Haberstraße 7
69126 Heidelberg
Telefon +49 6221 345-0
Fax +49 6221 345-4229
SDC-bookorder@springer-sbm.com
www.springer.de



Absender

Name, Vorname

Firma

Abteilung

Straße

PLZ/Ort

Telefon

Fax

E-mail

bitte faxen an:
Fraunhofer ILT
Stefanie Flock
Fax +49 241 8906-121

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.

☐ **Broschüre: »Partner der Innovatoren«**

- ☐ deutsch
☐ englisch

☐ **Broschüre: »Angebot und Ansprechpartner«** (deutsch/englisch)

☐ **Jahresbericht 2007**
 (englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)

☐ **Jahresbericht 2006**
 (englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)

☐ **Jahresbericht 2005**
 (englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)

☐ **Jahresbericht 2004**
 (englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)

☐ **Tagungsband** des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'06

☐ **Tagungsband** des Technologie Business Tages TBT'06

☐ **Tagungsband** des International Laser Technology Congress AKL'08

☐ **Fachprospekt »Hochleistungsdiodenlaser«**

☐ **Fachprospekt »Lasertechnik für die Oberflächenmodifikation und das Umformen«**

☐ **Fachprospekt »Lasertechnik für den Verschleiß- und Korrosionsschutz«**

☐ **Fachprospekt »Laserstrahlaufragschweißen«**

Fachprospekt »Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing«

- ☐ deutsch
☐ englisch

Fachprospekt »Laser in der Mikrostrukturierungstechnik«

- ☐ deutsch
☐ englisch

☐ **Fachprospekt »Abtragen, Reinigen und Markieren mit Laserstrahlung«**

☐ **Fachprospekt »Systeme und Anlagen für die Lasermaterialbearbeitung«**

☐ **Fachprospekt »Qualitätssicherung in der Lasermaterialbearbeitung«**

Fachprospekt »Laser in der Aufbau- und Verbindungstechnik«

- ☐ deutsch
☐ englisch

Fachprospekt »Laser in der Kunststoff- und Papierindustrie«

- ☐ deutsch
☐ englisch

Fachprospekt »Laser in Life Science«

- ☐ deutsch
☐ englisch

☐ **Fachprospekt »Modellierung und Simulation«**

☐ **Fachprospekt »Lasermikroskopie«**

☐ **Fachprospekt »Polieren mit Laserstrahlung«**

☐ **Fachprospekt »Wärmebehandlung mit Laserstrahlung«**

☐ **Fachprospekt »Materialanalyse und Prozesskontrolle mit Laserstrahlung«**

☐ **Fachprospekt »Design of Diode Laser Heat Sinks«** (englisch)

☐ **Fachprospekt »Customized Services for Diode Lasers«** (englisch)

☐ **Studieninfo »Optische Technologien an der RWTH Aachen«**

☐ **Informationsbroschüre »Kompetenznetze.de«** (deutsch/englisch)

☐ **Informationsbroschüre »European Laser Institute ELI«** (englisch)

☐ **CD-Rom »Lasertechnik«**

☐ **Fachbuch »Lasertechnik für die Fertigung«**

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, da chlor- und
säurefrei gebleichtem Papier gedruckt.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Axel Bauer
Telefon +49 241 8906-194
Fax +49 241 8906-121
axel.bauer@ilt.fraunhofer.de

Änderungen bei Spezifikationen und
anderen technischen Angaben bleiben
vorbehalten.

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck nur mit schriftlicher
Genehmigung der Redaktion.

© Fraunhofer-Institut
für Lasertechnik ILT, Aachen 2008

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

