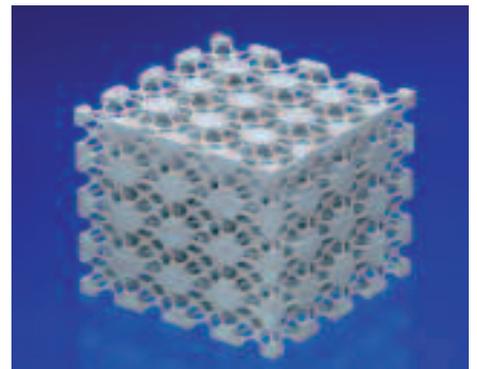




Fraunhofer Institut
Lasertechnik

Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2005



Jahresbericht
des Fraunhofer-Instituts
für Lasertechnik ILT
2005



Lasertechnik quo vadis? Neue Laserstrahlquellen erhöhen Effizienz und Effektivität. Innovative Laseranwendungen verändern Produktionsabläufe. Robotergeführte Lasersysteme erhöhen durch den Einsatz von Remote Techniken die Produktivität. Laserbearbeitungsverfahren leisten durch den zunehmenden Einsatz von online-Prozesssensorik einen effizienten Beitrag zur Qualitätssicherung. Die Materialbearbeitung mit Laserstrahlung kommt in eine nächste Dimension hinsichtlich Technik, Vielfalt und Bedeutung. Für manchen Anwender verändert sich die Laserwelt schneller als ihm recht ist. Einige sprechen gar von Verunsicherung. Schließlich müssen alle bei Investitionsentscheidungen mit mittelfristiger Ressourcenbindung auf das richtige Pferd setzen.

Es gibt absolut keinen Grund zur Beunruhigung. Die vielfältigen Entwicklungen sind schließlich das Ergebnis der kreativen Nutzung technisch-wissenschaftlicher Perspektiven und andererseits die konsequente Reaktion einer Branche auf die zunehmenden Anforderungen ihrer Kunden. Und diese verlangen halt noch präzisere, flexiblere und produktivere Lasersysteme. Durch die enge Verzahnung von Technologielieferanten und -abnehmern werden zunehmend in kürzester Zeit geeignete Lösungen für Produktionsaufgaben mit meist innovativen Komponenten entwickelt. Die dadurch entstehende Vielfalt von Laserstrahlquellen und peripheren Komponenten und -systemen ist eine logische Konsequenz. Dies entspricht letztendlich auch der Vielfalt und dem ständigen Wandel der zu fertigenden Produkte. Automobile, Handys und medizinische Implantate sind nur drei Beispiele hierzu. Die Auswahl der richtigen Lasersysteme verlangt aber von den Abnehmern eine intensivere Auseinandersetzung mit dem technologischen Angebot. Zwei Strategien bieten sich an: entweder holt sich das Unternehmen Laser-Know-how ins eigene Haus oder es läßt sich durch Systemlieferanten oder unabhängige Institutionen beraten.

Das Fraunhofer ILT nimmt die Herausforderungen des Marktes an und berät nicht nur Anwender in der Art des Einsatzes der Lasertechnik und der Auswahl geeigneter Systeme sondern entwickelt vielmehr eigene maßgeschneiderte Lösungen, die nicht kommerziell erhältlich sind. Die aktuellen FuE Ergebnisse beleuchten dies: effiziente kompakte SLAB Laser mit einem monolithischen optischen Aufbau, Einspritzlaser mit flexibel einstellbaren

Wellenlängen, Pulsfrequenzen und Pulsformen, kombinierte Laserbearbeitungsköpfe, die Schneiden und Schweißen ohne Werkzeugwechsel ermöglichen, kompakte Wendelbohr-optiken für das hochpräzise Bohren sowie innovative Polierverfahren zum automatisierten und selektiven Bearbeiten von Formen und Werkzeugen. Überzeugen Sie sich selbst in dem vorliegenden Jahresbericht über die erreichten Meilensteine einiger exemplarischer Entwicklungen des Fraunhofer ILT. Sie werden sehr schnell erkennen, dass auch in unserem Institut die enge Anbindung einerseits an die Laserhersteller und andererseits an die Laseranwender zu Innovationen führt, die sowohl dem Bedarf der produzierenden Industrie entgegen kommen als auch das große Potential der Laserentwicklung erschließen.

Insofern freuen wir uns über unseren Beitrag zur Vielfalt der Lasertechnik - nicht unseretwegen sondern um den unterschiedlichen Ansprüchen einer sich schnell ändernden Welt zu genügen und den Standort Deutschland in unserer Disziplin zu sichern und auszubauen. Vielleicht lassen sich auch in Ihrem Bereich innovative Impulse mit lasertechnischen Lösungen setzen. Wir freuen uns über Ihren Kontakt.

Ihr

Professor Reinhard Poprawe M.A.

Das Institut im Profil	6	Ausgewählte Forschungsergebnisse aus den Geschäftsfeldern des ILT	
Leitbild	7		
Geschäftsfelder	8	Laserstrahlquellen und Plasmasysteme	31 - 50
Gremien	10	Laserfertigungsverfahren	51 - 82
Ansprechpartner	11	Laseranlagen und Systemtechnik	83 - 96
Kernkompetenzen	12		
Dienstleistungsangebot	14	Lasermess- und Prüftechnik	97 - 110
Das Institut in Zahlen	16		
Kundenreferenzen	19	European Laser Institute ELI	111
Fraunhofer USA Center for Laser Technology CLT	20	Patente	112
Coopération Laser Franco-Allemande CLFA	22	Dissertationen	113
Fraunhofer-Verbund Oberflächen- technik und Photonik VOP	24	Diplomarbeiten	113
Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick	26	Wissenschaftliche Veröffentlichungen	114
Lasertechnik an der RWTH Aachen	28	Vorträge	116
PhotonAix e.V. - Kompetenznetz Optische Technologien	30	Messebeteiligungen	120
		Kongresse und Seminare	121
		Publikationen	124
		Fachbuch »Lasertechnik für die Fertigung«	127
		Filme und Multimedia-Software	128
		Informations-Service	130
		Impressum	131



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 Fachgebietes. 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 »Laserfertigerungsverfahren« löst Aufgabenstellungen zum Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen, Löten sowie zur Oberflächenbearbeitung und Mikrofertigung. Das Anwendungsspektrum reicht von der Makrobearbeitung über die Nanostrukturierung bis hin zur Biophotonik. Im Geschäftsfeld »Laseranlagen und Systemtechnik« werden Prototypanlagen entwickelt, konstruiert und vor Ort installiert. Prozessüberwachung und -regelung sind ebenso Bestandteil

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

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

Im Anwenderzentrum des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik arbeiten Gastfirmen in eigenen, abgetrennten Labors und Büroräumen. Grundlage für diese spezielle Form des Technologietransfers ist ein langfristiger Kooperationsvertrag mit dem Institut im Bereich der Forschung und Entwicklung. Der Mehrwert liegt in der Nutzung der technischen Infrastruktur und dem Informationsaustausch mit ILT-Experten. Rund 10 Firmen nutzen die Vorteile des Anwenderzentrums. Neben Tochterfirmen führender Laserhersteller und innovativer Laseranwender finden hier Neugründer 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 Partner 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 Engagement 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.

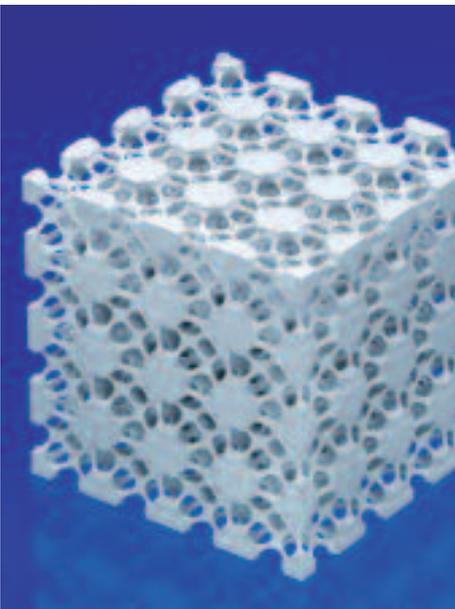
Position

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. Zu den herausragenden Projektergebnissen, die in enger Kooperation mit den Industrie-Partnern erfolgreich in die Praxis überführt worden sind, zählen u. a. der transversal diodengepumpte 5 kW-Festkörperlaser, die Innoslab-Laser sowie die Diodenlasermodule zum Fügen von Kunststoffbauteilen. Im Umfeld einiger Projekte werden seit über 10 Jahren Spinn-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 Geschäftsfeldes zählt weiterhin die Montage von Hochleistungs-Diodenlasern und insbesondere die Realisierung teilautomatisierter Montageanlagen. Im Bereich Plasmatechnik liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung von EUV-Strahlquellen für die Halbleiterlithographie. Die wesentlichen Zielmärkte des gesamten Geschäftsfeldes 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 Serienanlaufes. Die Stärke des Geschäftsfeldes 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 Geschäftsfeldes 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. Vor zwei Jahren wurde das Themenfeld Biophotonik aufgegriffen. Im Rahmen von Verbundprojekten wird Expertise im Bereich hochsensitiver Fluoreszenzdetektion für Proteinchips aufgebaut. 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 Topologie von strang- und bandförmigen Produkten, Geräte für die 1-D- bis 2-D-Vermessung von Stückgut sowie Elektronikkomponenten für Lasertriangulations- und Laserlichtschnittsensoren. 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

Carl Baasel Lasertechnik GmbH
Vorsitzender

Dr. V. Auerbach

Rofin Sinar Laser GmbH

M. Benzinger

Trumpf Lasertechnik GmbH

Dr. R.G. Gossink

Philips Forschungslabor GmbH

H.-J. Haepf

DaimlerChrysler AG

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

Prof. Dr. G. Müller

Institut für Medizinische Physik und Lasermedizin, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Campus Benjamin Franklin

Dr. R. Müller

Osram Opto Semiconductors GmbH & Co. OHG

Prof. R. Salathé

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

MinR Wilfried Kraus

Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF

Dr. F. Speier

Ministerium für Wissenschaft und Forschung des Landes NRW

Die 21. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 21. September 2005 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: Vasvija Alagic (ab Nov. 05), Dipl.-Phys. A. Bauer, Dr. K. Boucke, Dr. A. Gillner, Dr. J. Gottmann, B.-O. Großmann (bis Nov. 05), Dipl.-Ing. H. D. Hoffmann, Dr. S. Kaierle, 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: C. Bongard, M. Brankers, B.-O. Großmann, Dr. E.-W. Kreutz, A. Lennertz, Dr. W. Neff, E. Neuroth, B. Theisen, K.-H. Ulfig, Dipl.-Ing. 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

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Der Lehrstuhl für Lasertechnik LLT ist überwiegend in den Räumen des Fraunhofer ILT untergebracht. Dies ermöglicht eine enge wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen Fraunhofer ILT und dem Lehrstuhl für Lasertechnik, welche durch einen Kooperationsvertrag geregelt ist. Leiter des Lehrstuhls für Lasertechnik ist Prof. Dr. rer. nat. R. Poprawe. M. A. Akademischer Direktor ist Dr. E.W. Kreutz.

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, M. Brankers, M. Janßen, Dipl.-Phys. G. Otto, J. Petereit (ab Sept. 05), I. Stein (bis Sept. 05), B. Theisen (Vorsitz), F. Voigt, Dr. A. Weisheit, Dipl.-Ing. N. Wolf.



Prof. Dr. Reinhart Poprawe (-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



Vasvija Alagic (-181)
Verwaltung und Infrastruktur



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



Dr. Arnold Gillner (-148)
Abt. Mikrotechnik



Dr. Bruno Weikl (-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
- Konfektionierung von Diodenlasern
- Elektro-optische Charakterisierung von Diodenlasern
- Theoretische Modellierung neuer Diodenlaserstrukturen
- Mikromontageprozesse
- Automatisierung von Mikromontageprozessen

Festkörper- und Diodenlaser

Dipl.-Ing. Dieter Hoffmann

- Entwicklung von Festkörper- und Diodenlasern
- Entwicklung von Faserlasern
- Verfahren und Komponenten zur Frequenzkonversion
- Formung von Diodenlaserstrahlen
- Entwicklung von Diodenlasermodulen und -systemen
- Design und Charakterisierung von mikrooptischen Komponenten
- Entwicklung von Komponenten für Festkörper- und Diodenlaser

Lasermess- und Prüftechnik

Dr. Reinhard Noll

- 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
- Messung von Abständen, Profilen und Formen mit Laser-Triangulation
- Oberflächeninspektion
- Echtzeitdatenverarbeitung und Automation
- In-vivo-Diagnostik zur online Überwachung minimal invasiver chirurgischer Eingriffe

Plasmatechnologie

Dr. Willi Neff

- Anregungssysteme für die Plasmatechnik
- Nieder- und Hochdruckplasmen für Reinigungsverfahren und Sterilisation
- Plasmabasierte EUV- und Röntgenquellen sowie Röntgentechnik
- Kurzzeitmesstechnik
- Photo- und Plasmachemie

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

- Umwandlungshärten, Umschmelzen, Beschichten, Legieren und Dispergieren zur Herstellung beanspruchungsgerechter Funktionsschichten
- Entwicklung von Pulverzufuhrsystemen
- Wärmebehandlung von beschichteten und unbeschichteten Oberflächen
- Reinigung und Modifikation von Oberflächen wie Entgraten, Aktivieren und Strukturieren
- Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing zur Herstellung metallischer Bauteile und Werkzeuge
- Polieren von Metallen und Glas

Mikrotechnik

Dr. Arnold Gillner

- Laserstrahlmikrolöten und -mikroschweißen
- Lasergestütztes Biegen und Justieren
- Feinschneiden und Bohren von Metallen, Keramiken, Halbleitern und Diamanten
- Mikrostrukturierung mit Excimer- und Nd:YAG-Lasern
- Mikrostanz- und -prägetechnik
- Markieren und Beschriften
- Schneiden und Perforieren von Papier, Kunststoffen und Verbundwerkstoffen
- Schweißen von Thermoplasten und thermoplastischen Elastomeren
- Mikrowerkzeugtechnik
- Lasermedizin
- Laseranwendungen für die Biotechnologie
- Biophotonik
- Photochemische Prozesse

Modellierung und Simulation

Prof. Dr. W. Schulz

- Design von Hohlkathoden zur Erzeugung von EUV-Strahlung
- Auslegung von Resonatoren für Gas-, Festkörper- und Hochleistungsdiodenlaser
- Optimierung der Strahlführung in optischen Systemen
- Analyse des Strahlungstransports in Prozessgasen während der Bearbeitung
- Analyse von Unter- und Überschallströmungen von Arbeits- und Prozessgasen
- Analyse von Schmelzströmung, Wärmetransport, Schmelzen und Verdampfen
- Dynamische Modelle zum Abtragen, Schneiden, Schweißen und Bohren
- Algorithmen zur Auswertung von Messdaten
- Programmierung graphischer Benutzeroberflächen zur Simulation der Modelle und Visualisierung von Messdaten mit kommerziellen Graphikservern wie OpenGL®
- Numerische Methoden und Berechnungsverfahren, wie z. B. Cluster-In-Cell Verfahren (CIC), adaptive Vernetzung in bewegten Gebieten (Hierarchische Basen), Finite Elemente und Finite Volumen Methoden auf zeitlich veränderlichen Gebieten (Level-Set Methode)
- Prozessüberwachung mit räumlich und zeitlich höchstauflösenden, kommerziellen CCD- und CMOS-Kamerasystemen
- Steuerung und Regelung von Fertigungsprozessen

Systemtechnik

Dr. Stefan Kaierle

- Pilotanlagen
- Integration von Lasertechnik in Fertigungseinrichtungen
- Entwicklung von Sensoren und Regelungssystemen (z. B. Nahtfolge, Abstandsmessung und -regelung, Multisensorik und Vernetzung)
- Prozessüberwachung und Qualitätssicherung für das Schweißen, Schneiden, Auftragschweißen und Bohren
- CAD/CAM-unterstützte Laserbearbeitung
- Machbarkeitsstudien
- Verfahrenserprobung
- Nullserien-Applikation
- Anlagenkonzeptionierung
- Steuerungstechnik für Laseranlagen
- 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
- Faserlaser bis 4 kW
- Diodenlasersysteme bis 3 kW
- SLAB-Laser
- Excimerlaser
- Ultrakurzpuls laser
- Breitbandig abstimmbare Laser
- Fünfsichtige Portalanlagen
- Dreiachsige Bearbeitungsstationen
- Strahlführungssysteme
- Robotersysteme

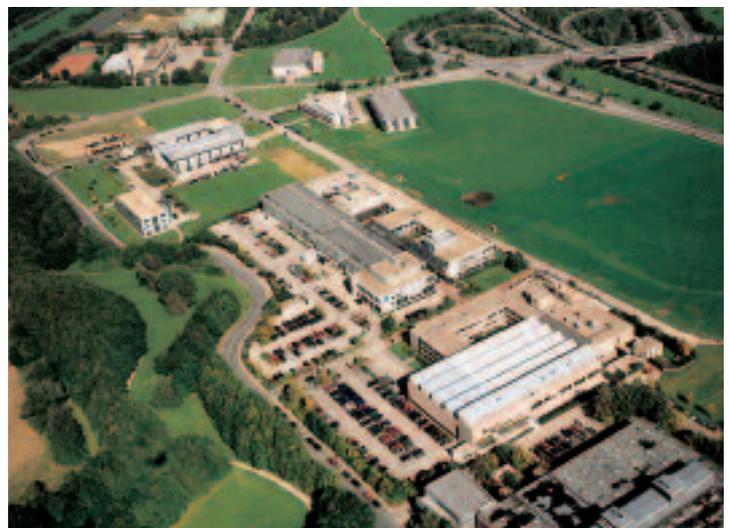
- Sensoren zur Prozessüberwachung für die Lasermaterialbearbeitung
- Direct-writing- und Laser-PVD-Stationen
- Reinräume zur Montage von Diodenlasern, Diodenlasersystemen und diodengepumpten Festkörperlasern
- Life Science Labor mit S1 und S2 Klassifizierung
- Geräte zur Verfahrens- und Prozessdiagnostik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

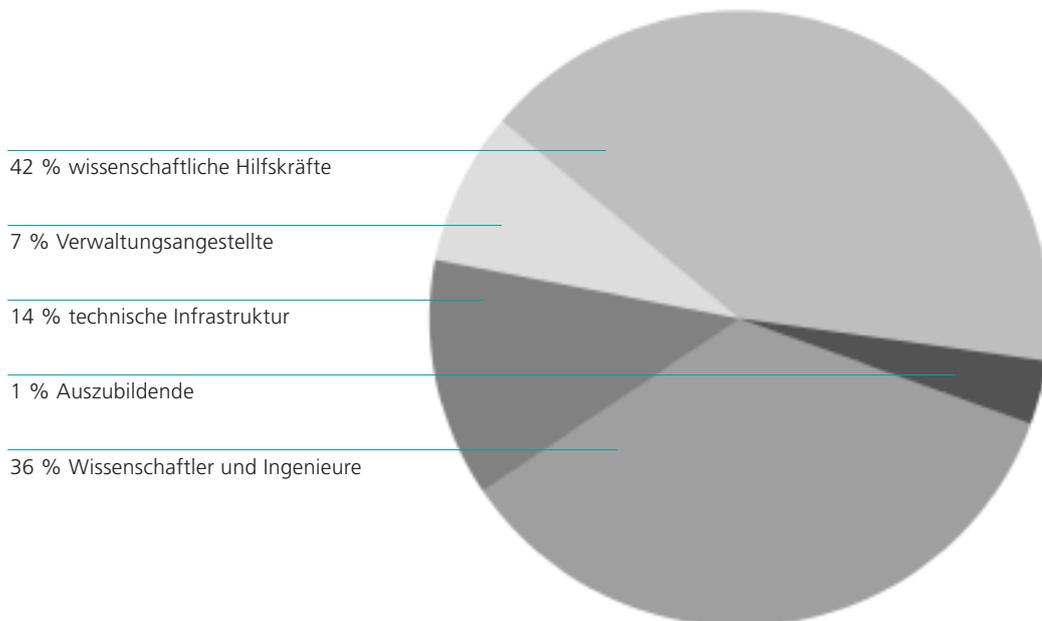
© AVIA-Luftbild, Aachen
Dipl.-Ing. Martin Jochum



Mitarbeiter

Mitarbeiter am Fraunhofer ILT 2005	Anzahl
Stammpersonal	147
- Wissenschaftler und Ingenieure	90
- Mitarbeiter der technischen Infrastruktur	38
- Verwaltungsangestellte	19
Weitere Mitarbeiter	118
- wissenschaftliche Hilfskräfte	110
- externe Mitarbeiter	6
- Auszubildende	2
Mitarbeiter am Fraunhofer ILT, gesamt	265

- 11 Mitarbeiter haben ihre Promotion abgeschlossen
- 15 Studenten haben ihre Diplomarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt

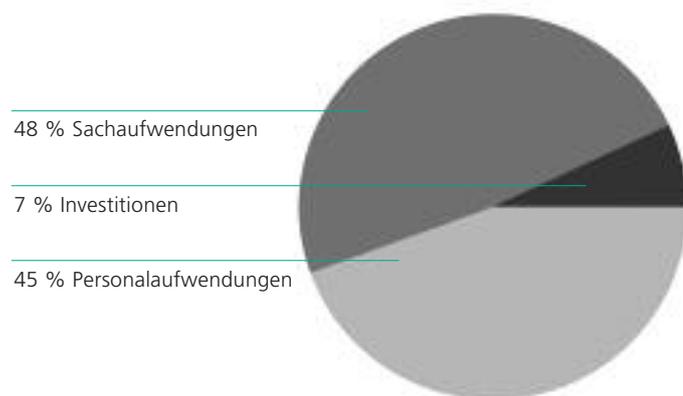


Aufwendungen und Erträge

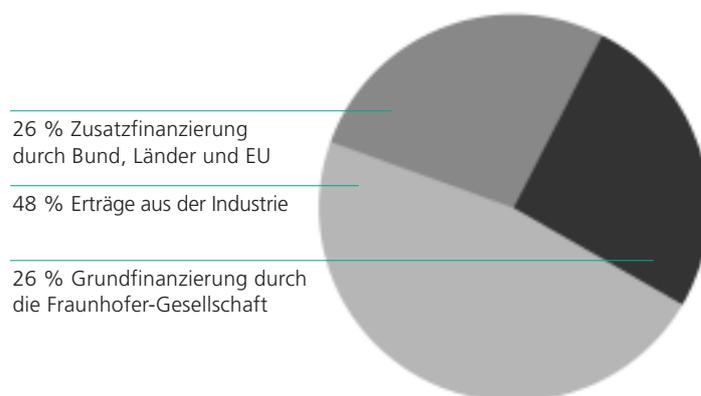
Aufwendungen 2005	Mio EUR
Betriebshaushalt	18,6
- Personalaufwendungen	8,9
- Sachaufwendungen	9,7
Investitionen	1,4

Erträge Betriebshaushalt 2005	Mio EUR
- Erträge aus der Industrie	9,0
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	4,8
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	4,8
Erträge, gesamt	18,6
- davon entfallen auf Auslandsprojekte	3,6

Gesamtaufwendungen 2005 (100 %)

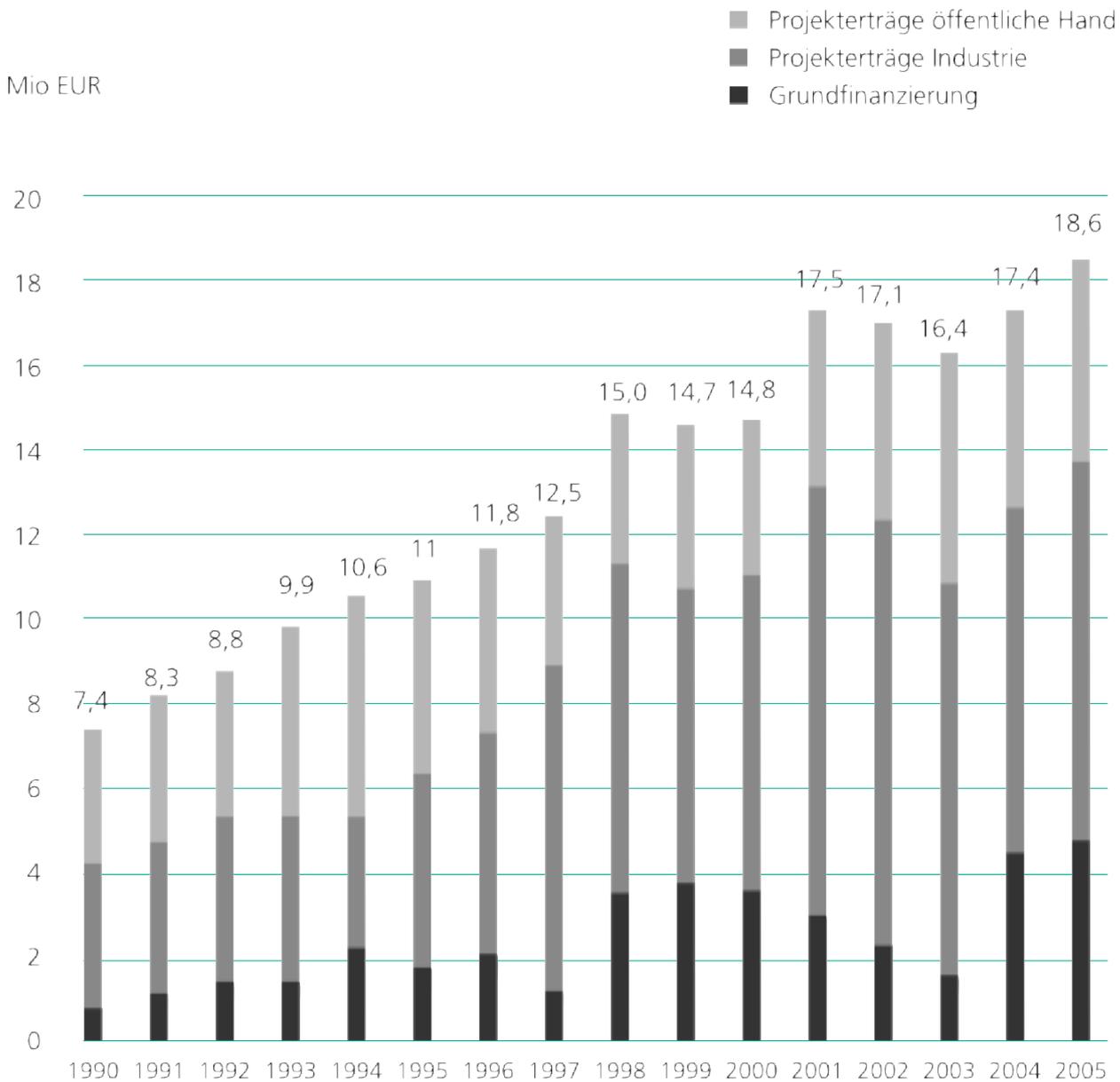


Betriebshaushalt 2005 (100 %)



Betriebshaushalt

Die Graphik verdeutlicht die Entwicklung des Betriebshaushaltes in den letzten 16 Jahren.



Kundenreferenzen

**ABB ALSTOM
POWER**

AIXUV
EUV-Technology

Bartels mikrotechnik

BRAUN



BOSCH

DILLINGER HÜTTE

DILAS



FEV



HEIDT & CO. LASERTECHNIK

Heraeus

Huf Tools



INOVAN



LAMBDA PHYSIK

LASAG
INDUSTRIAL LASERS

LEYER & KIWUS
LASERTECHNIK + LASERTECHNIK



MARQUARDT

MicroLaserTec GmbH

MESSER
Igni Stegmann

Mubea
ENGINEERING FOR MOBILITY

MULTEK

NAU



PHILIPS



PROMETEC

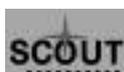
Radium
Die Lichtmarke

Raufoss

rofin
BAASEL LASERTECH

rofin
ROFIN-SINAR LASER

Rolls-Royce



Siemens Automotive

Techspace Aero
SPRINT Group



Valeo
SUEZPNEU

VYCON
Solutions for Medical Products

WILDEN

Zinser

ZUMTOBEL STAFF
DAS LICHT

Stand März 2006
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 durch schnelleres Erkennen von Trends im Bereich der Laser- und Fertigungstechnik
- Beschleunigte Nutzung von FuE- und Arbeitsmethoden, in denen die USA führend sind
- Know-how Zuwachs durch enge Kooperation mit der Wayne State University und der University of Michigan.
- Stärkung der Position am FuE-Markt
- Steigerung der Industrieerträge aus den USA
- Steigerung der Motivation und der Qualifikation der Mitarbeiter

Die zentrale Philosophie von Fraunhofer USA ist der Aufbau eines deutsch-amerikanischen Joint-Ventures, bei dem Nehmen und Geben im Einklang zueinander 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 konzentriert sich auf die:

- Nutzung von Kompetenzen der Fraunhofer-Institute für amerikanische Unternehmen
- Nutzung der Erfahrung bei der Einführung neuer Technologien
- Verbindungen zwischen Industrie und Hochschule
- Praxisnahe Ausbildung von Studenten, Diplomanden und Doktoranden

In Zusammenarbeit mit der University of Michigan werden am Fraunhofer CLT Faserlaser entwickelt. Die Grundlagen und neuen Konzepte entstehen an der Universität. Fraunhofer übernimmt die Entwicklung geeigneter Pumpquellen sowie die Systemintegration und den Prototypenbau. Beugungsbegrenzte Strahlung, flexible Pulscharakteristik und monolithischer Aufbau stehen im Fokus der Entwicklung.

In Zusammenarbeit mit der Wayne State University werden langzeitstabile Implantate zur Neurostimulation des menschlichen Gehirns entwickelt. Weiterhin ist das CLT Träger der Organisation »Laserspot«, die 2000 gegründet wurde und zur Zeit mehr als 20 Mitglieder zählt. Ziel von Laserspot ist es, den Nutzen der Lasertechnik in der industriellen Anwendung in unterschiedlichen Branchen zu fördern.

Zur raschen Kommerzialisierung der Forschungsergebnisse und zur gemeinsamen Bearbeitung von Forschungsprojekten wurde 2001 die Firma Visotek aus dem CLT ausgegründet. Visotek fertigt intelligente Laserwerkzeuge und betreibt Lohnfertigung für die Automobilindustrie. Fasergekoppelte Diodenlasersysteme mit Kilowatt Ausgangsleistung wurden erfolgreich aus der Entwicklung in den Markt transferiert. Eine weitere gemeinsame Entwicklung ist eine Spezialoptik, die ein schnelles 2-dimensionales Scannen mit Autofokus für Laser mit Leistungen bis

15 kW ermöglicht. Die Optik wurde erfolgreich im Schiffsbau zum Schweißen dicker Bleche mit variabler Schweißnahtbreite und im Automobilbau zum robotergeführten Remote-Schweißen eingesetzt. 250 Schweisspunkte pro Minute werden mit 6 kW Laserleistung erzielt.

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 2005*

	Mio. US\$
Betriebshaushalt	2,4
- Personalaufwendungen	0,9
- Sachaufwendungen	1,5

*Nachkalkulation ist noch nicht erfolgt

Ihr Ansprechpartner



Dr. Stefan Heinemann
Direktor

46025 Port Street
Plymouth
Michigan 48170
USA

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

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



Coopération Laser
Franco-Allemande
Deutsch-Französisches
Laserzentrum



Kurzportrait

In der 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, das Institut de Soudure, das Institut Universitaire de Technologie du Creusot, l'École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques ENSMM in Besançon 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 Forschungsraumes 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

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 das CLFA über eine eigene Infrastruktur im Centre des Matériaux Pierre-Marie Fourt der Ecole des Mines de Paris in Evry im Süden von Paris. Hierbei besteht insbesondere auch Zugriff auf die Infrastruktur zur Materialanalyse des Institutes. Kunden- und projektorientiert kann auch die Infrastruktur der anderen französischen Partner mit genutzt werden.

Standorte

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

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

Ihr Ansprechpartner



Dr. Wolfgang Knapp
Direktor

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

Telefon: +33 1 / 4051 -9476
Fax: +33 1 / 4051 -0094

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**

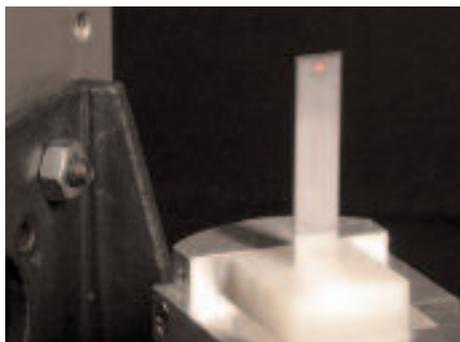
Das Fraunhofer IPM entwickelt optische Systeme für die Spektroskopie und Laserbelichtungstechnik. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Verwirklichung hochdynamischer Systeme. Neben der schnellen Laseransteuerung sind dafür besondere Kompetenzen bei der Signalverarbeitung gefragt. So wurden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

Serviceleistungen	FEP	IPM	ILT	IPK	IPZ	IPV
Schicht- und Oberflächenspektroskopie	●	●	●	●	●	●
Optiksysteme	●	●	●	●	●	●
Ätzen von Mikrostrukturen	●	●	●	●	●	●
Laserschnitt	●	●	●	●	●	●
Coater/Ätzer	●	●	●	●	●	●

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST bündelt als industrienahe 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

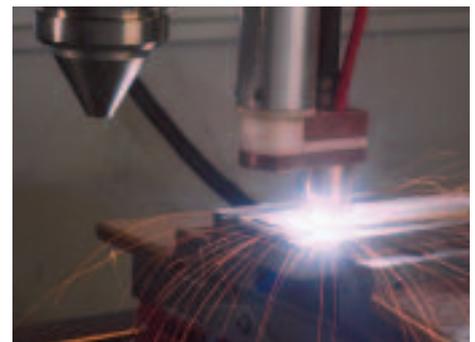
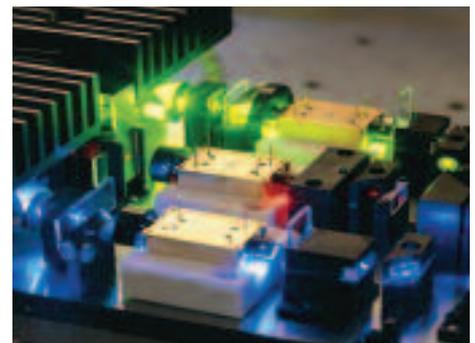
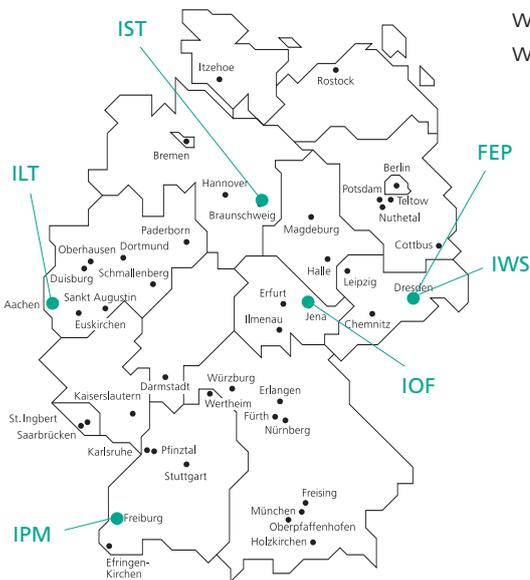
Das Fraunhofer IWS forscht auf den Gebieten der Lasertechnik (z. B. Laserschweißen, Laserschneiden, Laserhärten), der Oberflächentechnik (z. B. Auftragschweißen), der Mikrobearbeitung sowie der Dünnschicht- und Nanotechnologie. Die in die Forschung und Entwicklung integrierte Werkstoffprüfung und -charakterisierung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

Kontakt und Koordination

Sprecher des Verbundes
Prof. Dr. Eckhard Beyer

Koordination
Udo Klotzbach
Telefon: +49 (0)351/2583252
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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum direkten Nutzen für Unternehmen und zum Vorteil der Gesellschaft.

Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Mit technologie- und systemorientierten Innovationen für ihre Kunden tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Dabei zielen sie auf eine wirtschaftlich erfolgreiche, sozial gerechte und umweltverträgliche Entwicklung der Gesellschaft.

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.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 58 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über 1 Milliarde Euro. Davon fallen mehr als 900 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten.

Ein Drittel wird von Bund und Ländern beigesteuert, auch um damit den Instituten die Möglichkeit zu geben, Problemlösungen vorzubereiten, die 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.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

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

Die Forschungsgebiete

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

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

Die Zielgruppen

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

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

Das Leistungsangebot

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

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

Die Vorteile der Vertragsforschung

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

Die Standorte der Forschungseinrichtungen



Gemeinsam Zukunft gestalten

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

Dies kommt insbesondere dem wissenschaftlichen und technischen Nachwuchs zu Gute. Die Kenntnisse 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 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 Mikro-, Dünnschicht-, Oberflächen- und Röntgentechnik sowie in der integrierten Optik tätig. Bei der Mikrostrukturierung durch Abtragen und Modifizieren von Materialien werden Laserstrahlquellen mit kurzen Pulsdauern von 10-13 bis 10-3 Sekunden eingesetzt. Anwendungen finden sich beispielsweise bei Bohrungen in Metallen für die Luft- und Raumfahrttechnik und der Bearbeitung von Glas durch Brechungsindexänderung.

Durch Pulsed Laser Deposition werden dünne Schichten für Verschleißschutz, Elektronik, integrierte Optik und Medizintechnik hergestellt. Durch die Beschichtung mit Laserstrahlung können komplexe mehrkomponentige Materialien mit kontrollierten Schichtstrukturen realisiert werden.

Das Laserstrahl-Auftragschweißen wird für den Verschleiß- und Korrosionsschutz, das Instandsetzen und das Herstellen von 3D-Bauteilen eingesetzt. Abnehmer sind insbesondere der Maschinen-, der Werkzeug-, der Triebwerks- und der Motorenbau.

Kontakt

Prof. Dr. Reinhart Poprawe M. A.
Telefon: +49 (0)241/8906-109
Fax: +49 (0)241/8906-121
reinhart.poprawe@ilt.fraunhofer.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
Telefon: + 49 (0)241/8906-162
Fax: +49 (0)241/8906-121
peter.loosen@ilt.fraunhofer.de

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

Das 2005 gegründete Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD ergänzt die systemorientierten FuE-Tätigkeiten der beiden Lehrstühle LLT und TOS.

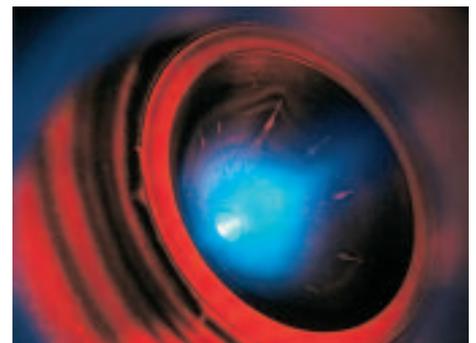
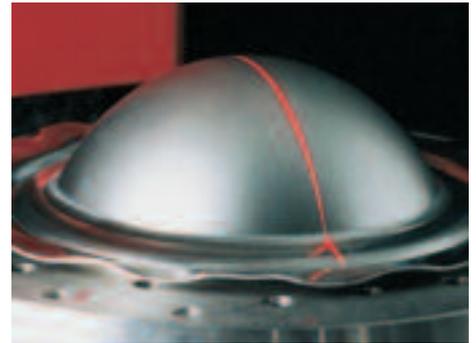
Ziel der nichtlinearen Dynamik ist es, technische Systeme mit mathematisch-physikalischen und experimentellen Methoden zu untersuchen und diese Ergebnisse für die industrielle Fertigung und die Lehre anwendbar zu machen.

Durch Lösung kontinuumphyikalischer Begrenzungs-gleichungen können beispielsweise Strömungen in Prozessgasen und Schmelzen mit Grenzschichtcharakter analysiert werden. Auch die Diagnose von Wärmestrahlung beim Schweißen wird erst durch Simulation und Modellierung ermöglicht.

Der Einsatz mathematischer Modelle erlaubt nicht nur das Verständnis dynamischer Prozesse, sondern führt vielmehr zu neuen Konzepten der Verfahrensführung. Die enge Kooperation mit dem Fraunhofer ILT erlaubt die direkte Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in Aufgabenstellungen der industriellen Lasermaterialbearbeitung. So werden beispielsweise online Überwachungssysteme systematisch ausgebaut und an den Bedarf der Praxis angepasst.

Kontakt

Univ.-Prof. Dr. habil. Wolfgang Schulz
Telefon: +49 (0)241/8906-204
Fax: +49 (0)241/8906-121
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de





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 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 Kompetenznetze die vollständige Bandbreite der Optischen Technologien »made in Germany«. Die Hauptaktivitäten und Dienstleistungsangebote der Netze 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.



Prof. R. Poprawe erläutert
Innovationsminister Prof. A. Pinkwart
neue Laserstrahlquellen.

Highlights 2005

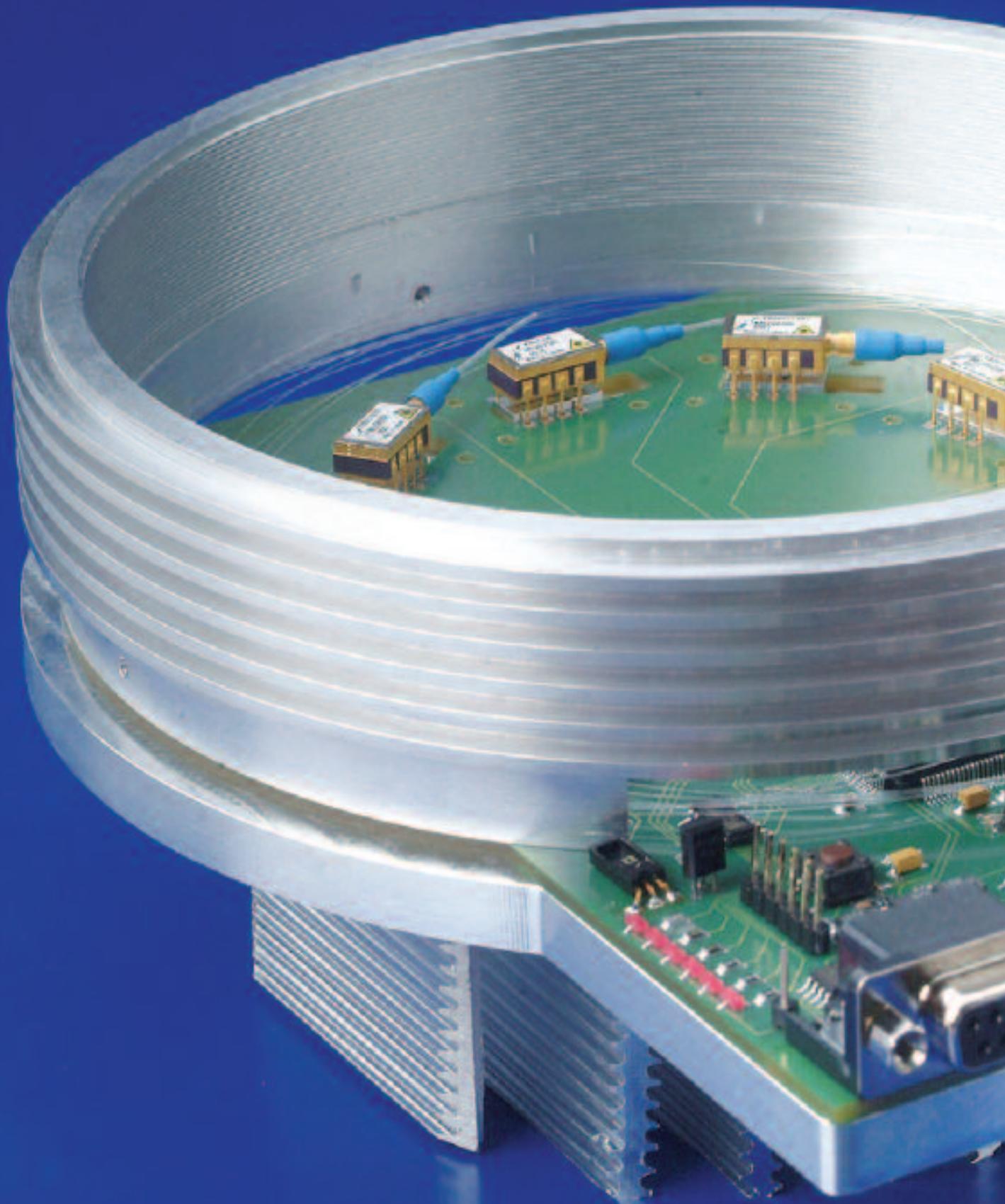
Neben den Gemeinschaftsständen der Kompetenznetze Optische Technologien auf der Photonics West 2005 in San Jose, USA und der Laser 2005 in München war im vergangenen Jahr der Antrittsbesuch von NRW Innovationsminister Prof. Dr. Pinkwart ein besonderes Highlight. Professor Dr. Andreas Pinkwart, Minister für Innovation, Wissenschaft, Forschung und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen, besuchte am 02. November 2005 die Technologieregion Aachen. Die RWTH Aachen und das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT standen im Mittelpunkt des Interesses des Ministers. Im Fraunhofer ILT stellte Professor Poprawe, Vorstandsvorsitzender des PhotonAix e.V., dem Minister aktuelle Strahlquellen zur Erzeugung von extrem ultraviolettem Licht (EUV) und innovative Slablaser zur Materialbearbeitung vor. Insbesondere die schnelle Verwertung der Forschungsergebnisse durch die beiden Fraunhofer Spin-offs Philips Extreme UV GmbH und EdgeWave GmbH stieß auf große Resonanz.

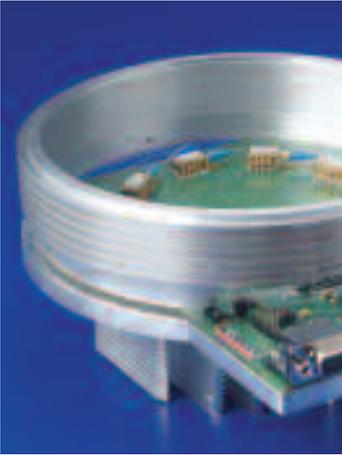
Kontakt

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

Telefon: +49 (0) 241/8906-352
Fax: +49 (0) 241/8906-121
hinke@photonaix.de
www.photonaix.de

Laserstrahlquellen und Plasmasysteme





Faserlaser mit integrierter Steuerungselektronik.

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. Zu den herausragenden Projektergebnissen, die in enger Kooperation mit den Industrie-Partnern erfolgreich in die Praxis überführt worden sind, zählen u. a. der transversal diodengepumpte 5 kW-Festkörperlaser, die INNOSLAB-Laser sowie die Diodenlasermodule zum Fügen von Kunststoffbauteilen. Im Umfeld einiger Projekte werden seit über 10 Jahren Spinn-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 Geschäftsfeldes zählt weiterhin die Montage von Hochleistungs-Diodenlasern und insbesondere die Realisierung teilautomatisierter

Montageanlagen. Im Bereich Plasmatechnik liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung von EUV-Strahlquellen für die Halbleiterlithographie. Die wesentlichen Zielmärkte des gesamten Geschäftsfeldes sind die Lasermaterialbearbeitung, die Medizintechnik, die Messtechnik sowie der Komponentenmarkt für die Informations- und Kommunikationstechnik.



Ausdehnungsangepasste Mikrokanal-Wärmesenke	34	Aktive Strahlage-Stabilisierung von Hochleistungslasern	44
Diomount - Automatisierte Montageanlage für Hochleistungsdiodenlaser	35	Optische Entkopplung unpolarisierter Laserstrahlung hoher mittlerer Leistung	45
OEM Pulsnetzteil für Burn-In Anwendungen	36	Wellenoptische Simulation optischer Systeme	46
Modulares Burn-In System für Pulsbetrieb	37	Bildgebung mit ultrakurz gepulster Röntgenstrahlung	47
Dichtes Wellenlängenmultiplexing für Hochleistungsdiodenlaser	38	Absolut kalibrierte EUV-Diagnostik zur räumlich aufgelösten Messung der In-Band Intensität	48
Faserintegrierter Mikrolaser	39	Extrem-Ultraviolett-Reflektometer zur Charakterisierung von Optiken im streifenden Einfall	49
Miniaturisierter Slablaser in Hybrid-Technik	40	Simulation der laserinduzierten Vakuumentladung	50
Erzeugung von ns-Single- Frequency-Laserpulsen bei 532 nm für LIDAR-Messanwendungen	41		
Erzeugung von sub-ns Laserpulsen einstellbarer Pulsdauer für die Mikromaterialbearbeitung	42		
UV-Festkörperlaser hoher mittlerer Leistung	43		

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.

Aufgabenstellung

Die Lebensdauer von Diodenlasern, die durch herkömmliche Kupferwärmesenken gekühlt werden, ist begrenzt. Alterungserscheinungen des Indiumlots sowie hohe, während des Fügeprozesses induzierte mechanische Spannungen sind hierfür mit verantwortlich. Ursache hierfür sind die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten von Wärmesenke und Laserbarren. Eine Angleichung führt zu einer deutlichen Steigerung der Lebensdauer.

Vorgehensweise

Eine Möglichkeit zur Anpassung des Ausdehnungskoeffizienten ist die Kombination von Kupfer- und Molybdän-Schichten in einer Sandwichbauweise. Hierbei werden die gute Bearbeitbarkeit und die guten thermischen Eigenschaften von Kupfer mit der geringen thermischen Ausdehnung von Molybdän kombiniert. Durch Variation der einzelnen Schichtdicken kann das thermische Ausdehnungsverhalten an den Laserbarren angepasst werden. Diese sind im Vorfeld durch thermische Simulation berechnet worden.

In Zusammenarbeit mit tecnisco Ltd. (Japan) wurde am Fraunhofer ILT eine aktive Wärmesenke für Hochleistungsdiodenlaser in der Kupfer-Molybdän Sandwichbauweise entwickelt. Die Wärmesenke ist bei Abmessungen von $26,5 \times 11,5 \times 1,5 \text{ mm}^3$ für eine Verlustleistung von bis zu 80 W ausgelegt. Rechnerisch wird ein thermischer Ausdehnungskoeffizient von 7,9 ppm/K erreicht. Dabei führen die symmetrische

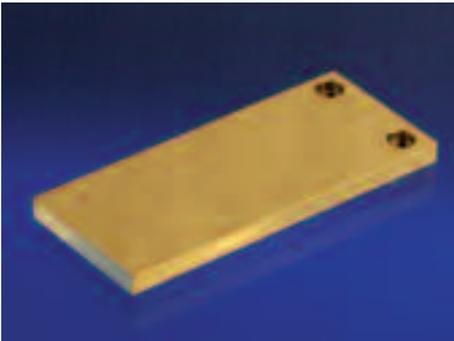
Anordnung, Material und Schichtdicke zu einer deutlichen Reduzierung des Bimetalleffektes. Zusätzliche Strömungsberechnungen während der Konstruktion der Mikrokanäle wurden genutzt, um kritische Bereiche wie Totwassergebiete oder Staupunkte aufzuzeigen und zu optimieren.

Ergebnisse und Anwendungen

Die fertig gestellten Wärmesenken bestätigen die Ergebnisse der Berechnungen im Vorfeld. Der thermische Widerstand liegt unter 0,5 K/W für einen 10 mm breiten Laserbarren mit einer Resonatorlänge von 1,2 mm und einem Füllfaktor von 50 %, gemessen bei einem Druckverlust von 1,3 bar und einem Durchfluss von 0,5 l/min. Der erzielte thermische Ausdehnungskoeffizient liegt bei 7,8 ppm/K. Die Deformation der Montagefläche liegt unter 1 μm bei einer anzunehmenden Löttemperatur eines Gold-Zinn Lotes von 300 °C. Montierte Hochleistungsdiodenlaserbarren zeigen im Dauertest über 4000 h bisher keine Degradation in der optischen Leistung, auch das Strömungsverhalten weist keine Veränderungen auf.

Ansprechpartner

Dipl.-Dipl.-Ing. M. Leers, Tel.: -343
michael.leers@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fraunhofer.de



Oben: Ausdehnungsangepasste Mikrokanal-Wärmesenke.
Unten: Schliff durch den Kupfer und Molybdän Schichtaufbau.



Aufgabenstellung

Die Montage von Hochleistungsdiodenlasern auf passiven oder aktiven Wärmesenken mittels Reflow-Löten erfordert eine hochpräzise Mess- und Handhabungstechnik. Die Gefügestände und Eigenspannungen der Lotschicht werden maßgeblich durch den Montageprozess beeinflusst. Für den Überstand des Laserbarrens über die Vorderkante der Wärmesenke sind Toleranzen im μm -Bereich einzuhalten, um eine thermische Schädigung des Diodenlasers im Betrieb zu vermeiden und somit eine hohe Lebensdauer zu erhalten.

Vorgehensweise

Eingebettet in den Grundaufbau mit integrierter Steuer- und Kontrolleinheit ist ein luftgedämpftes 8-Achsensystem auf Granitbasis. Die Aufnahme der Laserbarren erfolgt mit einem Vakuumgreifer einzeln von einer speziellen Ablagefläche oder direkt aus dem Gel-Pak®. Der Reflow Lötofen erreicht max. 350°C mit einer Heizrate größer 20 K/s und ist für alle gängigen Wärmesenkentypen geeignet. Der Lötprozess findet unter Atmosphärendruck statt, Zuführungen für Schutz- und Reaktivgas sind integriert. Ein vor dem Lötöfen angeordneter optischer Abstandsensor vermisst die relative Lage von Laserbarren und Wärmesenke zueinander. Anschließend erfolgt über einen speziellen Algorithmus die Feinpositionierung des Laserbarrens relativ zur Wärmesenke.

Ergebnisse und Anwendungen

Unter Verwendung eines Indium Lötprozesses werden erfolgreich CW Laserbarren verlötet. Dabei werden folgende Positioniergenauigkeiten erzielt:

- Überstand der Facette: $5\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$
- Verdrehung des Laserbarrens über die gesamte Breite $< 2\ \mu\text{m}$
- Smile $< 1\ \mu\text{m}$

Anschließend können mit der gleichen Anlage unter Verwendung von Indium/Zinn n-Kontaktbleche zur Vervollständigung des Packages verlötet werden.

In Zusammenarbeit mit der ficonTec GmbH sind individuelle, erweiterte Ausführungen des Diomount Systems realisierbar. Funktionen wie Tray-Management, Barreninspektion und die Anbindung an eine Datenbank können integriert werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. N. Böning, Tel.: -173
norbert.boenig@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fraunhofer.de

Ansicht der Diomount Anlage, zwischen dem PC-Arbeitsplatz links und dem Steuerschrank rechts befindet sich das Achsensystem mit Lötöfen und optischem Sensor.



Aufgabenstellung

Es soll ein Burn-In Modul entwickelt werden, dessen Stromquelle neben cw-Betrieb auch über einen variablen Pulsmodus verfügt.

Die Lastaufnahme muss an unterschiedliche Diodengeometrien adaptierbar sein. Alle sicherheitsrelevanten Funktionen sollen intern überwacht und Messsignale zur späteren Darstellung aufbereitet werden.

Vorgehensweise

Eine kompakte pneumatisch betätigte Lastaufnahme wird in kurzem Abstand an ein Pulsnetzteil angeschlossen. Dabei beträgt die Leitungslänge zwischen den elektrischen Anschlüssen des Diodenlasers und der Stromquelle nur wenige cm und gewährleistet somit eine geringe Induktivität der Anordnung zur Übertragung kurzer Pulse. Die Stromquelle besteht im Wesentlichen aus einem Leistungs- sowie einem Steuerteil. Der Leistungsteil erzeugt den gewünschten Laserstrom, kontinuierlich oder gepulst. Dazu benötigt er eine 300 V Gleichspannungsvorsorgung. Eine separate 24 VDC Spannungsquelle versorgt den Steuerteil. Er überwacht die für den Burn-In Prozess erforderlichen Messparameter sowie sämtliche Sicherheitsfunktionen und regelt den Diodenlaserstrom. Die Lastaufnahme wird von der Frontseite des Gerätes aus bedient. Hier befindet sich zu Wartungszwecken ein Service-Port mit RS232-Schnittstelle.

Alle Anschlüsse für Versorgungsmedien und Datenleitungen befinden sich auf der Rückseite des Gerätes.

Das Modul ist für den Einbau in einen Schaltschrank vorgesehen und wird über einen CAN-Bus gesteuert. Mit Hilfe eines Monitorprogramms kann es jedoch auch im Laborbetrieb eingesetzt werden. Hierbei sind die einschlägigen Sicherheitsvorschriften zu beachten. Das Modul enthält keine zu wartenden Baugruppen.

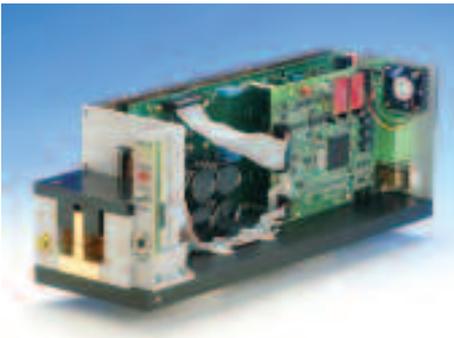
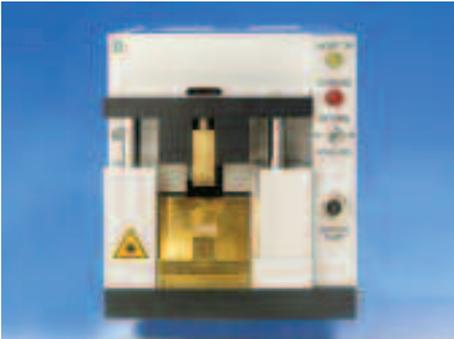
Ergebnisse und Anwendungen

Das Burn-In Modul verfügt über drei Betriebsarten mit unterschiedlichen Parametern:

- cw-Betrieb:
 - Maximalstrom pro Testplatz 150 A
- Puls-Betrieb:
 - Max. Stromamplitude 200 A
 - Pulslänge 100 μ s - 400 μ s
 - Duty Cycle 1 % - 50 %
- Ein-/Aus-Betrieb:
 - Max. Stromamplitude 150 A
 - Schaltfrequenz 0,1 - 10 s
- Schnittstellen:
 - CAN-Bus rückseitig
 - RS232-Servicestecker vorderseitig
- Max. Betriebstemperatur ca. 70 °C

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. U. Radenz, Tel.: -268
ulf.radenz@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. W. Brandenburg, Tel.: -192
wolfgang.brandenburg@ilt.fhg.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fhg.de



Oben: Frontansicht der Lastaufnahme.

Unten: Steuer- u. Leistungsteil der Stromquelle.



Aufgabenstellung

Burn-In Systeme zur Ermittlung der Degradations-Charakteristik von Hochleistungsdiodenlasern im cw-Betrieb sind als Werkzeug zur Qualitätssicherung weitgehend etabliert. Durch den verstärkten Einsatz von gepulsten Diodenlasern, insbesondere zum Pumpen von Festkörperlaser aber auch für Direktanwendungen, gewinnen entsprechende Prüfdaten immer mehr an Bedeutung. Es soll ein System bereitgestellt werden, das auf die Leistungsdaten von Diodenlasern der nächsten Jahre ausgelegt ist. Durch eine modulare Bauweise soll es dem Anwender zusätzlich möglich sein, die Anzahl der Prüfplätze auf seine Bedürfnisse abzustimmen.

Vorgehensweise

Ein am Fraunhofer ILT entwickeltes OEM-Pulsnetzteil bildet das Kernstück des Systems. Im vorliegenden Fall werden 20 Prüfplätze in einem Schaltschrank angeordnet und über einen CAN-Bus miteinander verbunden. Ein zentrales 300 VDC Netzteil übernimmt die elektrische Versorgung aller Module. Zwei getrennte Wasserkreisläufe sorgen für die Temperierung der Laserdioden bis max. 70° C und die Kühlung der Leistungselektronik.

Über eine Bedienoberfläche mit drei Hierarchieebenen ist jeder Prüfplatz individuell parametrierbar. Die Messgrößen Laser-Lichtleistung, Diodenstrom, Diodenspannung und Temperatur werden in wählbaren zeitlichen Intervallen erfasst und in ihrem Verlauf graphisch dargestellt. Mit Hilfe eines Web-Browsers können die Daten auch von einem externen PC eingesehen werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Das System verfügt über drei Betriebsarten. In allen Betriebszuständen kann der Modus gemäß den Leistungsdaten der Stromquelle frei gewählt werden.

1. Konstantstrom: Ermittelt wird die Degradation der Laserlichtleistung bei konstantem Strom.
2. Konstantlicht: Durch Nachregelung des Stromes während der Degradation wird die optische Ausgangsleistung konstant gehalten.
3. Kennlinien: Ermittelt wird die optische Ausgangsleistung einer Laserdiode in Abhängigkeit des Stromes.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. W. Brandenburg, Tel.: -192
wolfgang.brandenburg@ilt.fhg.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fhg.de





Aufgabenstellung

Zur Steigerung der Leistungsdichte von Diodenlasersystemen werden derzeit Multiplexingverfahren wie Polarisations- und Wellenlängenüberlagerung durch dielektrische Schichten eingesetzt. Die Breite des temperatur- und stromabhängigen Emissionsspektrums des Diodenlasers und die Kantensteilheit der optischen Filter begrenzen die Anzahl der verwendbaren Diodenlaserwellenlängen. Durch Verwendung von externen Volumengittern kann das Emissionsspektrum des Diodenlasers eingeeengt und die Verschiebung der Wellenlänge mit dem Strom bzw. der Temperatur reduziert werden. Aufgrund der Stabilisierung der Wellenlänge kann die Strahlüberlagerung von Diodenlasern bei geringem Abstand der Zentralwellenlängen erfolgen.

Vorgehensweise

Die Emissionsbandbreite eines Diodenlasers wird durch externe Rückkopplung von einem wellenlängenselektiven Volumengitter um den Faktor 10 reduziert und die Zentralwellenlänge innerhalb der Verstärkungsbandbreite des Diodenlasers festgelegt. Diodenlasern gleicher Verstärkungsbandbreite werden mit Volumengittern jeweils unterschiedliche Emissionswellenlängen zugeordnet. Im zweiten Schritt wird die Diodenlaserstrahlung mit einem Volumengitter überlagert, dessen wellenlängen- und winkelselektives Reflexions- bzw. Transmissionsverhalten an die Emissionswellenlängen und den Überlagerungswinkel der Diodenlaser angepasst ist.

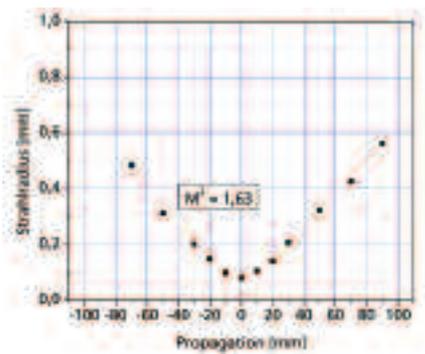
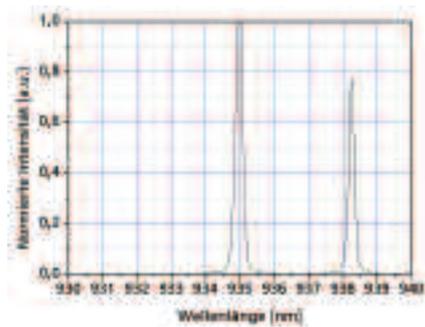
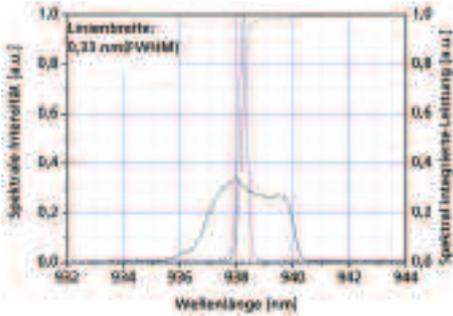
Auf diese Weise kann gegenüber den bislang eingesetzten inkohärenten Verfahren die Überlagerung von Laserstrahlung mit dicht benachbarten Zentralwellenlängen ermöglicht und eine Erhöhung der Strahldichte erreicht werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Das Spektrum der Diodenlaser kann bei einem Abstand der Zentralwellenlängen von ca. 3 nm (Bild Mitte) mit jeweils über 95 % der optischen Ausgangsleistung innerhalb der spektralen Breite von 0,7 nm stabilisiert werden (Bild oben). Die maximal erreichte Effizienz der Strahlüberlagerung im Leistungsbereich zweier Diodenlaserbarren von jeweils 40 W beträgt über 80 % bei guter Strahlqualität in Fast Axis (Bild unten).

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. C. Wessling, Tel.: -467
christian.wessling@ilt.fraunhofer.de
 Dipl.-Ing. H. D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Diodenlaserspektrum (freilaufend und stabilisiert).
 Mitte: Spektrum zweier Diodenlaser nach Strahlüberlagerung.
 Unten: Strahlkaustik in Fast Axis nach Strahlüberlagerung.



Aufgabenstellung

Für den Einsatz in der Mikrobearbeitung werden Laser mit beugungsbegrenzter Strahlqualität bei optischen Ausgangsleistungen im Bereich von 10 W bis 100 W benötigt. Erwünscht ist neben einem robusten und kompakten Design eine einfache Verlustwärmeabfuhr mittels Luftkühlung.

Vorgehensweise

Mit einem 7-zu-1-Faserkoppler werden Pigtail-Laserdioden in eine Double-Clad-Faser eingekoppelt. Der 20 μm Yb-dotierte aktive Kern wandelt die Pumpstrahlung in Laserstrahlung der Wellenlänge ca. 1085 nm.

An dem Faserende, an dem die Laserleistung bereitgestellt wird, kann eine Transportfaser angespleißt werden. Alternativ kann das Ende auch mit einem Stecker konfektioniert werden. Durch die Integration der Diodenlaser und der Steuerelektronik auf einer Platine werden niedrige Herstellkosten erreicht. Ein Mikrocontroller gestattet die Steuerung und Überwachung des Lasers per CAN-Bus oder RS-232. Die Temperatur der Pumpdioden sowie die Pump- und die Laserleistung werden mittels integrierter fasergekoppelter Photosensoren erfasst. Dadurch ist eine Leistungsregelung und Zustandsüberwachung möglich.

Durch die ausschließliche Verwendung fasergekoppelter Komponenten ist das System justierungempfindlich und resistent gegen Stöße und Vibrationen.

Der rückseitige Kühlkörper kühlt Faser und Pumpdioden. Die Wärme aus den Dioden wird dabei über Kühlsockel durch die Platine hindurch abgeführt. Je nach Bedarf kann das Modul gegen Luft oder gegen Wasser gekühlt werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit kontinuierlichen Laserleistungen bis in den 100 W Bereich können Anwendungen im Bereich Schweißen und Schneiden dünner Materialien durchgeführt werden. Laufende Arbeiten zur Erweiterung des Betriebsmodus auf gepulsten Betrieb mit Pulsleistungen im 100 kW Bereich sollen Einsatzfelder wie Beschriftung und Oberflächenstrukturierung sowie Entfernungsmesstechnik erschließen.

Ansprechpartner

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

Faserlaser mit integrierter Steuerungselektronik.





Aufgabenstellung

Die Integration optischer und elektronischer Komponenten zu einem Bauteil, die eine weitgehend automatisierte Fertigung im Stil der klassischen Platinenfertigung ermöglicht, ist bisher auf den Telekommunikationssektor beschränkt.

Im Bereich Laser hoher Ausgangsleistung basiert die Fertigung auf aufwendiger Mechanik und Montage in Handarbeit, was einer preisgünstigen Serienfertigung entgegensteht.

Am Fraunhofer ILT entwickelte INNO-SLAB Laser ermöglichen kompakte planare Anordnungen, die sich bis in den 100 W Bereich unter Beibehaltung beugungsbegrenzter Strahlqualität skalieren lassen. Aufgrund der quaderförmigen Geometrie der Bauelemente des Slablasers und der Bauform der OSRAM SPL LG Pumpquellen wird die einfache Anordnung auf einer gemeinsamen Grundplatte und somit auch eine automatisierte Fertigung ermöglicht.

Mikroslab Laser mit integrierter Steuerungselektronik.



Vorgehensweise

Durch die Realisierung eines ersten Labormusters des Lasers in »Hybrid-Technik« zwischen klassischer Mechanik und Platinentechnik entsteht eine leistungsfähige kompakte Einheit mit integrierter Steuerung, Überwachung und Regelung.

In einem weiteren Schritt wird die Zusammenführung der Laseroptik und der Steuerplatine auf eine gemeinsame Grundplatte angestrebt, wodurch die etablierten automatisierten Bestückungstechniken aus dem Elektronikbereich für die Laserfertigung übernommen werden können.

Ergebnisse und Anwendungen

Der vorgestellte Laser in Hybrid-Technik ermöglicht eine mittlere Leistung von 12 W, welche durch den Einsatz einer weiteren Pump-Laserdiode verdoppelt werden kann.

Die drastische Reduktion der Kosten und des Bauraums eröffnet neue Einsatzgebiete, insbesondere im Bereich der Beschriftung, die bisher nur Tintenstrahl- bzw. herkömmlichen Laserdruckern vorbehalten sind.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. M. Hofer Tel.: -123
marco.hoer@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H. D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

LIDAR-(Light Detection And Ranging) Anwendungen finden in der Messtechnik eine breite Anwendung. Dazu gehört die orts aufgelöste Dichtebestimmung von Teilchen oder Gasen in der Atmosphäre oder auch die orts aufgelöste Geschwindigkeitsbestimmung von Teilchen in der Atmosphäre oder in schnell strömenden Gasen. Für alle Anwendungen gilt, dass ein Lasersystem zur Erzeugung möglichst leistungsstarker, frequenzstabiler und schmalbandiger Strahlung benötigt wird.

Für die konkrete LIDAR-Anwendung wird ein kompaktes Lasersystem benötigt, welches Single-Frequency Pulse mit einer Pulsenergie > 6 mJ bei 532 nm Wellenlänge und einer Pulslänge < 20 ns bei einer Repetitionsrate > 1 kHz mittels einer Faser mit 300 μ m Kerndurchmesser bereitstellt.

Vorgehensweise

Ein elektrooptisch gütegeschalteter diodenendgepumpter Nd:YAG Stab-laser mit einem Twisted-Mode-Resonator wird von einem kommerziellen, durchstimmbaren Single-Frequency-Laser geseedet. Die Resonatorlänge wird dabei mittels einer Puls-Builtup-Time Regelung und einem Piezoelement aktiv stabilisiert. Die so erzeugten Pulse werden von einem Verstärker basierend auf der am Fraunhofer ILT entwickelten INNOSLAB-Technologie verstärkt. In einem weiteren Schritt werden die Pulse mittels nichtlinearer Frequenzkonversion zuerst frequenzverdoppelt und dann in eine 300 μ m Faser gekoppelt.

Ergebnisse und Anwendungen

In einem vorläufigen Breadboardaufbau wurden mit dem geseedeten Staboszillator Pulse mit einer Pulsdauer < 20 ns und der Energie von 1,5 mJ bei einer Repetitionsrate von 1 kHz erzeugt. Diese Pulse konnten mit Hilfe der INNOSLAB-Verstärkerstufe auf eine Pulsenergie von 14 mJ@1064 nm verstärkt werden. Bei der nachfolgenden Frequenzkonversion wurde eine Pulsenergie von 7 mJ@532 nm bei einer Strahlqualität von $M^2 < 1,2$ erreicht. Das spektrale Signal-Rauschverhältnis wurde mit $< 10^{-5}$ bestimmt.

Derzeit wird das Lasersystem in ein kompaktes 19"-Industriegehäuse integriert

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. M. Hoefler, Tel.: -128

marco.hoefler@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. D. Esser, Tel.: -437

dominik.esser@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. H. D. Hoffmann, Tel.: -206

hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

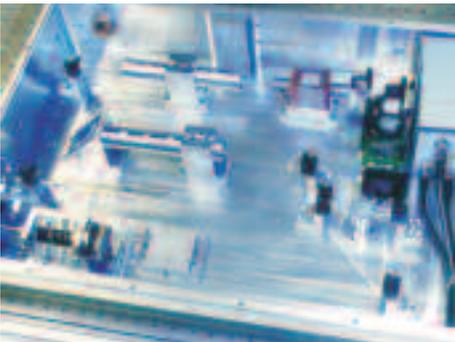
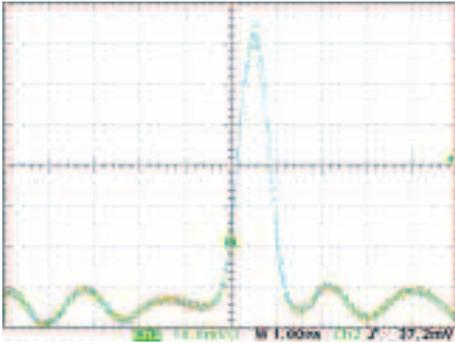


Geseedeter Single Frequency Oszillator.



Aufgabenstellung

Zur Effizienz- und Qualitätssteigerung bei der Mikrostrukturierung mit Laserstrahlung und zur Variierung der Markierungspunktgröße bei der Innengravur dielektrischer Materialien sind Hochleistungslaserpulse mit einstellbarer Pulsdauer im Subnanosekundenbereich vorteilhaft. Um die entsprechenden Prozessschwellen zu erreichen, sind z. B. bei einer Pulsdauer von 300 ps Pulsenergien $> 100 \mu\text{J}$ und nahezu beugungsbegrenzte Strahlqualität bei einer Wellenlänge von 1064 nm notwendig.



Oben: Form des verstärkten Diodenlaserpulses.
Unten: Regenerativer Verstärker.

Vorgehensweise

Die geforderten Parameter lassen sich mit einer MOPA-Anordnung realisieren. Der Oszillator besteht dabei aus einer elektrisch modulierten Laserdiode, bei der die Pulsdauer über den Gainstrom variiert werden kann. Ein zusätzlicher Biasstrom minimiert eventuelles Spiking.

Die so erzeugten Laserpulse werden mittels eines regenerativen Verstärkers auf die geforderte Pulsenergie verstärkt. Faraday-Isolatoren schützen die Laserdiode vor rücklaufender Strahlung.

Prinzipiell hängt die maximal realisierbare Pulsdauer von der Resonatorlänge des Regenerativen Verstärkers sowie den Schaltzeiten der Pockelszelle und der Steuerung ab.

Die Pulsrepetitionsrate ist zwischen 1 kHz und 10 kHz in kHz-Schritten wählbar.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit einem regenerativen Verstärker basierend auf einem Nd:YVO4 Kristall wird bei einer Pulsdauer $< 300 \text{ ps}$ und einer Pulsrepetitionsrate von bis zu 10 kHz eine mittlere Laserleistung $> 2 \text{ W}$ bei beugungsbegrenzter Strahlqualität erreicht. Resonatoren mit Längen zwischen 140 cm und 190 cm wurden aufgebaut. Laserpulse mit Pulsdauern im Bereich zwischen 0,3 ns und 1,5 ns wurden auf die geforderte Pulsenergie verstärkt.

Erste Untersuchungen zur Laserinnengravur wurden erfolgreich durchgeführt. Die erwartete Verbesserung der Präzision für die Glasinnengravur wurde erreicht. Der Laser wird zurzeit für den Einsatz im Bereich der Mikromaterialbearbeitung vorbereitet.

Ansprechpartner

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



Aufgabenstellung

Für innovative Produktionsverfahren, wie zum Beispiel die Leiterplatten-direktbelichtung oder das Bohren von elektronischen Leiterplatten, werden stabile UV-Festkörperlaser mit über 10 W mittlerer Laserleistung benötigt. Zurzeit werden für Leiterplattendirektbelichtung UV-Argonlaser und für Leiterplattenbohren CO₂-Laser eingesetzt. Argonlaser sind gekennzeichnet durch eine hohe Leistungsaufnahme und geringe Betriebssicherheit. CO₂-Laser können Lochdurchmesser von 25 µm für hochintegrierte Leiterplatten prinzipiell nicht erreichen. In Zusammenarbeit mit Jenoptik Laser, Optik, Systeme GmbH werden daher »All-Solid-State«-UV-Lasersysteme entwickelt, die Leistungen von über 10 W bei deutlich gesenkten Betriebskosten und erhöhter Betriebssicherheit liefern.

Vorgehensweise

Eine gütegeschaltete Slab-MOPA-Anordnung, bestehend aus einem diodendepumpten INNOSLAB-Oszillator und einem nachgeschalteten Slabverstärker, liefert bei 1064 nm nahezu beugungsbegrenzte Laserstrahlung mit hoher mittlerer Leistung bei Pulswiederholraten zwischen 5 und 50 kHz. Mit Hilfe nicht-linearer Kristalle wird dieser Laser zunächst frequenzverdoppelt (532 nm) und danach wahlweise frequenzverdreifacht (355 nm) oder frequenzvervieracht (266 nm).

Ergebnisse und Anwendungen

Bei einer Repetitionsrate von 10 kHz liefert die Slab-MOPA-Anordnung eine Ausgangsleistung von über 120 W bei 1064 nm mit einer Strahlqualität $M^2 \leq 2$ und einer Pulslänge kleiner 30 ns.

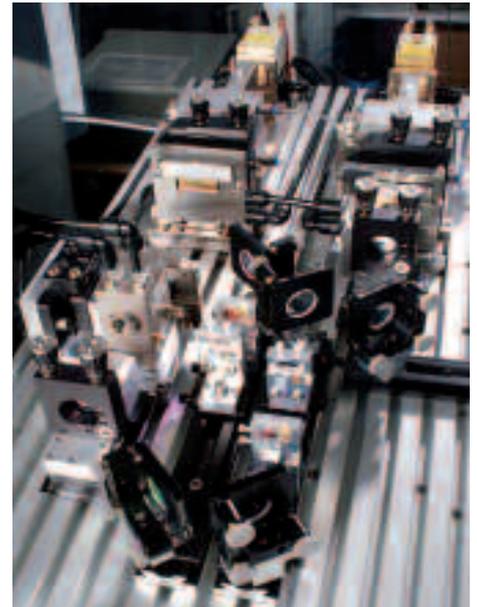
Durch Frequenzkonversion konnten folgende Spitzenwerte erreicht werden:

- 65 W bei 532 nm $M^2 \leq 1,3$
- 36 W bei 355 nm $M^2 \leq 1,8$
- 14 W bei 266 nm $M^2 \leq 4$

Die Optimierung des Konversionsprozesses wurde dabei mit dem am Fraunhofer ILT entwickelten Softwarepaket OPT durchgeführt. Hierbei können alle wichtigen Parameter der Laserquelle (z. B. Strahlgeometrie, zeitliche Pulsform) und die Parameter der verschiedenen nichtlinearen Kristalle berücksichtigt und optimiert werden. Insbesondere konnten erstmals auch die Auswirkungen der thermischen Effekte, die während des Konversionsprozesses durch Absorption der Strahlung in den nichtlinearen Kristallen auftreten, durch Integration eines FEM-Moduls berechnet und analysiert werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Marco Hoefler, Tel.: -128
marco.hoefler@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H. D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



INNOSLAB-Oszillator-Verstärkeranordnung zur Frequenzkonversion (links: gütegeschalteter Oszillator, rechts: Verstärker).

Aufgabenstellung

Bei Laserstrahlquellen können im Laserbetrieb unerwünschte thermische Effekte auftreten, durch die sich die Lage der Ausgangsstrahlung in Winkel und Position ändert. In vielen Anwendungsbereichen der Lasertechnik wird eine hohe Zeige-Stabilität gefordert, die auf unterschiedliche Weise erreicht werden kann. Neben kostenaufwendigen konstruktiven Maßnahmen der Laserstrahlquelle besteht die Möglichkeit, eine Regelung aufzubauen, die die Veränderungen der Strahlage korrigiert.

Vorgehensweise

Am Beispiel der Faserkopplung eines Lasers wird eine aktive Strahlage-Stabilisierung, bestehend aus Sensor-einheit, Aktorsystem und Regler, aufgebaut. Zur Ermittlung der Strahlage in Winkel und Position wird die Sensor-einheit mittels positionsempfindlicher Dioden (PSD) realisiert. Die ermittelten Veränderungen der Strahlage werden durch piezogesteuerte Spiegel ausgeglichen. Über optische Abbildungen werden die verwendeten Komponenten miteinander verknüpft und die für die Realisierung des Reglers auf dem Mikrocontroller erforderlichen Regel-freiräume und Übertragungsfunktionen bestimmt.

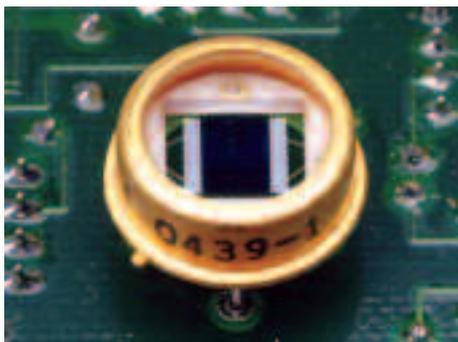
Ergebnisse und Anwendungen

Mit dem Sensor wird die Position des Schwerpunkts der Strahlung mit einer Genauigkeit von $4 \mu\text{m}$ detektiert. Mittels der Auslegung der optischen Abbildung der Laserstrahlung auf 2 PSD wird eine Positionsauflösung von $\pm 0,84 \mu\text{m}$ und eine Winkelauflösung von $\pm 0,75 \text{ mrad}$ des Schwerpunktstrahls auf der Faser erzielt. Durch die Kombination aus Regler, Piezo-Verstellspiegel und Sensoreinheit werden die thermisch bedingten Strahlageveränderungen der untersuchten Laserstrahlquelle stabilisiert. Die Strahlage auf der Faser wird durch die Regelung in einem Winkelbereich von $\pm 2 \text{ mrad}$ und der Positionsbereich von $\pm 2,07 \mu\text{m}$ gehalten.

Neben der Verwendung des Sensors zur Erfassung des Schwerpunktes von Laserstrahlung kann die Strahlage-stabilisierung in der bestehenden Form für die Entwicklung von Laserstrahl-quellen und Prototypen eingesetzt werden. Weitere Anwendungsfelder neben der Faserkopplung sind die Entkopplung von mehrstufigen Lasersystemen und der Aufbau von langen Resonatoren.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. D. Sossenheimer, Tel.: -339
dirk.sossenheimer@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Phys. M. Hofer, Tel.: -128
marco.hofer@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H. D. Hoffmann, Tel.: -260
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



PSD (Position Sensitive Diode).



Aufgabenstellung

Der Transport der Strahlung von Festkörperlasern mit mittleren Leistungen im kW-Bereich erfolgt meist über Lichtleitfasern. Laser mit großer optischer Verstärkung, wie zum Beispiel Stab- und Faserlaser, reagieren empfindlich auf Rückkopplung vom Bearbeitungsprozess oder nichtlineare Effekte in der Transportfaser. Diese Rückkopplung kann zu instabilem Verhalten oder zur Schädigung optischer Komponenten führen.

Ziel ist die Entwicklung von Anordnungen für die optische Entkopplung von Laser und Werkstück bzw. Faser bei hoher mittlerer Leistung, die auch für statistisch polarisierte Strahlung einsetzbar ist. Faraday-Isolatoren, die bislang meist für linear polarisierte Laserstrahlung mit mittleren Leistungen von einigen 10 W eingesetzt werden, zeigen bei höheren Leistungen thermische Effekte, die die Verluste erhöhen und die Unterdrückung reflektierter Strahlung herabsetzen.

Vorgehensweise

Ausgehend von einer zuvor entwickelten Anordnung aus 2 parallel geschalteten Hochleistungs-Faraday-Isolatoren wurde eine Anordnung zur Kompensation der thermisch induzierten Doppelbrechung integriert. Hierdurch wird die mit zunehmender Leistung auftretende Verringerung des Isolationsgrades minimiert und eine ausreichende Dämpfung bis in den Multi-kW-Bereich ermöglicht.

Ergebnisse und Anwendungen

Durch den Einsatz der Anordnung zur Kompensation der thermisch induzierten Doppelbrechung konnten bei 2 kW mittlerer Leistung Transmissionsverluste von unter 7 % und eine Dämpfung der reflektierten Strahlung von über 15 dB erreicht werden. Damit kann eine ausreichende Entkopplung vom Bearbeitungsprozess bei hohem Wirkungsgrad sichergestellt werden.

Darüber hinaus wurden in einer sehr kompakten und preisgünstigen Anordnung, die nur einen einzigen Faraday-Rotator benötigt, bei 100 W mittlerer Leistung Transmissionsverluste unter 5 % und eine Dämpfung der reflektierten Strahlung von über 26 dB erreicht. Anwendung finden beide Anordnungen im Bereich der Materialbearbeitung, wie dem Markieren, Schweißen und Schneiden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. K. Nicklaus, Tel.: -224
kolja.nicklaus@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H. D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

Versuchsaufbau Isolatoranordnung mit Faserkopplung.



Aufgabenstellung

Bei der Entwicklung von Lasergeräten und Anwendungen von Lasern werden optische Systeme konzipiert und optimiert. Für Anwendungen sind dies Strahlformungsoptiken. Bei der Laserentwicklung muss auch das Lasermedium, z. B. die nichtlineare Verstärkung im aktiven Medium oder die Wechselwirkung der Strahlung mit nichtlinearen Kristallen, berücksichtigt werden. In vielen Fällen werden bei der Strahlungspropagation auch Beugungseffekte berücksichtigt. Kommerzielle Softwarepakete für die wellenoptische Simulation optischer Systeme sind zwar verfügbar, jedoch reicht deren Flexibilität nicht aus, um neue Aufgabenstellungen schnell zu integrieren. Aufgabe war daher, ein Softwaretool zu entwickeln, das effizient, flexibel und erweiterbar ist.

Vorgehensweise

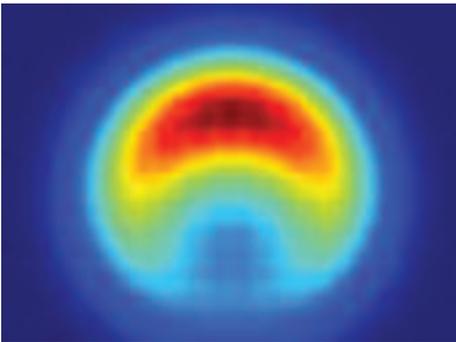
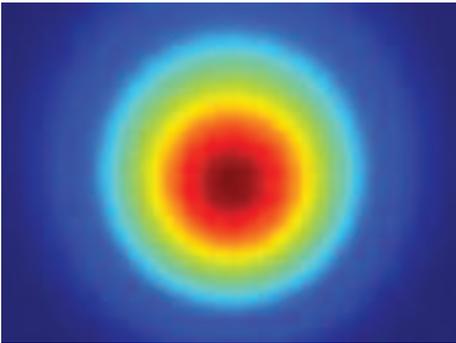
Die Software wurde aus Effizienzgründen in C++ implementiert. Zur Erweiterbarkeit wurde ein objektorientiertes Design gewählt. Jedes optische Element ist in einer C++-Klasse realisiert. Ein neues optisches Element kann daher durch Hinzufügen einer neuen C++-Klasse implementiert werden. Zur einfachen Benutzung wurde eine Python-Schnittstelle bereitgestellt. Python ist eine interpretierte, objektorientierte Programmiersprache. Das Softwarepaket wird »OPT« genannt.

Ergebnisse und Anwendungen

»OPT« wird bei der Entwicklung von diodengepumpten Hochleistungs-Nd:YAG-Lasern eingesetzt. Neben der thermischen Linsenwirkung werden auch spannungsinduzierte Effekte berücksichtigt. Da in »OPT« neben kartesischen Koordinaten auch Zylinderkoordinaten verwendet werden können, eignet sich »OPT« insbesondere auch für die Behandlung coaxialer Geometrien. »OPT« enthält ein optisches Element für die Drei-Wellenkopplung, mit dem die Frequenzverdopplung simuliert wird. Das untere Bild zeigt als Beispiel die Intensitätsverteilung bei der Frequenzverdopplung am Ausgang des nichtlinearen Kristalls. Die Asymmetrie der eingestrahlten Welle am Ende des Kristalls wird durch den Walk-Off verursacht. Walk-Off ist die Abweichung der Propagationsrichtung der Wellenfronten vom Poyntingvektor, ein Phänomen, das in doppelbrechenden Materialien auftritt.

Ansprechpartner

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



Frequenzverdoppelung: Intensitätsverteilung der eingestrahlten (oben) und der frequenzverdoppelten Welle (unten) am Ende des nichtlinearen Kristalls.



Aufgabenstellung

Die direkte Erzeugung von Röntgenstrahlung aus Laserpulsen mit Pulslängen im Bereich einiger Femtosekunden (fs) ermöglicht eine Röntgenstrahlungsquelle mit einzigartigen Eigenschaften für die Anwendung. Die Erzeugung von ultrakurz gepulsten Röntgenstrahlung bei gleichzeitig sehr geringer Quellgröße (Laserfokus $\sim 2 \mu\text{m}^2$; Quellgröße $\sim 10 \mu\text{m}^2$) ist so mit keiner anderen Technik möglich. Bisherige Quellen zur Demonstration von Machbarkeit und Einsatzmöglichkeiten waren aufgrund ihrer Größe und den Anforderungen an die Umgebungsbedingungen auf Forschungslabore beschränkt. Das hier vorgestellte System wurde beginnend beim fs-Lasersystem dahingehend entwickelt, einen Einsatz im industriellen/medizinischen Umfeld zu ermöglichen.

Vorgehensweise

Um die notwendigen elektrischen Feldstärken für eine ausreichende Beschleunigung der Elektronen durch das Laserfeld zu erreichen, müssen Intensitäten oberhalb von 10^{16} W/cm^2 erzeugt werden. Ein Weg zu kompakten Lasern mit deutlich erhöhter Effizienz ist die Verwendung von Colquiriit-Kristallen (Cr:LiSAF, Cr:LiSGaF, Cr:LiCAF) als Lasermedium. Ein solches auf Colquiriiten basierendes fs-Lasersystem wurde als Labormuster aufgebaut und erreicht derzeit maximale Pulsenergien von $160 \mu\text{J}$ bei 80 fs Pulsdauer und damit Pulsspitzenleistungen von 2 GW. Die Wiederholrate der Laserpulse ist 2,5 kHz mit spektralen Bandbreiten von 24 - 37 nm und die gesamte elektrische Leistungsaufnahme inklusive der Kühlaggregate beträgt 250 W. Die im Laserfokus entstehende Röntgenstrahlung kann mit Multilayer-Spiegeln

spektral zerlegt und das Röntgenspektrum mit einer CCD-Kamera aufgenommen werden. Die Ausbeute an erwünschten Röntgenphotonen kann durch eine Vorpuls-Hauptpulstechnik deutlich erhöht werden.

Ergebnisse und Anwendungen

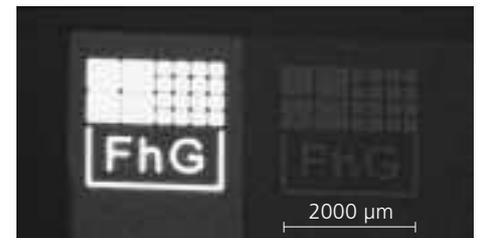
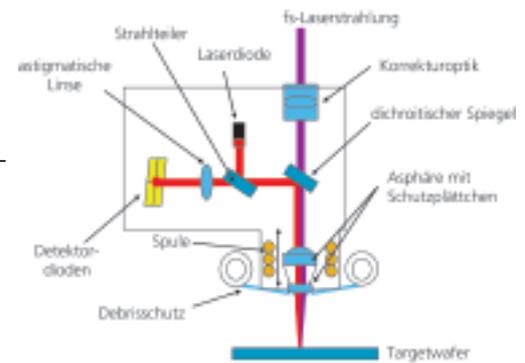
Zur Erzeugung der gepulsten Röntgenstrahlung werden die Laserpulse beugungsbegrenzt auf einen Silizium-Wafer (Si) fokussiert, der sich, um Luftdurchbrüche zu verhindern, in einer Vakuumkammer befindet. Eine Fokussierregelung mittels eines Autofokusystems ermöglicht die notwendige Fokussierung der Laserstrahlung trotz geringer Tiefenschärfe. Dabei wurden bislang $\text{Si}_{\text{K}\alpha}$ - Ausbeuten (Photonenenergie: 1,74 keV) pro Laserpuls von $5 \cdot 10^8$ Photonen erreicht.

Zur Demonstration des mit der Röntgenquelle erreichbaren Kontrastes ist im unteren Bild die Röntgenaufnahme einer lasergeschnittenen Struktur aus Silizium in 0,6 m Abstand zur Röntgenquelle dargestellt (links), die sich hinter einer $20 \mu\text{m}$ dicken Siliziumscheibe befindet (rechts).

Mögliche Anwendungen des Systems liegen in der zeitaufgelösten Röntgenbeugung und der zeitaufgelösten Röntgenphotographie, z. B. des Prozessfortschritts beim Bohren mit Laserstrahlung.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. H. D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Anordnung zur Bildgebung mit ultrakurz gepulster Röntgenstrahlung.
Unten: Röntgenbild einer Siliziumstruktur (Belichtungszeit 40 s), links: direkte Abbildung, rechts: hinter Siliziumplättchen von $20 \mu\text{m}$ Dicke.

Aufgabenstellung

Durch die fortschreitende Entwicklung auf dem Gebiet der extremen Ultraviolettstrahlung ist die Bereitstellung neuartiger Diagnostiken zur Charakterisierung von EUV-Optiken von großem Interesse. Um die Abbildungseigenschaften optischer Systeme zu bestimmen, ist die Messung des Strahlprofils von entscheidender Bedeutung.

Anhand des Strahlprofils kann auf die Qualität des optischen Systems geschlossen werden. Dies betrifft die richtige Justage der Optik aber auch die Überprüfung von Materialeigenschaften wie Oberflächenrauheit und Formtreue sowie die Messung der optischen Eigenschaften unter den Bedingungen im späteren Einsatz wie z. B. in der EUV-Lithografie. Damit können Wechselwirkungen zwischen der Strahlungsquelle und dem optischen System, wie die Beeinflussung der Abbildungseigenschaften durch thermische Effekte oder durch die Beaufschlagung mit Debris, untersucht werden.

Vorgehensweise

Aufgebaut worden ist ein Detektor, der »In-Band Screen«, der die Intensitätsverteilung von einfallender EUV-Strahlung räumlich aufgelöst wiedergibt. Kernstück des Detektors ist ein scheibenförmiger Ce:YAG Kristall. Dieser konvertiert die auf die Vorderseite des Kristalls treffende Strahlung in sichtbares Licht (~550 nm). Das konvertierte Licht wird auf der Rückseite der Kristallscheibe mit einer CCD-Kamera detektiert und über ein PC-System ausgewertet. Die gewählte Größe des Kristalls ermöglicht es, Strahlprofile bis zu einem Durchmesser von 50 mm zu vermessen.

Zur Einschränkung der Empfindlichkeit auf den EUV-Bereich ist die Vorderseite des Kristalls beschichtet. Die Zusammensetzung der Beschichtung ist so gewählt, dass nur der für die EUV-Lithografie relevante Wellenlängenbereich um 13 nm durchgelassen wird. Um den Photonenfluss auf den »In-Band Screen« absolut zu bestimmen, wurde dieser mit einer absolut kalibrierten Referenz-Diagnostik verglichen.

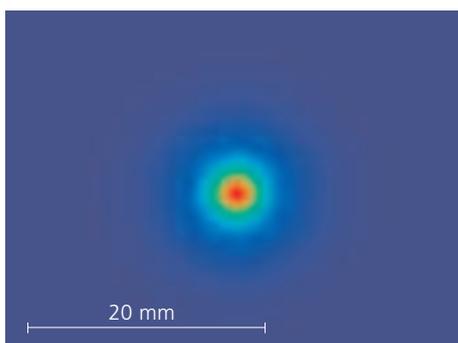
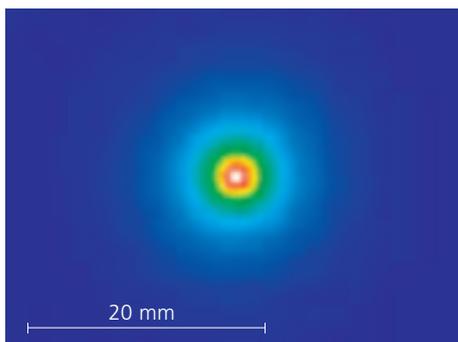
Ergebnisse und Anwendungen

Der »In-Band Screen« wird derzeit zur Charakterisierung von Kollektorschalen für die EUV-Lithografie eingesetzt. Diese reflektiven Optiken in Wolter Konfiguration arbeiten im streifenden Einfall und sollen einen möglichst großen Raumwinkel der Strahlungsquelle erfassen und auf nachgeschaltete optische Systeme leiten. In einem dazu aufgebauten Teststand können die Abbildungseigenschaften der Kollektoren bestimmt werden. Der Teststand besteht aus einer EUV-Quelle, der Kollektoralterung mit Justageeinheit und dem »In-Band Screen«. In den Bildern dargestellt ist die gemessene sowie die simulierte räumliche Verteilung der EUV-Strahlung im Fokus des Kollektors. Die Überprüfung der Messergebnisse durch den Vergleich mit der Raytracing Simulation zeigt dabei eine sehr gute Übereinstimmung.

Diese Arbeiten wurden durch das BMBF gefördert.

Ansprechpartner

Dr. O. Rosier, Tel.: -302
oliver.rosier@ilt.fraunhofer.de
Dr. W. Neff, Tel.: -142
willi.neff@ilt.fraunhofer.de



Gemessene (oben) und simulierte (unten) Intensitätsverteilung der EUV-Strahlung im Fokus einer Kollektoroptik.



Aufgabenstellung

In der Extrem-Ultraviolett-Lithografie werden Kollektoroptiken auf der Basis von Mehrschalensystemen im streifenden Einfall favorisiert. Die Umgebung zur Strahlungsquelle führt zu thermischen Belastungen und Beaufschlagung der Optiken mit Debris. Dieser Umstand erfordert Forschungs- und Entwicklungsaufwand zum Design der Kollektoren, zum Material der Oberfläche sowie zum Test geeigneter Debrismitigationssysteme.

Vorgehensweise

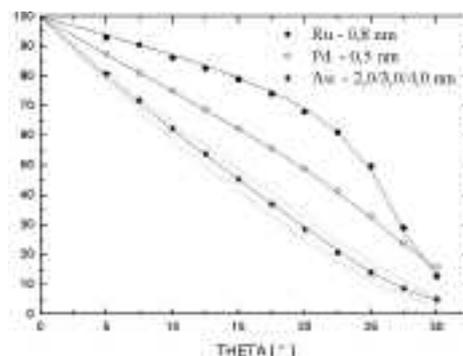
Zur Bestimmung der Reflektivität von Spiegelproben für die Zentralwellenlänge von 13.5 nm wurde auf der Basis einer Xenon-basierten Gasentladungsquelle ein kompaktes EUV-Reflektometer aufgebaut. Das breitbandige Licht der Quelle wird über zwei Reflexionen an Multilayer-Spiegeln auf eine Bandbreite von etwa 1 nm monochromatisiert und auf die Probe gelenkt. Das reflektierte Licht wird mit einer im EUV empfindlichen Diode detektiert. Absolute Aussagen über die Reflektivität werden durch Vergleich mit dem Signal einer Referenzdiode erhalten. Typische Probengrößen liegen im Bereich 3 cm x 3 cm, wobei sowohl plane als auch gekrümmte Spiegel vermessen werden können. Der zugängliche Winkelbereich liegt zwischen 5° und 35°. Die Reproduzierbarkeit liegt bei etwa 2 %. Die absolute Genauigkeit liegt in der gleichen Größenordnung, was durch eine Vergleichsmessung an einer Probe bestätigt wurde, die auch bei der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Berlin charakterisiert wurde.

Ergebnisse und Anwendungen

Das Reflektometer wird derzeit im Schwerpunkt für die Entwicklungsarbeit von Philips für Debris-Mitigation und Reinigungsstrategien für den Kollektor für den Einsatz in einem zukünftigen EUVL-Scanner genutzt. In der Abbildung sind typische gemessene Reflexionskurven einiger Metallspiegel dargestellt. Durch Einbeziehen von Literaturdaten für den Brechungsindex lassen sich beispielsweise durch Fit der Messkurve Aussagen über die Rauheit der Oberfläche mit Toleranzen im sub-Nanometerbereich ableiten. Ferner sind Aussagen über die Schichtdicken auf einem Substrat oder die Flächenbelegung mit Staubpartikeln auf der Nanometerskala über winkelabhängige Abschattungseffekte mit dieser Apparatur möglich. Die Arbeiten wurden zum Teil durch das BMBF gefördert.

Ansprechpartner

Dr. K. Bergmann, Tel.: -302
klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de
Dr. W. Neff, Tel.: -142
willi.neff@ilt.fraunhofer.de



Reflexionskurven für Ruthen-, Palladium- und Gold-Spiegel. Die durchgezogenen Linien zeigen Fits für die Rauheit als freien Parameter.



Aufgabenstellung

Extrem-ultraviolette (EUV) Strahlung wird mit einem Vakuumbogen erzeugt. Gezündet wird dieser durch laserinduzierten Materialabtrag an der Kathodenoberfläche. Der Strahlungsfluss des Lasers kann ausreichen, das dampfförmige Material aufzuheizen und zu ionisieren, so dass ein laserinduziertes Plasma zwischen den Elektroden entsteht, indem zunächst kein signifikanter Strom fließt. Die Anwenderfragestellung besteht darin, eine Simulation zu entwickeln, die den Zusammenhang der EUV Strahlungseffizienz und der zeitlichen sowie räumlichen Entwicklung des laserinduzierten Plasmas erfasst.

Vorgehensweise

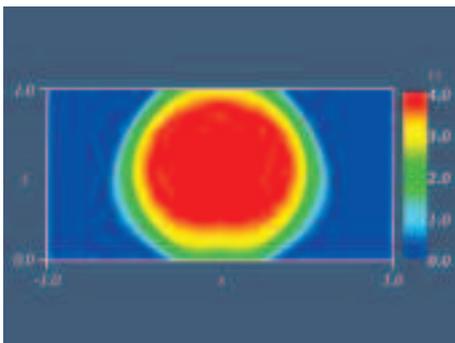
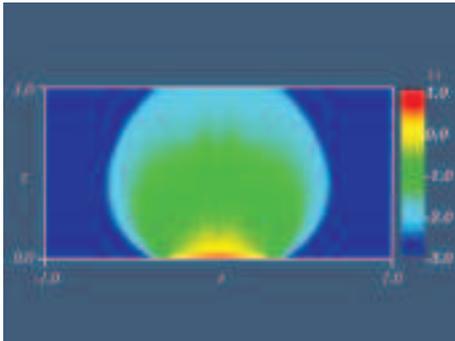
Das mathematisch eindimensionale Modell zur Plasmadynamik wurde auf ein zweidimensionales erweitert. Somit kann eine Expansion in Zylindersymmetrie berechnet werden. Die Berechnungen werden bis zum Beginn der elektrischen Entladung durchgeführt. Die korrespondierende Zeitdauer wird Zündzeit genannt.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Simulation ist für typische Parameter der laserinduzierten Vakuumentladung anwendbar. Die Abbildungen zeigen die Teilchendichte und den Ionisationsgrad eines laserinduzierten Plasmas zur Zündzeit (d. h. kein signifikanter Stromfluss). Zum Zeitpunkt der Zündung variiert die Teilchendichte zwischen Kathode und Anode um drei bis vier Größenordnungen. Das Plasma ist bis zu viermal ionisiert. Zu den Elektroden hin nimmt der Ionisationsgrad ab. Das Maximum der Ionisation liegt somit zwischen den Elektroden.

Ansprechpartner

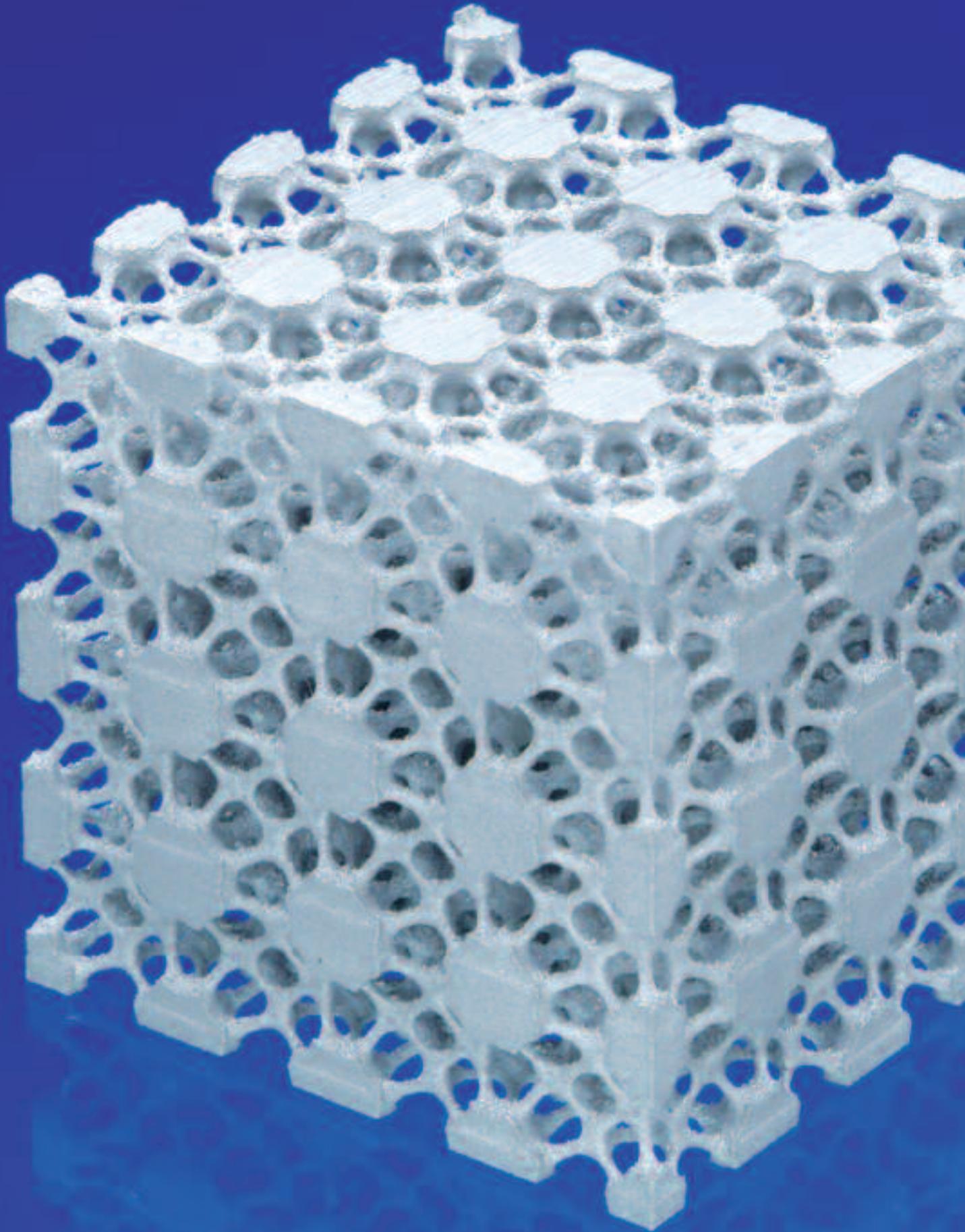
Dr. M. Aden, Tel.: -469
mirko.aden@ilt.fraunhofer.de
Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

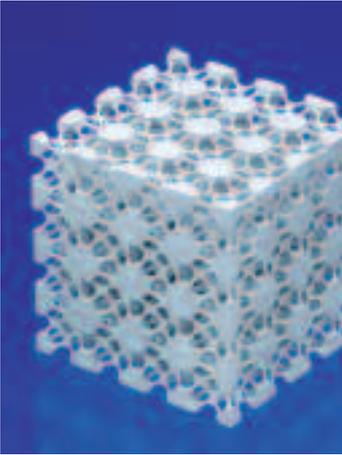


Oben: Dichteverteilung des laserinduzierten Plasmas zwischen Kathode ($z = 0$) und Anode ($z = 1$) zur Zündzeit.

Unten: Ionisationsgrad des laserinduzierten Plasmas zwischen Kathode ($z = 0$) und Anode ($z = 1$) zur Zündzeit.

Laserfertigungsverfahren





SLM-Titanbauteil.

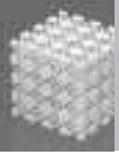
Zu den Fertigungsverfahren, mit denen sich das Geschäftsfeld befasst, zählen die Trenn- und Fügeverfahren in Mikro- und Makrotechnik sowie die Oberflächenverfahren. Die angebotenen Dienstleistungen reichen von der Verfahrensentwicklung für die Herstellung branchenspezifischer Produkte und die Integration dieser Verfahren in Produktionslinien über Simulationsdienstleistungen für Laserapplikationen bis zur Musterfertigung zur Unterstützung des Serienanlaufes. Die Stärke des Geschäftsfeldes 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.



Laserstrahlbonden dreidimensionaler Bauteile aus Silizium und Glas	54	Künstliche Mikrohaare für den Einsatz in Wandschubspannungssensoren	64	Reparatur von Blisk-Schaufeln aus Ti 6246	76
Transient-Liquid-Phase-Löten mit Laserstrahlung	55	Markergen-freie Transfektion von Pflanzenzellen	65	Verschleißschutz von Schieberelementen in Kraftwerks-Armaturen	77
Laserstrahl-Mikroschweißen mit Faserlasern	56	Perkussionsbohren von Mehrschichtsystemen	66	Verbesserte Umformeigenschaften hochfester Stähle durch lokale Wärmebehandlung mit Laserstrahlung	78
Automatisiertes Laserstrahlschweißen von Elektronikkomponenten	57	Simulation: Bohren mit μ s-Pulsen	67	Herstellung von Designstrukturen durch selektives Laserstrahlpolieren von Metallen	79
Laserstrahlunterstützte Halbwarmumformung	58	Simulation Bohren: Recast für μ s- und ns-Pulse	68	Prozesssimulation zum Laserstrahlpolieren	80
Lasermikrostrukturierung von Grünerkeramiken	59	Simulation: Hochgeschwindigkeitsbohren	69	Herstellung von Formeinsätzen für Spritzgießwerkzeuge aus dem Werkstoff 1.2083 mittels Direktem Laserformen	81
Nanostrukturierung von Polyimid-Folien	60	Schmelzschneiden mit einem 5 kW-Faserlaser	70	Belastungsoptimierte Knochenersatzimplantate aus Titanwerkstoffen mittels Selective Laser Melting	82
Strukturieren eines Elastomers zur Verminderung der Gleitreibung	61	Anwendungsbeispiel für multifunktionale Fertigung: Patchwork-Komponente	71		
Mikrostrukturierung von PDMS zur Nervenregeneration	62	Kombikopf erlaubt hochfeste Flanschverbindung und deren präzise Konturierung	72		
Prototyping mikrofluidischer Komponenten	63	Laserschneiden und -schweißen einer Nutzfahrzeugkomponente ohne Werkzeugwechsel	73		
		CO ₂ -Laser-MAG-Hybrid-schweißen mit hoher Laserleistung	74		
		Beschichten von Funktionsflächen an Papiergreifern	75		

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.



Aufgabenstellung

In hybriden Mikrosystemen werden Einzelkomponenten aus unterschiedlichen Materialien wie Silizium, Glas, Keramiken, Einkristalle wie Saphir in ein Gesamtsystem integriert. Die Verbindung erfolgt z. B. für Silizium und Glas über flächige Fügeverfahren wie das »Anodische Bonden«. Diese Verfahren weisen jedoch eine hohe thermische Belastung und eine geringe Flexibilität hinsichtlich der Fügegeometrie auf. Als Alternative zu diesen konventionellen Verfahren bietet das Laserstrahlbonds durch die exakte Kontrolle der Energiedeposition eine Minimierung der Wärmeeinflusszone und des damit verbundenen Verzugs.

In der Mikrosystemtechnik werden häufig dreidimensionale Bauteile eingesetzt. Dabei stellt die Übertragung des Laserstrahlbonds auf dreidimensionale Bauteile eine besondere Herausforderung dar. So können z. B. Linsen, Umlenkspiegel und Glasfasern auf Siliziumträgern zur Herstellung von z. B. Wellenlängenmultiplexern gefügt werden.

Vorgehensweise

Das allgemeine Prinzip des Laserstrahlbondverfahrens beruht auf dem sogenannten Transmissionsfügen, wobei eines der Fügebauteile für die eingesetzte Laserstrahlung transparent und das andere absorbierend ist. Der Hauptteil der Energie des Laserstrahls wird in der Grenzfläche der Fügebauteile in Wärme umgesetzt und die Kontaktstelle gezielt erwärmt.

Oben: Modellspiegel auf Silizium.
Mitte: Glasfaser auf Silizium.
Unten: Linse auf Silizium.
Ganz unten: Versiegelter Mikromischer.

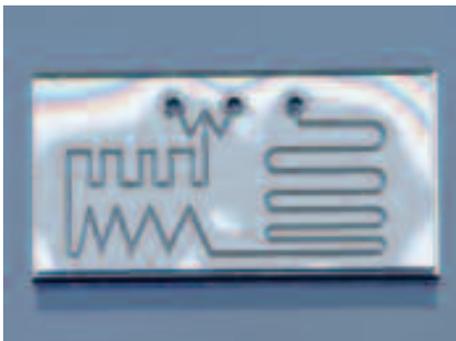
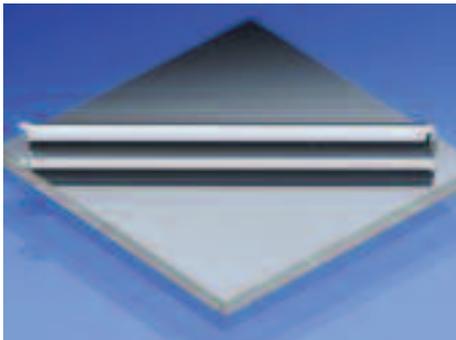
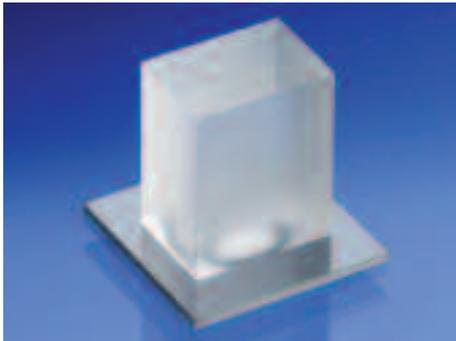
Ergebnisse und Anwendungen

Das Laserstrahlbondverfahren verspricht ein hohes Potenzial hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten im Packaging mikrosystemtechnischer Baugruppen. Die Forschungsergebnisse zur Übertragung des Laserstrahlbonds auf dreidimensionale Bauteile zeigen die Möglichkeit, Baugruppen aus Glas wie Linsen, Umlenkspiegel und Glasfasern auf einen Siliziumträger zu fügen, deren Einsatz sich in der Optical Networking, Medizintechnik und Mikrooptik findet. Der Einsatz von thermischer Prozesskontrolle ermöglicht das Fügen von komplizierten Geometrien auf engstem Raum ohne Wärmestau und Aufschmelzungen. Die weitere Miniaturisierung von z. B. Mikromischern (Mikrofluidikstrukturen) für die Medizintechnik und Bioanalytik wird dadurch realisierbar.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse von Grundlagenforschungen die Übertragbarkeit des Laserstrahltransmissionsfügens auf andere Materialsysteme. So erlaubt die richtige Wahl der Laserwellenlänge bzw. der Bestrahlungsparameter gepaart mit einer prozessangepassten Materialwahl das Fügen von z. B. Glas/Glas, Glas/Keramik oder Saphir/Keramik.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. F. Sari, Tel.: -145
fahri.sari@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Olowinsky, Tel.: -491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de





Aufgabenstellung

Zur Herstellung hybrider Mikrosysteme werden Komponenten und Funktionsgruppen aus verschiedenen Materialien mit unterschiedlichen Abmessungen und Eigenschaften eingesetzt. Die Fertigung eines solchen Systems aus Einzelementen erfordert flexible Verbindungstechniken, bei denen unterschiedliche Werkstoffe entsprechend der material- und produktspezifischen Vorgaben zuverlässig gefügt werden. Im Hinblick auf die thermische Empfindlichkeit der Fügepartner und die technischen Spezifikationen der resultierenden Fügeverbindungen ergeben sich in der Praxis häufig konträre Anforderungen.

Vorgehensweise

Das Transient-Liquid-Phase-(TLP)-Löten ist ein stoffschlüssiges Fügeverfahren. Die Verbindung beruht auf der Bildung temperaturbeständiger, zäher intermetallischer Phasen. Die Grundlage für diese Form der Verbindungsbildung sind Diffusionsprozesse zwischen den in der Regel als Schichtverbund vorliegenden, metallischen Werkstoffen des Lotsystems. Der Lot-Schichtverbund setzt sich aus drei metallischen Schichten zusammen. Die beiden äußeren Schichten bestehen aus einem hochschmelzenden und die Zwischenschicht aus einem im Vergleich niedrigschmelzenden Werkstoff.

Der Reaktionsprozess benötigt für einen stabilen und reproduzierbaren Ablauf sowohl einen konstanten Fügedruck als auch eine Prozesstemperatur, die nur geringfügig oberhalb der Schmelztemperatur des niedrigschmelzenden Werkstoffs liegt. Die kontrollierte Erwärmung der Fügepartner wird durch

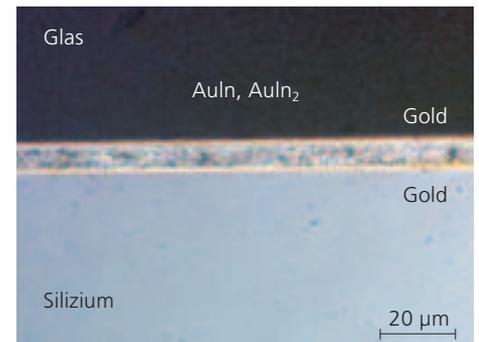
einen geschlossenen Regelkreis auf Grundlage eines Hochleistungsdiodenlasers, einer pyrometrischen Sensorik und einem digitalen Proportional-Integral-Differential-Regler realisiert.

Ergebnisse und Anwendungen

Für die experimentellen Untersuchungen wurden quaderförmige Fügepartner aus Borosilikatglas bzw. Silizium entweder mit einer Goldschicht oder mit einem Gold- und Indium-Zweischichtsystem metallisiert. Die ausgewählten Werkstoffe Gold ($T_m = 1064\text{ °C}$) und Indium ($T_m = 156\text{ °C}$) zeichnen sich durch verschiedene Materialeigenschaften aus. Abgesehen von einer generellen Prozesseignung in Bezug auf das TLP-Löten, weisen Gold und Indium eine geringe Oxidationsneigung, eine hohe Korrosionsbeständigkeit und eine ebenfalls hohe Plastizität auf. Infolge der hohen Plastizität ist diese Werkstoffkombination prädestiniert für das Löten von Komponenten mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten. Nach einer entsprechenden Prozessführung resultiert eine Lötverbindung auf Basis der Intermetallischen Phasen AuIn ($T_m = 509\text{ °C}$) und AuIn₂ ($T_m = 540\text{ °C}$), die eine deutlich höhere thermische Festigkeit ($> 450\text{ °C}$) aufweist als die eigentliche Herstellungs- bzw. Prozesstemperatur ($\sim 180\text{ °C}$).

Ansprechpartner

Dr. L. Bosse, Tel.: -305
luedger.bosse@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Vermeehrt wird das Laserstrahl-Mikroschweißen zum Fügen von Bauteilen in der Elektronik, Medizintechnik und Feinwerktechnik eingesetzt. Kurze Prozesszeiten, hochtemperaturfeste Verbindungen und Verzugsminimierung durch reduzierten Energieeintrag sind nur einige der Vorteile dieses Fügeverfahrens.

Die Variantenvielfalt bei gleichzeitig kurzen Produktlebenszyklen erfordert dabei eine Anlagentechnik, die sich flexibel und prozesssicher auf ständig neue Produkte und Werkstoffe einstellen kann. Der Einsatz von Scannern ermöglicht in diesem Zusammenhang beliebige Nahtverläufe mit großen Schweiß- und Positioniergeschwindigkeiten.

Vorgehensweise

Als Alternative zu Nd:YAG-Lasern werden in letzter Zeit zunehmend Faserlaser zum Mikroschweißen eingesetzt. Die im Vergleich zum Nd:YAG-Laser um 30 nm größere Wellenlänge erfordert eine Anpassung bestehender Bearbeitungsoptiken. Mit einer Strahlqualität von $M^2 < 2$ lassen sich mit Scannern Strahldurchmesser von kleiner 30 μm erreichen. Damit sind Leistungen zwischen 100 und 200 W ausreichend groß zum Schweißen hochreflektierender Werkstoffe wie Kupfer.

Ergebnisse und Anwendungen

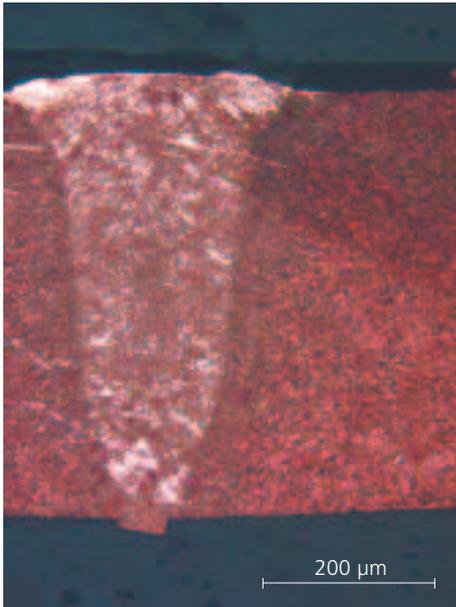
Das Laserstrahl-Mikroschweißen durch Faserlaser in Kombination mit Scannern konnte für Kupfer und Edelstahl sowie Mischverbindungen aus diesen Werkstoffen qualifiziert werden.

Die Schweißnähte zeichnen sich durch ihre geringe Rauheit und große Aspektverhältnisse aus. Bei beiden Werkstoffen wird der Tiefschweißeffekt erreicht. Aufgrund der geringen sich einstellenden Durchmischung sind die Nähte im Überlappstoß rissfrei.

Durch die Verwendung von Faserlasern lassen sich Schweißnähte beliebiger Länge herstellen. Die gute Strahlqualität ermöglicht große Arbeitsabstände. Deshalb können auch vormontierte oder teilweise gehäuste Komponenten verschweißt werden.

Ansprechpartner

Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Olowinsky, Tel.: -491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. K. Klages, Tel. -490
kilian.klages@ilt.fraunhofer.de



Oben: Querschliff CuNi3Si1Mg
 $P = 150 \text{ W}$, $v = 200 \text{ mm/s}$, $d_0 = 30 \mu\text{m}$.
Unten: Querschliff Überlappstoß
X5CrNi1810, CuNi3Si1Mg, $P = 200 \text{ W}$,
 $v = 200 \text{ mm/s}$, $d_0 = 30 \mu\text{m}$.



Aufgabenstellung

Im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der Firma Possehl Electronics Nederland B.V. in den Niederlanden wurde als industrielle Anwendung für das SHADOW®-Verfahren das Verschweißen passiver Kühlkörper (Wärmesenken) mit Systemträgern (Leadframes) für Halbleiter-Bauelemente realisiert. Sowohl die 0,3 mm dicken Wärmesenken als auch die 0,1 mm dicken Leadframes bestehen aus einem Kupferwerkstoff. Die Fügepartner sollen durch 4-Punkt-Schweißungen mechanisch verbunden und elektrisch kontaktiert werden.

Die beschriebene Fügeaufgabe bedingt verschiedene Anforderungen an die Prozesstechnik. Beispielsweise ist bei der Positionierung der Fügepartner zueinander eine Genauigkeit von $\pm 25 \mu\text{m}$ einzuhalten. In Bezug auf die Füge-technik ist eine spritzerfreie Schweißverbindung gefordert, da die Funktionsflächen für die spätere Montage der Halbleiter-Bauelemente nicht beschädigt werden dürfen.

Vorgehensweise

Für den Serienanlauf beim Industriepartner wurde eine existente, vollautomatische Schweißanlage, bestehend aus Bauteilzuführung, Schweißstation und Entlade- bzw. Magazinierungseinrichtung, umgerüstet. Insbesondere wurden in die Schweißstation ein gepulster Nd:YAG-Laser und ein Galvanometerscanner der Firma LASAG integriert. Durch diese systemtechnischen Änderungen werden die Schweißungen nicht als konventionelle Punktschweißungen mit stehendem Strahl, sondern mit bewegtem Laserstrahl erzeugt.

Durch die Galvanometerspiegel wird während eines Einzelpulses der Laserstrahl kreisförmig über die Fügeebene geführt. Hierbei wird der Durchmesser der Kreisbahn kleiner als der Fokaldurchmesser gewählt. Durch den Einsatz dieser Schweißtechnik werden mit Punktschweißungen vergleichbare Verbindungen erzielt.

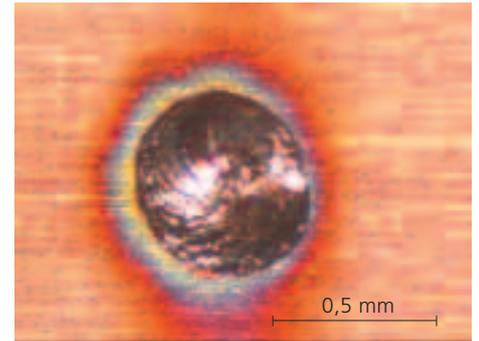
Ergebnisse und Anwendungen

Die geforderte Positioniergenauigkeit wird durch die Auslegung einer entsprechenden Spannvorrichtung erreicht. Zum Einsatz kommt eine pneumatische Vorrichtung, welche die Abdeckung der Funktionsflächen sowie eine sichere Positionierung der Bauteile durch entsprechende Führung aller bewegten Teile gewährleistet.

Durch die Anwendung des SHADOW®-Verfahrens für die Mikro-Ringschweißungen konnte im Vergleich zu Punktschweißungen mit stehendem Strahl ein stabilerer und reproduzierbarer Schweißprozess erreicht werden. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist die bessere Kontrollierbarkeit der Einschweißtiefe. Das SHADOW®-Verfahren bietet somit als Alternative zum konventionellen Punktschweißen deutliche Vorteile bezüglich der Prozesssicherheit.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. J. Gedicke, Tel.: -145
jens.gedicke@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Olowinsky, Tel.: -491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Detailansicht einer Mikro-Ringschweißung.
Unten: Gesamtansicht der umgebauten Schweißanlage.

Aufgabenstellung

Die Blechumformung stellt ein geeignetes und häufig verwendetes Verfahren zur Massenherstellung von metallischen Blechbauteilen dar. Bei Raumtemperatur wird eine hohe Maß- und Formgenauigkeit erreicht. Die meisten Werkstoffe können aber nur begrenzt umgeformt werden. Durch eine Erwärmung des Blechs vor der Umformung wird der maximale Umformgrad erweitert, oberhalb der Rekristallisationstemperatur tritt allerdings eine bleibende Entfestigung des Werkstoffs auf. Mit Hilfe der Halbwarmumformung können die Vorteile beider Verfahren kombiniert und hohe Bauteilqualitäten sowie Umformgrade erreicht werden.

Konventionelle Halbwarm- und Warmumformung ist nur mit großem geräte-technischem Aufwand möglich. Der Einsatz von Laserstrahlung ermöglicht eine kontrollierbare, schnelle Erwärmung des Blechs. Mit Hilfe zusätzlicher Optiken kann die Laserstrahlung bestimmte Bereiche des Blechs selektiv aufheizen. Dadurch bleibt der Energieeintrag in das Blech gering.

Vorgehensweise

Durch die Verwendung transparenter Werkzeugeinsätze aus Saphir kann die Laserstrahlung prozessbegleitend auf die Blechunterseite geführt werden. Fasergeführte Laser vereinfachen die Integration in ein Werkzeug.

Nachdem die prinzipielle Machbarkeit der prozessbegleitenden Erwärmung durch Laserstrahlung nachgewiesen wurde, wird aktuell eine hydraulische Einständerpresse eingesetzt, auf der die Fertigung von metallischen Kleinstteilen unter Serienbedingungen erfolgen soll. Ein mehrstufiges modular aufgebautes Werkzeug ermöglicht bis zu drei Umformschritte je Maschinenhub. Der Beginn und die Dauer der Erwärmung erfolgt abhängig von der aktuellen Hubgeschwindigkeit und -position.

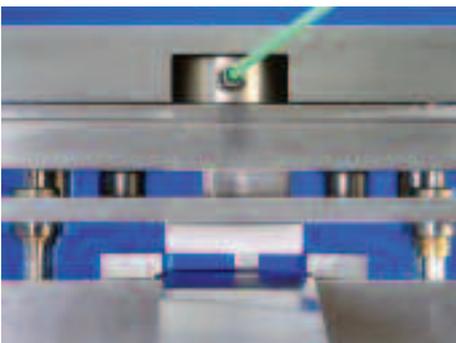
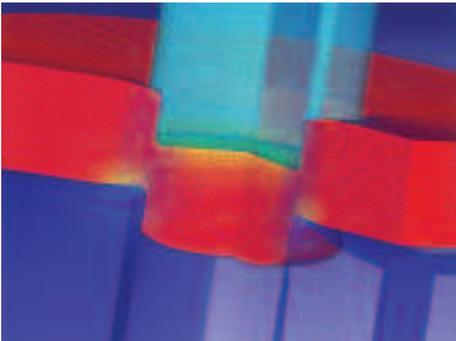
Ergebnisse und Anwendungen

Prägeversuche in Aluminium zeigen eine um den Faktor 2,5 größere Eindringtiefe im Vergleich zur Kaltumformung. Das Blech wird dabei 5 Sekunden lang erwärmt und anschließend mit einem strukturierten Hartmetallstempel umgeformt.

Mögliche Anwendungen sind vor allem in den Bereichen zu sehen, in denen hohe Bauteilqualitäten bei kleinen Strukturgrößen gefordert sind. Durch die Absenkung der Fließspannung können zudem hochfeste und spröde Materialien umgeformt werden.

Ansprechpartner

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



Oben: FEM-Simulation des Umformvorgangs.

Unten: Werkzeugeinsatz mit integriertem Kraftsensor für das Stanzen von $5 \times 0,3 \text{ mm}^2$ Schlitzten.



Aufgabenstellung

Der Einsatz von miniaturisierten Keramikteilen mit Detailabmessungen deutlich unter 1 mm oder Keramiken mit funktionaler mikrostrukturierter Oberfläche ist bisher mit hohem Kostenaufwand verbunden. Die bisherigen Möglichkeiten, diese Bauteile durch Spritzguss oder zerspanende Bearbeitung herzustellen, sind nur bedingt für Klein- und Mittelserien geeignet. Bei fortschreitender Miniaturisierung können darüber hinaus viele geforderte Geometrien mit den gängigen Fertigungsverfahren nicht mehr hergestellt werden. In diesen Fällen bietet sich die Laser-Abtragstechnik an, mit der Geometriedetails $< 100 \mu\text{m}$ hergestellt werden können, die jedoch beim Abtrag an gesinterten Keramiken für eine Großserienfertigung relativ langsam und teuer ist. Sollen hier die Vorzüge von Hochleistungs-Keramiken auch für Großserienbauteile erschlossen werden, müssen Fertigungsverfahren bereitgestellt werden, die schnell und zuverlässig Bearbeitungsgeometrien $< 100 \mu\text{m}$ erlauben.

Vorgehensweise

Um die Keramiken schnell und präzise zu strukturieren, werden sie im Grünzustand, d. h. im ungebrannten Zustand mittels Lasermikroabtrag bearbeitet. Hierzu wird eine Mikrostrukturierungsanlage mit einem frequenzverdreifachten Nd:YAG-Laser verwendet.

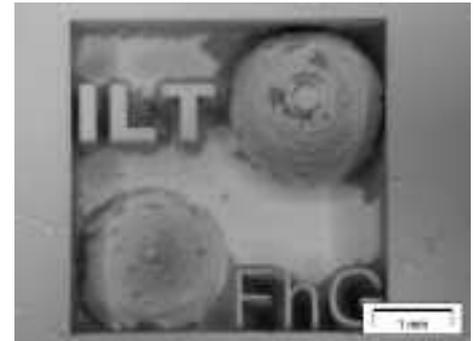
Die Anlage arbeitet mit einem 5-Achs-Bewegungssystem zur präzisen Positionierung der Probe und einem Scanner-system mit telezentrischer f-q-Linse, um eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit bei hoher Genauigkeit zu erreichen. Die Übermittlung der Geometriedaten erfolgt hierbei mittels einer CAD/CAM-Kopplung.

Ergebnisse und Anwendungen

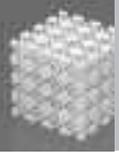
Durch die Bearbeitung der Keramik im grünen Zustand wird die Bearbeitungsgeschwindigkeit gegenüber gesinteter Keramik um bis zu einen Faktor 20 gesteigert. Auf diese Art können im Vergleich zu gesinterten Keramiken auch größere Flächen wirtschaftlich bearbeitet werden. Die erreichbaren Abtragsraten liegen hierbei im Bereich von $1 \text{ mm}^3/\text{min}$. Gleichzeitig lassen sich sehr feine Strukturen (ca. $50 \mu\text{m}$) bei hohen Aspektverhältnissen und Kantenwinkeln im Bereich von 5 bis 7° realisieren.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) C. Hartmann, Tel.: -207
claudia.hartmann@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

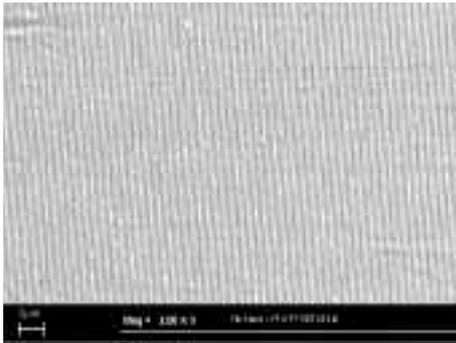


Oben: Mikrostrukturierung von Al_2O_3 Grünkeramik.
Mitte: Gleiche Keramik nach Sinterung.
Unten: Ausschnitt aus der Struktur nach dem Sintern.



Aufgabenstellung

Nanostrukturen bergen ein hohes Potenzial, Oberflächen mit neuen Funktionalitäten zu versehen, ohne dabei anderweitige Eigenschaften zu verändern. Durch das hohe Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis lassen sich sowohl optische als auch chemische Funktionalitäten einstellen, die mit glatten Oberflächen nicht zu erzielen sind. Durch eine Nanostrukturierung lassen sich z. B. auf bestimmten Polymeren superhydrophobe Oberflächeneigenschaften einstellen. Es kann durch eine derartige Strukturierung z. B. bei medizinischen Dosierhilfen ein vollständiges Abfließen des Medikamentes und dadurch eine exakte Medikamentengabe erzielt werden.



REM-Aufnahme, Streifenmuster-Struktur auf einer Polyimid-Folie.

Vorgehensweise

Zur Erzeugung von Nanostrukturen wurde eine Zweistrahl-Interferenz-Anlage aufgebaut, mit der es möglich ist, durch Interferenzeffekte Strukturlösungen unterhalb der verwendeten Wellenlänge zu realisieren. Als Strahlquelle wurde ein frequenzverdreifachter Nd:YAG-Laser mit einer Kohärenzlänge von ca. 1 Meter eingesetzt. Durch Variation des Bestrahlungswinkels sowie durch Einsatz unterschiedlicher optischer Elemente kann die Interferenzstruktur verändert werden. Mittels plankonvexer Linse wurde die Spotgröße und damit die Energiedichte des Strahls am Ort der Probe variiert. Mit diesem Aufbau ist es möglich, Streifen mit einer Breite von ca. 100 nm zu erzeugen.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit dieser Anlage wurden Nanostrukturen direkt durch photochemische Ablation in dünnen Polyimid-Folien (Handelsname: Upilex-S) generiert. Die Strukturbreite der mittels Einzelpuls-Verfahren erstellten Streifen beträgt ca. 120 nm.

Diese Streifen werden zur Untersuchung von Zellwachstumseigenschaften auf Oberflächen eingesetzt. Weiterhin dienen die Strukturen zur orts aufgelösten Ankopplung von Biomolekülen und im weiteren Entwicklungsverlauf zur Einstellung orts aufgelöster Oberflächeneffekte für Mikrofluidik-Komponenten.

Ansprechpartner

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



Aufgabenstellung

Wichtiger Bestandteil eines im Rahmen der medizinischen Diagnostik eingesetzten Gerätes ist ein elastomerummanteltes Bauteil, welches eine Bewegung relativ zu einer feststehenden Komponente ausführt. Zur Verringerung der Reibung soll das Elastomer auf der Oberfläche strukturiert werden. Dabei sind die Strukturiefen sowie die topografische Ausgestaltung noch frei wählbar.

Vorgehensweise

Da bereits gute Erfahrungen bei der Verwendung eines zuvor ausgewählten und getesteten Gleitmittels gemacht wurden, konzentrierten sich die Arbeiten zunächst auf eine möglichst optimale Verteilung des Schmiermittels über die Bauteiloberfläche.

Wegen der hohen Absorption von elastomeren Kunststoffen für infrarote CO₂-Laserstrahlung der Wellenlänge 10,6 µm wurde mittels einer am Fraunhofer ILT aufgebauten Vorrichtung die Kunststoff-Oberfläche des Bauteils mit regelmäßig angeordneten Vertiefungen versehen, um das Gleitmittel besser zu binden.

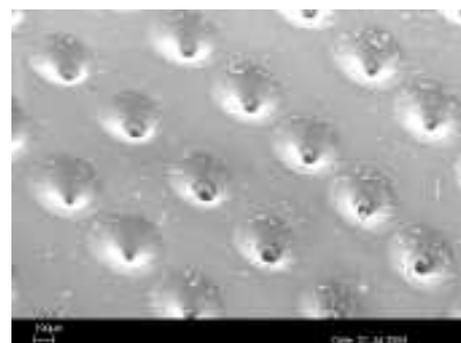
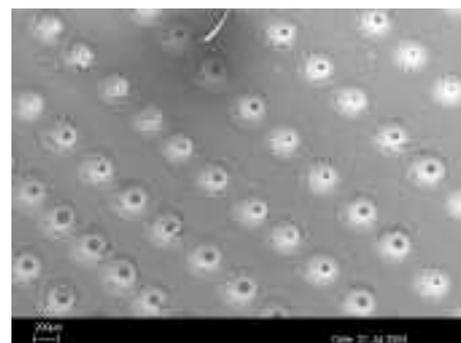
Die einzelnen Krater wurden durch Einzelpulse mit einer Pulsenergie von jeweils 30 mJ bei Pulslängen von 50 µs hergestellt. Das Bild zeigt eine REM-Aufnahme der Oberfläche.

Ergebnisse und Anwendungen

Obwohl derzeit noch keine quantitativen Reibungskennwerte gemessen werden konnten, zeigte sich bereits bei ersten Tests, dass ein zuvor beobachtetes Trockenlaufen der Reibflächen deutlich reduziert werden konnte. Zukünftig soll durch Variation von Lochtiefe, Lochabstand und Lochdurchmesser das Reibungsverhalten optimiert werden.

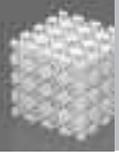
Ansprechpartner

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



Oben: REM-Aufnahme der mittels einzelner Laserpulse strukturierten Elastomer-Oberfläche.

Unten: REM-Aufnahme der mittels einzelner Laserpulse strukturierten Elastomer-Oberfläche (vergrößert).



Aufgabenstellung

Traumatische Verletzungen des Zentralnervensystems (ZNS) verursachen den Verlust neurologischer Funktionen. Die Entwicklung künstlicher Substrate, die Proliferation und Wachstum von Nervenzellen begünstigen, ist von großer Bedeutung auf dem Weg zur erfolgreichen Regeneration beschädigter Nerven.

Im Rahmen des Fraunhofer-Austauschprogramms PROF.x² werden lasermikrostrukturierte Polymersubstrate hinsichtlich ihrer Eignung, ein geleitetes axonales Wachstum von Nervenzellen zu induzieren, untersucht.

Vorgehensweise

Kanalförmig mikrostrukturierte Substrate aus Poly(dimethylsiloxan) (PDMS) werden sowohl durch Photolithographie/Abformung als auch durch direkte Polymerablation mit Excimerlaserstrahlung hergestellt. Die Substrate werden anschließend mit Poly-L-Lysin und Laminin beschichtet. Dorsale Wurzelganglienzellen (DRG) von postnatalen Ratten werden auf den Substraten für 24 Stunden kultiviert. Die Ausbreitung der Neuriten wird durch Phasenkontrastmikroskopie, Immunocytochemie und Rasterelektronenmikroskopie (REM) untersucht.

Ergebnisse und Anwendungen

Der Prozess der Laserablation eignet sich zur Herstellung topographisch modifizierter Substrate, die mit Neuronen besiedelt werden. Vorteilhaft ist die Flexibilität des Prozesses bezüglich der Geometrievielfalt im Vergleich zum Photolithographie-Prozess. Durch Laserablation können beispielsweise schräg abfallende Kanalwände und stufenförmige Gräben hergestellt werden. Die prozessbedingte erhöhte Rauheit von Kanalwänden und Plateaus eignet sich als »Ankerstruktur« für die Neuriten.

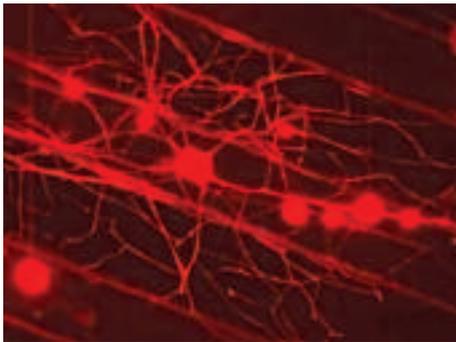
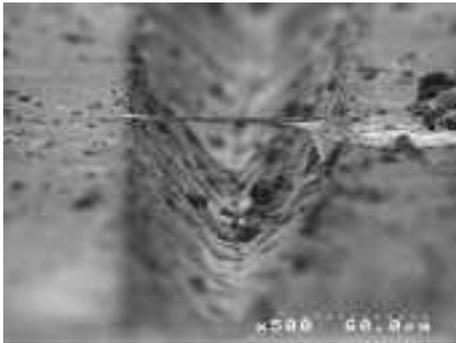
Der in der Gruppe von Prof. Hoffman-Kim erstmalig beschriebene »Bridging-Effekt« - die Fähigkeit von Neuronen, Gräben zu überbrücken - konnte auch auf Substraten mit lasergenerierten Kanälen beobachtet werden. Detaillierte Studien der zellulären Vorgänge in Abhängigkeit von Kanalgeometrie und Oberflächencharakteristik sind Gegenstand der Untersuchungen.

Maßgeschneiderte Oberflächentopographien auf der zellulären Größenskala können zur Steuerung des Neuronenwachstums beitragen. Sie sind somit ein wichtiges Designkriterium für zukünftige Implantate, die die Nervenregeneration anregen sollen.

In Kooperation mit Prof. D. Hoffman-Kim, Brown University, Providence, RI, USA.

Ansprechpartner

Dr. E. Bremus-Köbberling, Tel.: -202
elke.bremus@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: DRG Neuron überbrückt einen V-förmigen lasergenerierten Kanal (110 µm breit, 60 µm tief).
Unten: DRG Neuronen bilden ein kanalüberspannendes Netzwerk (Neurofilament-Färbung).



Aufgabenstellung

Für funktionale Untersuchungen an Mikrofluidsystemen werden oft nur wenige Testmuster benötigt, die mit den üblichen Fertigungsverfahren wie Heißprägen und Mikrospritzguss erst nach einer längeren Anlaufzeit für die Formherstellung und mit relativ hohen Stückkosten hergestellt werden können. Änderungen im Layout erfordern eine Überarbeitung der Werkzeuge und Formen, was eine Erprobung verschiedener Varianten erschwert.

Vorgehensweise

Im Rahmen des Verbundprojekts »RapidFluid - Rapid prototyping mikrofluidischer Bauteile« wurde eine Laseranlage zur prototypischen Fertigung von polymeren Mikrofluidkomponenten konzipiert und aufgebaut. An der Anlage sind ein ArF-Excimerlaser zum Abtragen der Mikrokanalstrukturen und ein Diodenlaser zum Aufschweißen eines Deckels kombiniert.

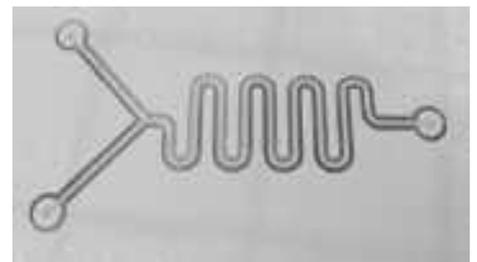
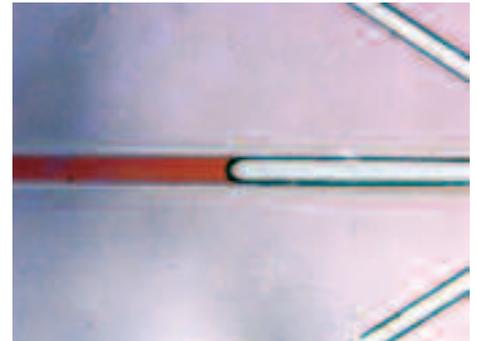
Die Geometrie der Kanalstruktur und die Anpassung der Schweißkontur werden über die Steuerungssoftware definiert. Damit entfällt die zeitaufwendige Anfertigung spezieller Masken oder Vorrichtungen.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Bearbeitungsmaschine besitzt zwei Bearbeitungspositionen. Zuerst wird die Kanalstruktur mit dem ArF-Laser ablatiert, anschließend das Werkstück in Position zwei gefahren, wo mit dem Diodenlaser eine Schweißbahn am Rand der Kanäle entlang gezogen wird. Durch die Verwendung derselben Aufspannung für beide Prozesse entfällt das Justieren des Werkstücks zwischen beiden Arbeitsschritten.

Typischerweise werden Teile in Polycarbonat oder Polymethylmetacrylat gefertigt, andere Werkstoffe und Werkstoffkombinationen sind möglich. Die Herstellung des im Bild unten gezeigten Testmusters erfordert nur einen Zeitaufwand von etwa 30 Minuten. Änderungen im Layout können schnell in die Steuerungssoftware übernommen werden.

Durch die Ablation mit UV-Strahlung wird z. B. an Polycarbonat die Benetzbarkeit der ablatierten Oberflächen stark verbessert, so dass die mit dem Laser ablatierten Kanäle ohne weitere Behandlung selbstbefüllend sind. Dies kann in vielen Fällen eine Oberflächenaktivierung der Substrate überflüssig machen. Das Bild oben zeigt als Beispiel die Selbstbefüllung eines Kanals mit Wasser, dem rote Tinte zugegeben ist.



Oben: Selbstbefüllung eines Kanals in Polycarbonat, Kanalbreite und -tiefe 200 µm.
Unten: Testmuster eines Mikrokanalsystems in Polycarbonat, Größe ca. 25 x 60 mm.

Ansprechpartner

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

Aufgabenstellung

Mikrohaare spielen in der Natur für eine Vielzahl von Lebewesen hinsichtlich ihrer Wechselwirkung mit der Umgebung eine entscheidende Rolle. Spinnen haben an den Beinen sogenannte Windhaare mit Längen bis zu 500 μm , mit denen sie die akustische und strömungsmechanische Umgebung wahrnehmen können. Bei Fischen erfüllt das sogenannte Seitenliniensystem eine ähnliche Aufgabe.

Von diesem Vorbild der Natur wird das technische Konzept für einen Sensor zur Messung von wandnahen Schubspannungen abgeleitet, bei dem die Auslenkung künstlicher Mikrohaare als Messgröße für die Analyse eines oberflächennahen Strömungsfeldes dient.

Vorgehensweise

Die Herstellung von feinsten Aspektverhältnissen ($A > 20$) erfordert eine kraftfreie Ausformung der Mikrohaarstrukturen. Die Herstellung der Sensorflächen erfolgt nach einem sogenannten »Lost-Mould-Verfahren«, bei dem zunächst in Wachsfolien kleinste Bohrungen mit Durchmessern von 20 μm bis 100 μm durch Abtrag mit einem Excimer-Laser eingebracht werden. Diese Bohrungen werden anschließend mit Polydimethylsiloxan (PDMS) abgegossen und ausgehärtet. Nach dem Aushärten wird die Wachsfolie aufgelöst und so eine kraftlose Entformung der flexiblen und filigranen Strukturen ermöglicht.

Ergebnisse und Anwendungen

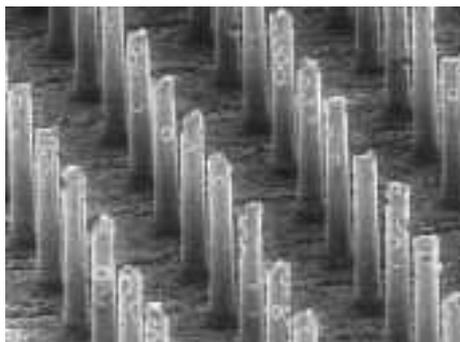
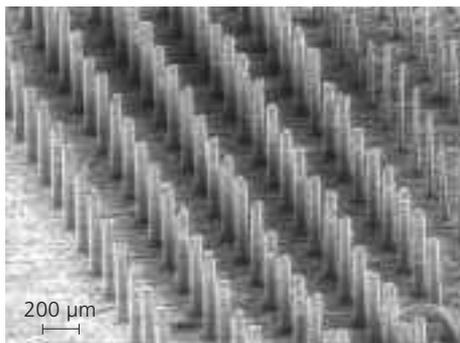
Nach dem beschriebenen Verfahren können Mikrohaare unterschiedlicher Geometrien hergestellt werden. Die kleinsten Bohrungen haben Durchmesser von 38 μm am Lasereintritt und 15 μm am Laseraustritt. Mit einem gemittelten Durchmesser von 26 μm ergibt sich bei einer Wachsfolienstärke von ca. 570 μm ein Aspektverhältnis größer 20.

Solche filigranen Mikrohaarstrukturen können für unterschiedlichste sensorische Konzepte verwendet werden. Raster von Mikrohaaren mit Durchmessern von ca. 50 μm und einer Höhe von 500 μm werden in einem Wandschubspannungssensor eingesetzt, der zusammen mit der TU Freiberg und ACCESS entwickelt wurde. Hier wird die Verbiegung der Mikrohaare bei verschiedenen Lastfällen optisch erfasst und ausgewertet. Aus den Messdaten können dann Berechnungen zum vorhandenen Strömungsfeld und zu den auftretenden Kräften angestellt werden.

In Kooperation mit der Technischen Universität Bergakademie Freiberg und ACCESS e.V.

Ansprechpartner

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



Oben: Array von Mikrohaaren mit Durchmessern von 90 μm .
Unten: Array von Mikrohaaren mit Durchmessern von 90 μm (vergrößert).



Aufgabenstellung

Transgene Pflanzen haben deutliche verbesserte agronomische Eigenschaften. So wurden mit Hilfe der Gentechnologie transgene Pflanzen hergestellt, die z. B. eine erhöhte Resistenz gegen Pflanzenpathogene oder Herbizide, einen gesteigerten Vitamin A- und C-Gehalt oder eine Verzögerung der Fruchtreife aufweisen. Die etablierten Verfahren zur Transfektion weisen aber je nach Pflanzenzelle spezifische Nachteile und geringe Transfektionseffizienz von typisch kleiner 1 % auf. Die transiente Optoperforation durch Laserstrahlung soll eine Verbesserung der Effizienz auf 10 % und ein weites Anwendungsspektrum erlauben.

Vorgehensweise

Die Perforation der Zellen erfolgt in steriler Umgebung durch einen Pikosekundenlaser, der an ein inverses Mikroskop mit Durchlichtbeleuchtung und Fluoreszenzdiagnostik adaptiert ist. Die Zellen werden präzise positioniert und tangential zum Plasmalemma mit einem einzigen Laserpuls perforiert (Bild oben). Der Erfolg der Perforation wird dabei durch das Eindringen eines Fluoreszenzfarbstoffes überprüft. Damit können Zellen, bei denen das Eindringen des Farbstoffes nicht beobachtet wird, aussortiert werden, so dass bei den verbleibenden Zellen eine Expression des Zielgens mit hoher Effizienz zu erwarten ist. Diese Untersuchungen werden im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts »Photonische Techniken zur zellulären Nanochirurgie« in enger Kooperation mit dem Fraunhofer IME durchgeführt.

Ergebnisse und Anwendungen

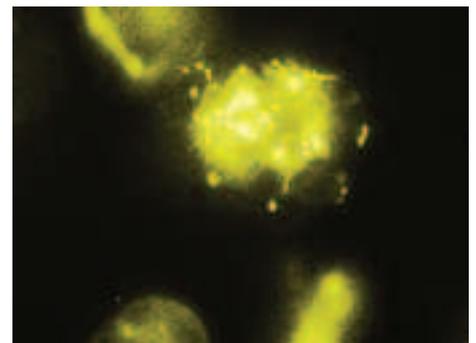
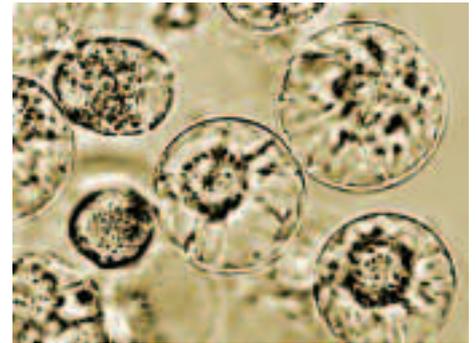
Die Untersuchungen konzentrieren sich zunächst auf BY2-Protoplasten, die keine störende Zellwand mehr besitzen und als bekanntes Modell zur Festlegung der Verfahrenstechnik dienen. Entscheidend für eine erfolgreiche Perforation ist die Einhaltung eines engen Prozessfensters. Durch den Laserpuls darf nur das äußere Plasmalemma des Protoplasten perforiert werden, während der innenliegende Tonoplast erhalten bleiben muss.

Mit Hilfe eines Reportergens (EYFP) konnte die transiente Transformation einzelner Protoplasten nachgewiesen werden (Bild unten). Ziel der weiteren Arbeiten ist die Charakterisierung der transgenen Zellen und die Erprobung einer halbautomatisierten Arbeitsstation. In dieser Anlage wird die Lage und Orientierung der Zellen mit einer Bildauswertesoftware bestimmt. Die Steuerung des Lasers zur Perforation der Zellen erfolgt automatisch. Der Erfolg einer Perforation wird anhand des Eindringens eines Farbstoffes detektiert und die Zellen sortiert.

In Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME.

Ansprechpartner

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



Oben: Positionierung von BY2-Protoplasten im Durchlicht.
Unten: Erfolgreiche Transformation mit Expression des Reportergens.

Aufgabenstellung

Das Heißgas im Inneren einer Brennkammer erreicht Temperaturen bis 1500 °C. Damit die Brennkammerwände der hohen thermischen Belastung standhalten, müssen die Strukturen effektiv gekühlt werden. Die vom Institut für Eisenhüttenkunde entwickelten offenporigen und hochwarmfesten metallischen Schäume homogenisieren durch eine große Anzahl gleichmäßig verteilter Poren das Austreten des Kühlmediums. Die große Oberfläche führt zu einer effizienten Kühlung der Brennkammerwand. Eine Wärmedämmschicht schützt den Schaum vor dem Heißgas der Brennkammer. Die Wärmedämmschicht muss durch Laserstrahlbohren geöffnet werden.

Vorgehensweise

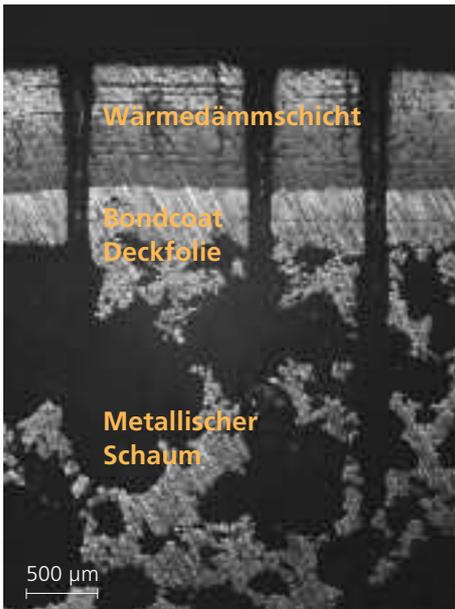
Unterschiedlich gepulste Strahlquellen und verschiedene Bohrverfahren (Pulsdauern von 1 ms bis 30 ns) werden auf ihre Eignung zum Bohren metallischer Schäume ohne Beschichtung getestet. Die Bohrungen werden metallurgisch untersucht und bezüglich Recast und Schädigungen der dünnen Stege im Schaum beurteilt. Die Ergebnisse werden an Mehrschichtsystemen verifiziert. Die Bohrungen haben einen Durchmesser von 200 µm bei einer Bohrungsdichte von 100 Bohrungen pro cm².

Ergebnisse und Anwendungen

Der durch die Wärmedämmschicht verschlossene Schaum kann effizient durch Perkussionsbohren geöffnet werden. Die Bearbeitungszeit pro Bohrung liegt unter einer Sekunde. Die Bohrungen sind in der Tiefe reproduzierbar und durchdringen im Mittel die gleiche Anzahl an Poren, die nicht durch Schmelze verschlossen werden. Das Mehrschichtsystem kann nach den Anforderungen zur Kühlung der Brennkammer durchströmt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. K. Walther, Tel.: -409
kurt.walther@ilt.fraunhofer.de
Dr. E. W. Kreutz, Tel.: -146
ernstwolfgang.kreutz@ilt.fraunhofer.de



Mehrschichtsystem bestehend aus keramischer Wärmedämmschicht (ZrO₂), Bondcoat (MCrAlY), Deckfolie (18Cr9Ni) und metallischem Schaum (AISI 316 LF).



Aufgabenstellung

Aus den Vorarbeiten zur Diagnose und Simulation ist ein Modell entwickelt worden, das grundlegende Zusammenhänge der Qualität der Bohrung (geometrische Form der Bohrung, Schmelzaustrieb und Recast) mit der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Intensität im Laserstrahl erfasst (Intensität $I_0 < 10^8 \text{ Wcm}^{-2}$, Strahlqualität $M^2 < 2$, Pulsdauer $t_p > 5 \mu\text{s}$). Experimentelle Vorarbeiten zur Pulsformung geben Hinweise darauf, dass die Qualität der Bohrung von der zeitlichen Pulsform abhängt. Die Aufgabenstellung besteht darin, das vorliegende Modell durch Vergleich mit Bohrergebnissen des Kunden zu evaluieren und die Erweiterung des Modells für die Anwendung auf ns-Pulse vorzubereiten.

Vorgehensweise

Das physikalische Modell wurde schrittweise erweitert, um den Transport von Masse, Impuls und Energie in der kondensierten und der gasförmigen Phase sowie die Bewegung der Phasengrenzen (fest-flüssig, flüssig-gasförmig), den Zustand der Materie (Zustands- bzw. Materialgleichungen) und die kinetischen Vorgänge (stationäre Boltzmann Gleichung) bei den Phasenübergängen (Schmelzen, Verdampfen) zu erfassen. Um einen beherrschbaren Parametersatz angeben zu können, werden mathematische Modelle mit reduzierter Dimension im Phasenraum angegeben. Die Anzahl der Freiheitsgrade wird durch Anwendung eines Ansatzes für die Temperatur und die Geschwindigkeit der Schmelzströmung mit endlich vielen, zeitabhängigen Parametern begrenzt. Die Qualität der

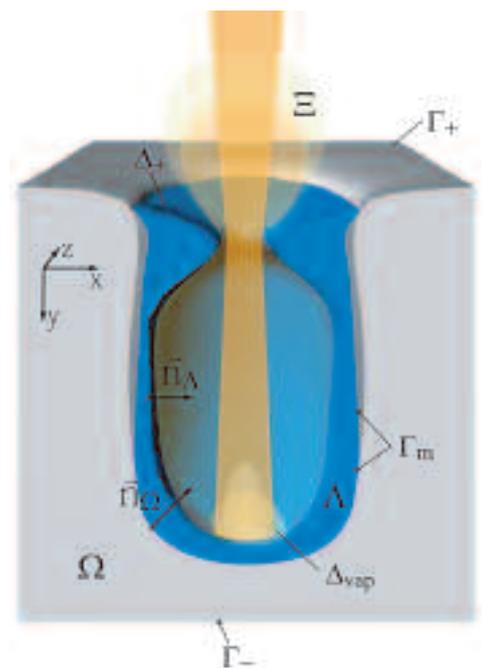
asymptotischen Ansätze wird durch Anwendung spektraler Methoden überprüft. Durch Analyse der reduzierten Bewegungsgleichungen werden die typischen Zeitskalen der physikalischen Teilprozesse angegeben und so die numerische Simulation vorbereitet.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Beschleunigung der Schmelze am Bohrungsgrund und deren Verzögerung entlang der Bohrungswand sind wesentliche Eigenschaften des Bohrens. Am Bohrungsgrund wird die Schmelze vom Rückstoßdruck des verdampfenden Materials beschleunigt. Die stationäre Geschwindigkeit wird nach einer Relaxationszeit von typischerweise $0,1 \mu\text{s}$ erreicht (Intensität $I_0 = 10^8 \text{ Wcm}^{-2}$, Strahlradius $20 \mu\text{m}$, Edelstahl). Stromabwärts nimmt die Intensität der Laserstrahlung ab. Die Verdampfung wechselt zum Rekondensieren und das Aufschmelzen zum Erstarren. Rekondensation, Erstarrung und Reibung an der Bohrungswand verzögern die Schmelze. Die Schmelze strömt in typischerweise $100 \mu\text{s}$ vom Grund bis zum Austritt der Bohrung (2 mm Bohrungstiefe). Die Simulation zeigt die Zunahme der Schmelzfilmdicke bis zum Verschließen der Bohrung (s. Bild).

Ansprechpartner

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



Simulation des Bohrens mit μ s-Pulsen. Das Berechnungsgebiet Ω , dessen freie und feste Ränder G , die Schmelzfront G_m und ein entstehender Verschluss am Eintritt der Bohrung sind dargestellt.

Aufgabenstellung

Die Ausbildung von Rissen und Recast sind wesentliche Qualitätsmerkmale des Schmelzbohrens mit μ s- und ns-Pulsen. Die Anwenderfragestellung besteht darin, eine Simulation zu entwickeln, mit der die zugrunde liegenden Phänomene erfasst werden.

Am Fraunhofer ILT ist ein Modell entwickelt worden, das die Verdampfung am Bohrungsgrund, die Strömung von Schmelze und Dampf in der Bohrung sowie deren Erstarrung bzw. Rekondensation beschreibt. Die Wirkungen der Trägheit der Schmelze auf die Dicke des Recast und die Bohrungsbreite werden in Abhängigkeit von der Pulsdauer genauer untersucht.

Vorgehensweise

Ausgehend von einer Simulation des Abtrags der festen Phase (Aufschmelzen) beim Bohren wird die hydrodynamische Aufgabe der Schmelzströmung mit integralen und spektralen Methoden behandelt und zusammen mit der Verdampfung an den Abtrag der festen Phase gekoppelt.

Ergebnisse und Anwendungen

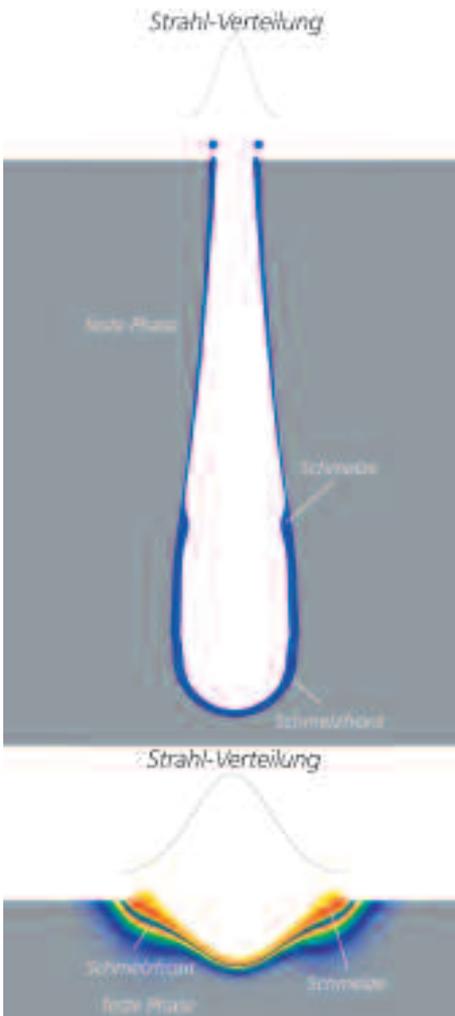
Mit der Schmelzströmung wird neben der Masse auch Wärme vom Bohrungsgrund an die Bohrungswand transportiert und die Bohrgeschwindigkeit wird kleiner. Für μ s-Pulse wird die Bohrungsbreite dadurch im Vergleich zum Strahldurchmesser bis zum 2,5-fachen Wert vergrößert.

Für ns-Pulse wird die Trägheit der Schmelze dominant und das erzeugte Schmelzvolumen verbleibt in der Umgebung des Bohrungsgrundes. Um die maximale Strömungsgeschwindigkeit der Schmelze (typischer Zahlenwert: 60 m/s für eine Intensität von 10^8 W cm^{-2} und einen Strahlradius von $20 \mu\text{m}$) zu erreichen, sind Pulsdauern in der Größenordnung von einigen μ s notwendig.

Die detaillierte Analyse der Schmelzströmung und deren Erstarrung (Recast) zeigt, dass zusätzlich zur Pulsdauer auch die Bohrungstiefe und die räumliche Verteilung der Laserstrahlung zu kontrollieren sind. Für Intensitäten größer als 10^8 W cm^{-2} ist zusätzlich die Rekondensation von Dampf an der Bohrungswand zu berücksichtigen.

Ansprechpartner

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



Oben: μ s-Pulse, maximaler Austrieb (μ s-Modell). Beim Bohren mit μ s-Pulsen wird die maximal mögliche Geschwindigkeit der Schmelze erreicht.

Unten: ns-Pulse, trägheitsbegrenzter Austrieb (ns-Modell). Beim Bohren mit ns-Pulsen verbleibt die Schmelze am Bohrungsgrund.



Aufgabenstellung

Beim Perkussionsbohren soll mit jedem Puls der Laserstrahlung ein möglichst großes Volumen aufgeschmolzen (Produktivität) und möglichst vollständig ausgetrieben werden (Qualität). Der unvollständige Schmelzaustrieb beim Einzelpulsbohren und die in mehreren Schichten an der Bohrungswand erstarrende Schmelze (Recast) beim Perkussionsbohren schränken die Produktivität und die Qualität des Bohrprozesses ein.

Die Aufgabenstellung besteht darin, ein dynamisches Modell zu formulieren, das die Leistungsanteile zum Aufschmelzen und Verdampfen sowie die austreibenden Kräfte aufgrund des Verdampfens am Bohrungsgrund auch bei modulierter Laserleistung erfassen kann. Durch experimentelle Untersuchungen wird die Modellbildung geführt.

Vorgehensweise

Aufbauend auf den Vorarbeiten zur Diagnose und Simulation der Laserfertigungsverfahren Schneiden, Trepanieren und Schweißen wird in schrittweiser Erweiterung ein Modell entwickelt, das die dynamischen Vorgänge beim Bohren von metallischen Werkstoffen mit gepulster bzw. modulierter Laserstrahlung beschreibt (Intensität $I_0 < 10^9 \text{ Wcm}^{-2}$, Strahlqualität $M^2 < 2$, Pulsdauer $t_p > 0.1 \mu\text{s}$). Das Modell wird erweitert, um die Strömung der Schmelze und die dynamischen Vorgänge in der Gasphase wie z. B. Verdampfung, Strömung sowie Rekondensation des Dampfes innerhalb des Bohrkanals mit zu erfassen. Der Massenstrom (Modell von Aoki und Sone) an verdampfender Schmelze und die Strömung des Dampfes (Eulergleichungen) werden numerisch berechnet.

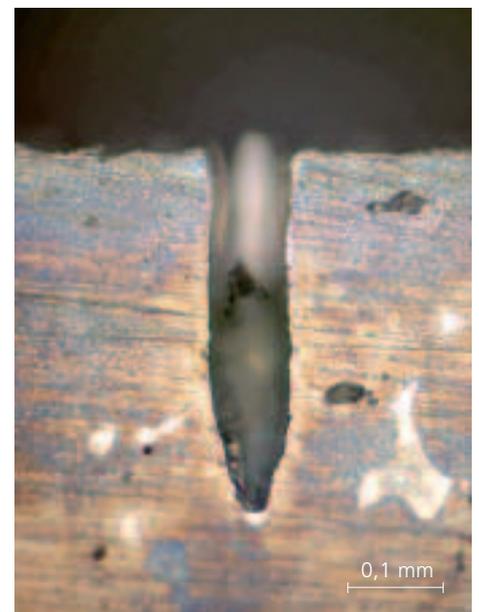
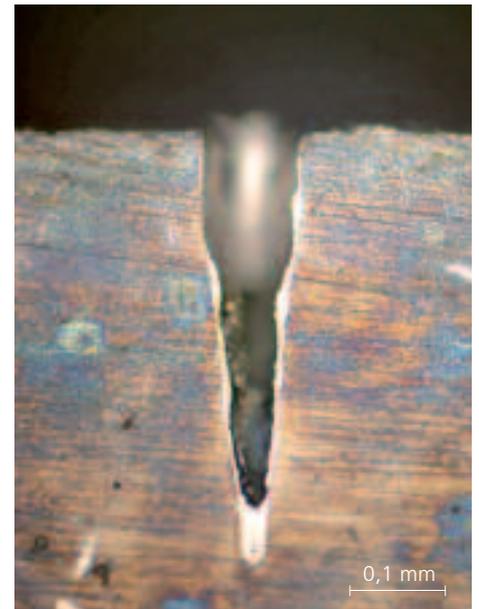
Ergebnisse und Anwendungen

Die Dicke des Schmelzfilms entlang der Bohrung, der Anteil an erstarrter Schmelze und die Ablösung der Schmelze am Eintritt der Bohrung werden in Abhängigkeit globaler Parameter der Laserstrahlung am Bohrlochgrund berechnet. Aufgrund unterschiedlicher Zeitskalen der Vorgänge innerhalb der Bohrung (Einsetzen der Verdampfung, Beschleunigen am Bohrungsgrund, Strömen der Schmelze entlang der Bohrungswand etc.) hängen z. B. die Breite $2 r_B(z)$ der Bohrung sowie die erreichbare Bohrungstiefe mit nahezu vollständigem Schmelzaustrieb von der zeitlichen und räumlichen Verteilung der Intensität am Bohrungsgrund ab.

Kleine Werte für die Intensität zum Ende des Laserpulses bewirken eine spitz zulaufende Bohrung (Bild oben) und sind eine Ursache für den unvollständigen Schmelzaustrieb. Durch zeitliche Pulformung (z.B. Pockelszelle) wird eine zylindrische Bohrung erzeugt und die entstehende Schmelze wird nahezu vollständig ausgetrieben (Bild unten).

Ansprechpartner

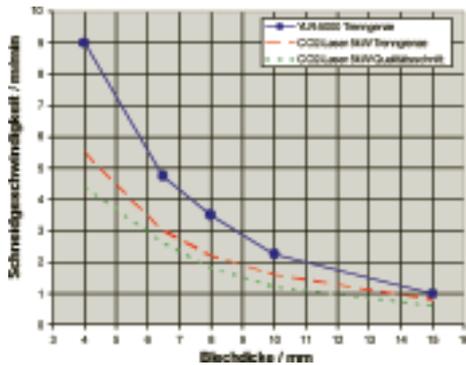
Dipl.-Phys. U. Eppelt, Tel.: -163
 urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de
 Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
 wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Recast durch unvollständigen Schmelzaustrieb und spitz zulaufende Bohrung.
Unten: Nahezu vollständiger Schmelzaustrieb und zylindrische Bohrung.

Aufgabenstellung

Mit Faserlasern hoher Brillanz lässt sich auch im Multi-Kilowattbereich inzwischen eine gleichwertige oder sogar bessere Fokussierbarkeit als mit CO₂-Lasern realisieren. Die Grenzen des potenziellen Anwendungsspektrums von Festkörperlasern werden sich damit auch beim Schmelzschnitten zu größeren Blechdicken erweitern. Hier soll untersucht werden, welche Schneidergebnisse mit 5 kW Laserleistung beim Schmelzschnitten von Edelstahl möglich sind.



Vorgehensweise

Für die Versuche stand ein 5 kW-Faserlaser mit einem Strahlparameterprodukt von 4,5 mm*mrad zur Verfügung. Dieser Wert entspricht der Strahlqualität von CO₂-Lasern, wie sie heute typischerweise für das Schneiden im Multi-Kilowattbereich eingesetzt werden. Zur Fokussierung wurde eine Linsenoptik mit 300 mm Brennweite eingesetzt. Der Fokussdurchmesser beträgt damit etwa 260 µm bei einer Rayleighlänge von 4,0 mm. Es wurden bei 5 kW Laserleistung am Werkstück Bleche (1.4301) in Dicken von 4 bis 10 mm geschnitten, in einigen Testversuchen auch 15 mm dicke Bleche. Die Versuche wurden mit dem ILT-Kombikopf mit autonomer Düse durchgeführt.



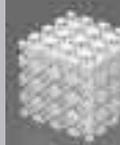
Oben: Schneidgeschwindigkeiten in Edelstahl mit 5 kW-Lasern.
Unten: Schneiden mit Faserlaser und Kombikopf.

Ergebnisse und Anwendungen

Die bei optimierter Fokusslage ermittelten maximalen Schneidgeschwindigkeiten erreichen bei 15 mm Materialstärke die Werte von CO₂-Lasern und übertreffen diese bei dünneren Blechen bis 4 mm um bis zu 60 %. Angesichts der vergleichbaren Strahlqualität und Fokussierung ist die wesentliche Ursache für die beobachtete Geschwindigkeitssteigerung in der kürzeren Wellenlänge des Faserlasers (1,07 µm gegenüber 10,6 µm beim CO₂-Laser) und den daraus ableitbaren spezifischen Absorptionsbedingungen in der Schnittfuge zu finden. Rechnungen mit dem Simulationsprogramm CALCut bestätigen das experimentelle Ergebnis und helfen bei der quantitativen physikalischen Analyse des Prozesses. Während die Geschwindigkeit von CO₂-Laserschnitten übertroffen wird, wurde die von sehr guten CO₂-Laserschnitten gewohnte hervorragende Qualität der Schnittfläche insbesondere bei den größeren Blechdicken mit dem Faserlaser noch nicht erreicht. Arbeiten zur Optimierung der Schnittqualität werden auf der Grundlage detaillierter physikalischer Prozessanalysen durchgeführt. Ab Anfang 2006 steht im Fraunhofer ILT dazu ein Faserlaser mit 4 kW Leistung und einer Strahlqualität ≤ 2,5 mm mrad zur Verfügung. Diese Strahlqualität übertrifft selbst die von Grundmode-CO₂-Lasern.

Ansprechpartner

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



Aufgabenstellung

Ein herausragendes Merkmal der multifunktionalen Fertigung mit dem Kombikopf ist die Möglichkeit, schnell, d. h. in Sekundenbruchteilen, und beliebig oft zwischen Laserschneiden und Laserschweißen wechseln zu können. Dieses Merkmal wurde an einem exemplarischen Bauteil in Patchwork-Bauweise demonstriert.

Vorgehensweise

Das Patchwork-Teil wurde mit einem diodengepumpten Nd:YAG-Laser ROFIN DY044 aus zwei aufeinander gespannten, 1 mm dicken Baustahlblechen gefertigt (1). Zuerst wurde die Kehlnaht am Überlappstoß geschweißt (2). Im Anschluss erfolgte die schnelle Umschaltung vom Laserschweiß- zum -schneidprozess durch Anpassung des Arbeitsabstandes und Schalten der Magnetventile, die den Kombikopf für den jeweiligen Prozess mit dem notwendigen Gas und Gasdruck versorgen. Beim Schweißen wurde mit der autonomen Düse eine Argon-Gasströmung mit geringem Volumenstrom (10 l/min) zur Prozessstabilisierung und beim Schneiden ein Hochdruck-Stickstoffstrahl zum Austrieb der Schmelze aus der Schneidfuge erzeugt. Als nächster Fertigungsschritt wurde der kombinierte Besäum-/Konturschnitt (3) durch-

geführt, durch den ein Flansch mit zwei Montagelaschen entsteht. Die anschließend erzeugte I-Naht am Überlappstoß (4) wurde mit parallelem Versatz besäumt (5), wodurch das Patchwork-Teil gleichzeitig abgeschnitten wird. Nach Bedarf können in einem vorgelagerten Arbeitsschritt zusätzlich individuelle Montagelöcher in die Laschen oder in den überlappenden Blechbereich geschnitten werden.

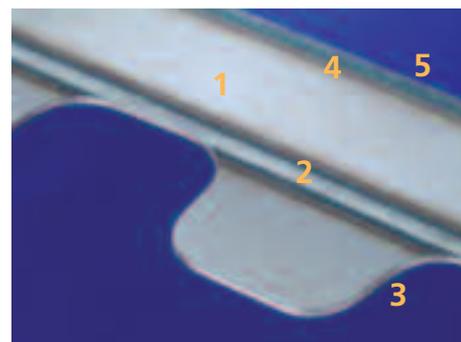
Ergebnisse und Anwendungen

Die Schnittbahnen der Besäumschnitte verlaufen exakt am Rand der zuvor erstellten Kehlnaht und I-Naht, also gerade noch im Schweißgefüge. Die relative Verschiebung der Bahnen zueinander kann ohne Nahtverfolgung äußerst präzise eingehalten werden, da der Kombikopf nur einen gemeinsamen Werkzeugbezugspunkt (Tool Center Point) für die beiden Prozesse verwendet.

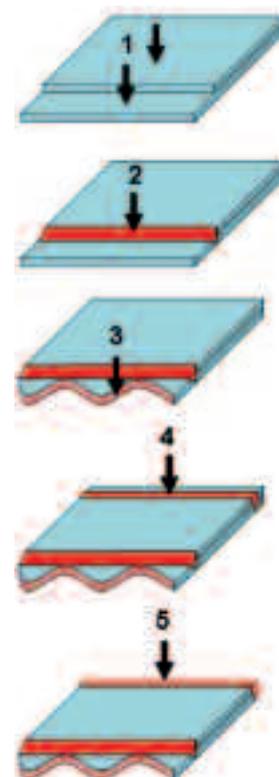
Durch die abschnittsweise Besäumung der Kehlnaht und die vollständige Besäumung der I-Naht entstehen dicht verschweißte, spaltlose Bauteilkanten, an denen trotz Blechüberlappung keine Spaltkorrosion auftreten kann.

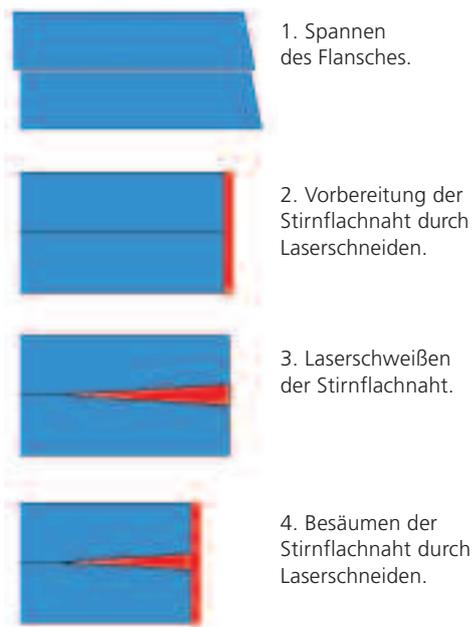
Ansprechpartner

Dr. F. Schneider, Tel.: -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. C. Benter, Tel.: -219
christian.benter@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Oben: Patchwork-Komponente.
Unten: Fertigungsschritte der multifunktionalen Bearbeitung an einer Patchwork-Komponente:
1. Stapeln und Spannen der Bleche, 2. Schweißen: Kehlnaht am Überlappstoß, 3. Besäumen und Konturschneiden am Flansch, 4. Schweißen: I-Naht am Überlappstoß, 5. I-Naht am Überlappstoß besäumen.





Aufgabenstellung

Die Bearbeitung von Flanschkanten an Blechbaugruppen ist insbesondere bei der Fertigung von Fahrzeugkomponenten eine häufig wiederkehrende Aufgabe. Durch die Möglichkeit, mit dem Kombikopf Schneid- und Schweißoperationen in beliebiger und schnell wechselnder Abfolge durchführen zu können, eröffnen sich neue, wirtschaftlich und fertigungstechnisch vorteilhafte Möglichkeiten.

Vorgehensweise

Alternativ zur üblicherweise an Flanschkanten verwendeten I-Naht oder Kehlnaht am Überlappstoß wurde mit einem Faserlaser vom Typ YLR-5000-S des Herstellers IPG Photonics eine »besäumte Stirnflachnaht« erzeugt. Die hochbrillante Strahlquelle liefert eine Ausgangsleistung von 5 kW bei einem Strahlparameterprodukt von 4,5 mm mrad. Die Laserstrahlung wurde mit einer 300-mm-Optik fokussiert.

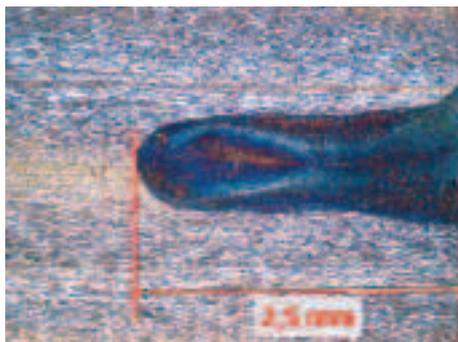
Entsprechend den Darstellungen im oberen Bild wurden zwei 1,5 mm dicke Stahlbleche überlappend aufeinander gespannt (1) und mittels eines Laserschchnitts (2) entlang der Blechkanten vorbereitet. Anschließend wurde die Stirnflachnaht (3) geschweißt, wobei der Laserspot entlang der Stoßlinie zwischen den beiden Blechen geführt wird. Abschließend wurde die Flanschkante durch oxidfreien Schmelzschnitt auf Endmaß besäumt (4) und dabei die Nahtoberraupe der Schweißung abgetrennt.

Ergebnisse und Anwendungen

Die durch diese Vorgehensweise entstandene Schweißverbindung darf im Vergleich zur üblichen I-Naht bei gleichen oder sogar höheren Anforderungen an die Festigkeit aufgrund des großen tragenden Querschnittes in Längsrichtung der Naht (2,5 mm im unteren Bild) sehr schmal sein. Die schmale Naht führt aufgrund der reduzierten Wärmeeinbringung zu minimiertem Kantenverzug. Durch die abschließende Kantenbesäumung wird eine hohe Passgenauigkeit erreicht. Außerdem ist die besäumte Stirnflachnaht »unsichtbar« und schließt exakt mit der Flanschkante ab, wodurch Spaltbildung und somit Spaltkorrosion ausgeschlossen sind. Die Bearbeitungs- zugänglichkeit für den Schweißprozess ist ausgezeichnet, da sich die Auflagepunkte der Spannvorrichtung auf der Ober- und Unterseite der Bleche beliebig nahe an der Kante befinden können, ohne die stirnseitig angreifende Laserstrahlung bzw. die Werkzeugspitze zu behindern. Durch diese Anordnung sind reduzierte Flanschbreiten möglich, sinnvoll z. B. zur Gewichtseinsparung oder um möglichst große Ausschnitte u. a. für Pkw-Fenster zu realisieren.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. C. Benter, Tel.: -219
christian.benter@ilt.fraunhofer.de
Dr. F. Schneider, Tel.: -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de





Aufgabenstellung

Durch die kombinierte Schneid- und Schweißbearbeitung mit Laserstrahlung mit einem Werkzeug, dem »Kombikopf«, ergeben sich insbesondere für die Fertigung von komplexen Serienbaugruppen mit hohen Genauigkeitsanforderungen wirtschaftliche Vorteile. Die multifunktionale Bearbeitung erlaubt einen mehrfachen und schnellen Wechsel vom Schneiden zum Schweißen und umgekehrt. Damit werden beispielsweise präzise Funktionsschnitte nach dem Fertigschweißen in einer Aufspannung wirtschaftlich anwendbar. Die multifunktionale Bearbeitung sollte an einem Rahmenbauteil für ein Nutzfahrzeug entsprechend Kundenvorgaben erprobt werden.

Vorgehensweise

Die Baugruppe besteht aus 2 mm und 3 mm dickem, unlegiertem Stahlblech. Als Laserquellen wurden ein diodengepumpter Stablaser mit einer Fokussierungsbrennweite von 200 mm und ein Faserlaser mit einer Brennweite von 300 mm getestet - jeweils mit einer maximal eingestellten Leistung von 3 kW.

In mehreren individuellen Arbeitsschritten wurde ein abgekantetes Funktionsblech (3 mm) mittels HV-Naht am schrägen Eckstoß (1 a) bzw. Kehlnaht am Überlappstoß (1 b) und ein weiteres Anschlussblech (2 mm) mit I-Naht am Überlappstoß (2) an das Rahmenprofil (2 mm) geschweißt. Ohne Kopfwechsel wurde anschließend in direkter Folge in die überlappenden Blechteile (2) ein Bohrungsschnitt und entlang der überstehenden Kante des Anschlussblechs ein Funktionsschnitt ausgeführt. Weiterhin wurde mit auf 2,3 kW reduzierter Laserleistung eine

Mutter mit Kehlrundnaht (3) an eine Bohrung im Profil angeschweißt, um an dieser Stelle ein Montagegewinde zur Verfügung zu stellen. Im inneren Bereich des Profils wurde abschließend die Rahmenkante auf Sollmaß besäumt (4).

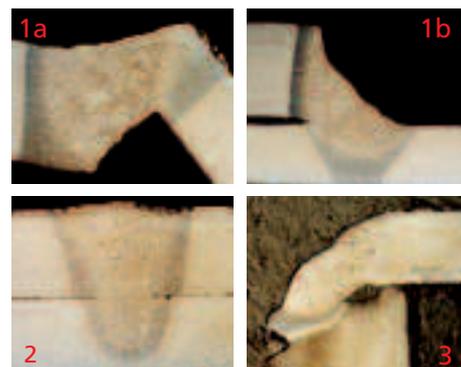
Ergebnisse und Anwendungen

Sowohl die mit dem Stablaser als auch die mit dem Faserlaser erzielte Qualität der Schweißverbindungen und Schnitte erfüllt die Anforderungen des Kunden. Das Potenzial des Kombikopfes bzgl. Prozessfähigkeit, Prozesssicherheit und Bearbeitungsqualität konnte demonstriert werden. Das Einsparpotenzial bezüglich Zeit und Kosten bei der Fertigung derartiger Bauteile konnte aufgezeigt werden.

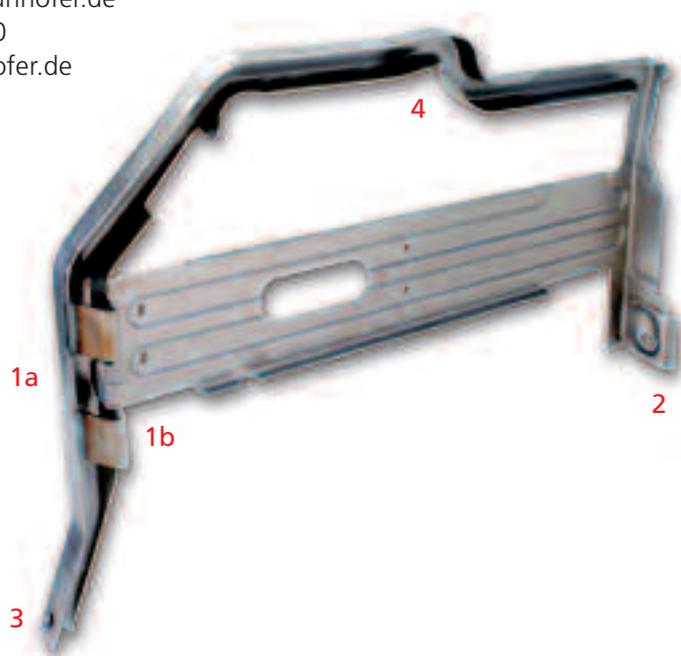
Die Untersuchungen wurden in Kooperation mit der Severt GmbH, Vreden, durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. C. Benter, Tel.: -219
christian.benter@ilt.fraunhofer.de
Dr. F. Schneider, Tel.: -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Oben: Nahtquerschnitte der Schweißverbindungen am Rahmenbauteil.
Unten: Multifunktional bearbeitetes Rahmenbauteil.



Aufgabenstellung

Nachdem das CO₂-Laser-MAG-Hybridschweißen im Dickblechbereich inzwischen im Schiffbau bis zu Wandstärken von 15 mm eingesetzt wird, ist der nächste Schritt die erfolgreiche Qualifizierung des Verfahrens in Richtung noch größerer Wandstärken. Ziel des laufenden europäischen RFCS-Vorhabens HYBLAS ist es, Verfahrensprozeduren für Bau- und Feinkornbaustähle mit Streckgrenzen von 355 - 690 MPa und Wandstärken von bis zu 30 mm zu entwickeln.

Vorgehensweise

Für die Versuche wurde ein Laser der Fa. Trumpf mit der Bezeichnung TLF 20000 turbo und einer Maximalleistung von 21 kW am Werkstück sowie eine programmierbare Schweißstromquelle TPS 450 der Fa. Fronius benutzt. Mit optimierten Nahtformen, Streckenergien und Prozessführungen wurde die Qualität der Hybridschweißungen im Hinblick auf die Vermeidung von Heißrissen, Poren und Einbrandkerben verbessert.

Ergebnisse und Anwendungen

Im Rahmen des Projektes konnten heißrissfreie Schweißungen bis zu einer Materialstärke von 20 mm erzielt werden. Bei optimierten Parametern waren nahezu porenfreie Schweißnähte mit einem sehr sanften Übergang zum Grundwerkstoff realisierbar. Die Schweißnahtqualitäten erfüllen die Anforderungen der höchsten Bewertungsgruppe B der EN ISO 13919-1. Die hybridgeschweißten Bleche wurden in Schwingfestigkeitsuntersuchungen geprüft. Die Ergebnisse der Vierpunktbiegeprüfungen zeigten für die 15 und 20 mm starken Bleche ausgezeichnete Werte, die oberhalb eines Kerbfalls von 160 liegen. Dabei betragen die Schweißgeschwindigkeiten 1,2 m/min für die 15 mm und 0,8 m/min für die 20 mm Bleche.

Die 25 mm Bleche konnten mit äußerlich einwandfreiem Resultat gefügt werden, jedoch konnte das Heißrissproblem noch nicht gelöst werden. Hierzu werden zur Zeit zusätzliche Maßnahmen erprobt.

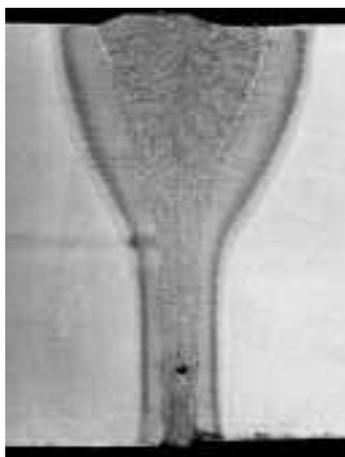
Die Arbeiten werden im Rahmen des EU Projektes »Economical and safe laser hybrid welding of structural steel - HYBLAS« durchgeführt, welches vom Research Fund for Coal and Steel gefördert wird.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. C. Fuhrmann, Tel.: -221
christian.fuhrmann@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



15 mm CO₂-Laser-MAG-Hybridschweißung,
 $v_s = 1,2$ m/min, $P_L = 12,5$ kW,
Position PC. Oben: Naht-
oberseite, unten: Querschliff.



20 mm CO₂-Laser-MAG-Hybridschweißung,
 $v_s = 0,8$ m/min, $P_L = 16,1$ kW,
Position PC. Oben: Nahtober-
seite, unten: Querschliff.



Aufgabenstellung

Im Rahmen eines Projektes mit der Georg Martin GmbH sollen durch Laserstrahl-Auftragschweißen Funktionsflächen von Greifern aus Stahl (QSt 420) mit Wolframkarbidhartmetall beschichtet werden. Die Greifer werden in der papierherstellenden bzw. -verarbeitenden Industrie zum Transport von Papierbahnen eingesetzt.

Konventionell werden die Greifer mit thermischem Spritzen (Flammspritzen mit Pulver) beschichtet. Das Laserstrahl-Auftragschweißen zeichnet sich gegenüber dem thermischen Spritzen durch einen kleineren Wärmeeintrag und einen größeren Pulverwirkungsgrad aus. Somit können sowohl Kosten in der Anschaffung des Pulvers als auch bei der teuren Entsorgung des Restpulvers, das als Gefahrstoff einzustufen ist, eingespart werden.

Die beschichtete Funktionsfläche muss abrasions- und ablationsfest sein. Die maximal zulässige Schichtdicke beträgt 200 µm. Die Oberfläche der auftraggeschweißten Schicht soll rau sein, um die erforderliche Reibung zwischen Greifer und Papier zu gewährleisten. Gleichzeitig darf die Oberfläche keine großen Rauheitsspitzen aufweisen, da diese Beschädigungen des Papiers verursachen können. Bauteilverzüge durch den Wärmeeintrag während des Laserstrahl-Auftragschweißens sind auszuschließen.

Vorgehensweise

Die Beschichtungen werden mit kontinuierlicher und gepulster Nd:YAG-Laserstrahlung durchgeführt. Die Zuführung des pulverförmigen Zusatzwerkstoffs (Wolframkarbid in Nickelmatrix) erfolgt mit einer Koaxialdüse. Durch Anpassung der Verfahrensparameter Laserleistung, Vorschubgeschwindigkeit, Pulvermassenstrom, Pulsdauer und Pulsrepetitionszeit werden unterschiedliche Schichtdicken und Rauheitsstufen erzeugt.

Ergebnisse und Anwendungen

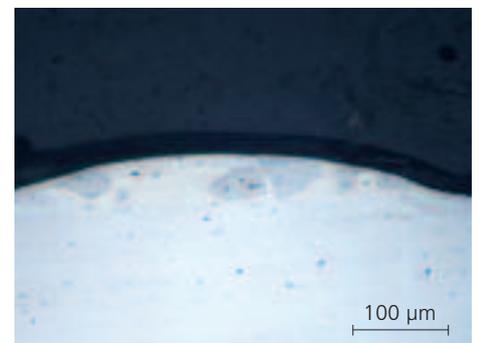
Bei geeigneter Wahl der Verfahrensparameter werden Schichten ohne Defekte wie Anbindungsfehler, Poren und Risse erzeugt (Bild unten, Schichtdicke: ca. 50 µm).

Die am Fraunhofer ILT auftraggeschweißten Schichten werden mit konventionell durch thermisches Spritzen hergestellten Schichten verglichen und bewertet. Die Ergebnisse der laserstrahl-auftraggeschweißten Schichten erfüllen die Anforderungen bzgl. Verschleißfestigkeit, Schichtdicke und Bauteilverzug. Die erforderliche Rauheit der Schichtoberfläche wird bei Verwendung von gepulster Laserstrahlung erreicht (Bild oben). Die Funktionsfähigkeit ist damit nachgewiesen.

Zur Zeit erfolgt die wirtschaftliche Bewertung des Verfahrens im Vergleich zum thermischen Spritzen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) P. Albus, Tel.: -479
patrick.albus@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Detail eines Papiergreifers mit Laserstrahl-auftraggeschweißter Beschichtung aus Wolframkarbidhartmetall.

Unten: Querschliff einer Laserstrahl-auftraggeschweißten Beschichtung aus Wolframkarbidhartmetall.

Aufgabenstellung

Blisks (blade integrated disks) sind Kompressorlaufräder mit integrierter Beschaukelung von Strahltriebwerken. Vorteile der Blisks im Vergleich zu konventionell beschaukelten Kompressorlaufrädern ist eine Gewichtsreduzierung, die je nach Bauart größer 30 % sein kann. Nachteile werden im Schadensfall deutlich: beim Defekt einer Schaufel muss die gesamte Blisk ausgetauscht werden. Derzeit existiert kein gesichertes Reparaturverfahren für Blisks. Laserstrahl-Auftragschweißen bietet eine Alternative. Versuche, Ein- und Ausströmkanten sowie Schaufelspitzen durch Laserstrahl-Auftragschweißen zu reparieren, werden durchgeführt. Weiterführend sollen Blisk-Schaufeln über eine größere Höhe mittels Laserstrahl-Auftragschweißen regeneriert werden.

Vorgehensweise

Die beschädigten Bereiche einer Schaufel werden gefräst. Ziel ist eine ebene Oberfläche zu schaffen und im Fall mehrerer defekter Schaufeln, die Anzahl der zur Reparatur erforderlichen NC-Programme auf ein Minimum zu reduzieren. Im angenommenen Fall werden die Blisk-Schaufeln so gefräst, dass 40 %, 60 % oder 80 % der ursprünglichen Schaufelhöhe von ca. 50 mm erhalten bleiben (Bild Mitte). Da die Schaufelgeometrien durch den Einsatz in einem Triebwerk nicht mehr den Soll-Geometriedaten des CAD-Daten-

satzes entsprechen, muss für die Reparatur eine Blisk-Schaukel taktill digitalisiert werden, um die Ist-Geometrie zu ermitteln (Bild oben). Mittels CAD-CAM-Kopplung werden die NC-Programme für die Reparatur erstellt. Die Reparatur der Blisk-Schaufeln erfolgt schichtweise durch Laserstrahl-Auftragschweißen mit artgleichem pulverförmigem Zusatzwerkstoff. Bis zu 60 % der Schaufelhöhe werden regeneriert.

Die Dicke der Blisk-Schaufeln variiert zwischen 0,4 mm und 2,2 mm. Die Laserleistung wird an die lokale Dicke der Blisk-Schaukel angepasst.

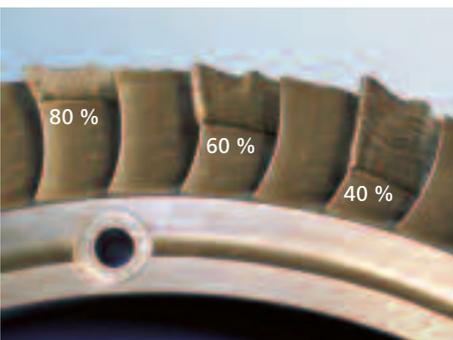
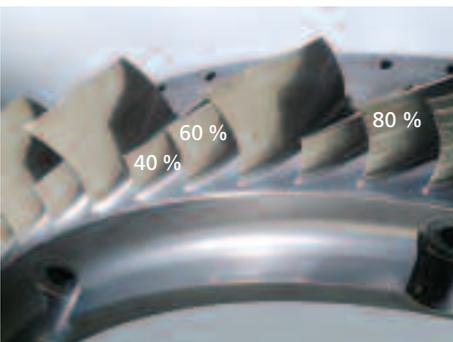
Ergebnisse und Anwendungen

Je neun Blisk-Schaufeln mit 40 % und 60 % sowie acht Blisk-Schaufeln mit 80 % Resthöhe werden durch Laserstrahl-Auftragschweißen regeneriert. Die laserstrahl-auftragsgeschweißten Bereiche sind oxidfrei. Das Übermaß der regenerierten Schaufeln beträgt 0,2 mm - 0,5 mm je Seite. Das Bearbeitungsergebnis ist reproduzierbar. Die Blisk wird derzeit HCF-Tests unterzogen, um die Eignung des Laserstrahl-Auftragschweißens als Reparaturtechnik für Blisks zu prüfen.

Das Projekt wurde von der EU unter der Nummer G4RD-CT2000-00404 (AWFORS) gefördert und insbesondere durch Rolls-Royce Deutschland unterstützt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. S. Keutgen, Tel.: -410
stefanie.keutgen@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. B. Burbaum, Tel.: -410
bernd.burbaum@ilt.fraunhofer.de
Dr. E. W. Kreutz, Tel.: -146
ernstwolfgang.kreutz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Erfassen der Ist-Geometrie durch taktile Digitalisierung.
Mitte: Blisk mit gefrästen Schaufeln, Resthöhen: 40 %, 60 % und 80 %.
Unten: Blisk mit regenerierten Schaufeln, Resthöhen: 40 %, 60 % und 80 %.



Aufgabenstellung

Armaturen für Wasserkreisläufe in Kernkraftwerken sind hohen Temperaturen (bis 350 °C) und Drücken (bis 300 bar) ausgesetzt. Dementsprechend müssen die eingesetzten Werkstoffe höchsten Ansprüchen bezüglich der Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit genügen. Häufig sind daher Beschichtungen notwendig, um die geforderten Eigenschaften zu erfüllen. Das Beschichten ist u. a. bei Schieberelementen für Rohrbruch-Isolierschieber notwendig. Als Schichtwerkstoff wird eine eisenbasierte Duplexlegierung verwendet, deren Gefüge aus Delta-Ferrit und Austenit besteht. Der Verschleißwiderstand wird maßgeblich durch den Ferrit bestimmt, dessen Anteil im Gefüge wiederum durch die Abkühlrate beim Auftragschweißen beeinflusst wird. Im Auftrag der Sempell AG soll mittels Laserstrahl-Auftragschweißen ein Gefüge mit erhöhtem Delta-Ferrit-Anteil und damit verbesserten Verschleißigenschaften eingestellt und das Verfahren für den industriellen Einsatz qualifiziert werden.

Vorgehensweise

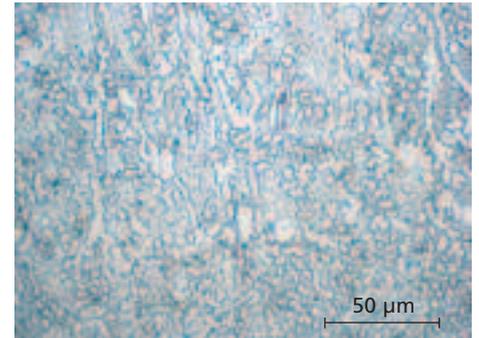
Das Laserstrahl-Auftragschweißen wird mit einem fasergekoppelten 2 kW Diodenlaser durchgeführt. Zunächst wird ein Parameterfenster ermittelt, mit dem defektfreie Schichten mit einer Dicke von mind. 1,2 mm einlagig hergestellt werden können. Anschließend werden beschichtete Schieberelemente in einem Versuchsstand getestet. Im nächsten Schritt erfolgt eine Schweißabnahme durch den TÜV und schließlich das Auftragschweißen einer Serie für den Einsatz im Kraftwerk.

Ergebnisse und Anwendungen

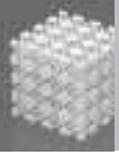
Die Parameterstudie zeigt, dass der geforderte Delta-Ferrit-Anteil um 50 Vol.-% im Gefüge reproduzierbar eingestellt werden kann (Bild oben). Genutzt wird dabei die erhöhte Abkühlrate gegenüber eingeführten Verfahren wie dem Plasma-Pulver-Auftragschweißen, die zu einem erhöhten Ferrit-Anteil bei der Erstarrung führt. Die Erstellung der CNC-Programme für das Beschichten der Flächen (Bild unten) erfolgt direkt aus den CAD-Daten. Das zeitaufwendige Teachen der Bahnen entfällt dadurch und verschiedene Bearbeitungsstrategien können schnell und flexibel getestet werden. Nach erfolgreichem Test der Schichten im Prüfstand der Sempell AG und der Abnahme des Verfahrens durch den TÜV werden 16 Elemente für den Einsatz im Betrieb beschichtet, die derzeit in die Armaturen eingebaut werden.

Ansprechpartner

Dr. A. Weisheit, Tel.: -403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de

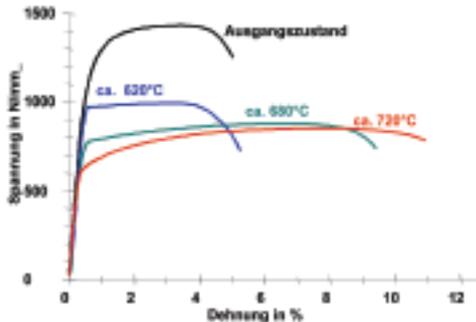


Oben: Gefüge der Duplexlegierung nach dem Laserstrahl-Auftragschweißen (blau: Delta-Ferrit).
Unten: Beschichtete Keilplatte eines Rohrbruch-Isolierschiebers.



Aufgabenstellung

In der Automobilindustrie werden zunehmend hoch- und höherfeste Stähle (z. B. MS- und DP-Stähle) zur Reduzierung des Fahrzeuggewichts und zur Verbesserung des Crash-Verhaltens eingesetzt. Die Umformbarkeit dieser Stähle ist jedoch eingeschränkt. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IWU werden Untersuchungen zur lokalen Wärmebehandlung mit Laserstrahlung durchgeführt, mit dem Ziel einer Entfestigung und daraus resultierend einer Erhöhung der Umformbarkeit.



Oben: Spannungs-Dehnungskurven von MS-W 1200 vor und nach der Laserstrahlbehandlung.

Unten: Unbehandelte (links: Risse) und laserstrahlbehandelte B-Säule (rechts: rissfrei) aus DP 600 nach der Umformung.

Vorgehensweise

An Blechen aus den o. g. Werkstoffen werden geeignete Verfahrensparameter für die Laserstrahlbehandlung erarbeitet. Bewertungskriterien sind zunächst das Gefüge und die Härte. In Zugversuchen am Fraunhofer IWU werden die mechanischen Eigenschaften bestimmt. Die Ergebnisse bilden die Basis zur Behandlung von Platinen für Umformversuche.

Ergebnisse und Anwendungen

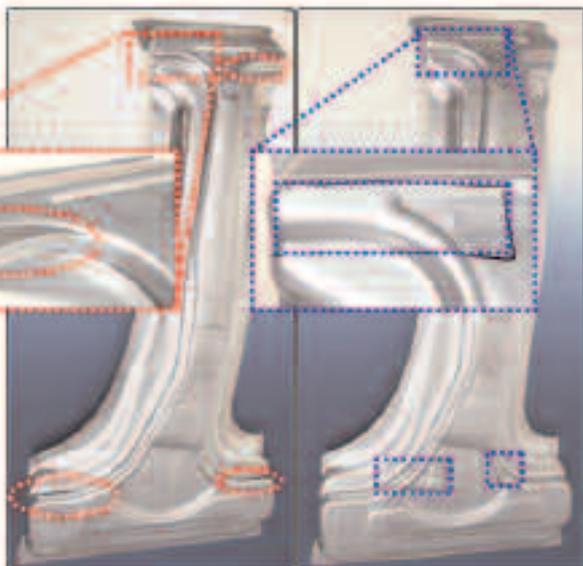
An den mit Laserstrahlung behandelten Werkstoffen MS-W 1200, DP 600 und DP 1000 werden in Abhängigkeit der Behandlungstemperatur Anlasseffekte und Phasenumwandlungen erzielt. Bei MS-W 1200 und DP 1000 wird zudem eine Reduzierung der Härte gemessen.

In Zugversuchen werden eine deutliche Verminderung der Dehngrenze und eine Erhöhung der Gleichmaßdehnung ermittelt (Bild 1). Die erhöhte Duktilität führt beim Tiefziehen eines »Hutprofils« aus einer wärmebehandelten Platine aus MS-W 1200 zu einer Reduzierung der benötigten Umformkraft um ca. 20 % im Vergleich zur Umformung einer unbehandelten Platine.

Erste Erfolge zeigen sich auch bei der Umformung von »B-Säulen« aus verzinktem DP 600. Die lokale Wärmebehandlung kritischer Bereiche führt zu einer Erhöhung des Formänderungsvermögens und damit zur Vermeidung von Rissen bei konstanter Umformkraft (Bild Unten).

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. G. Vitr, Tel.: -213
gilbert.vitr@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de





Aufgabenstellung

Beschriftungslaser werden neben der werkstück- und gerätespezifischen Kennzeichnung auch für die Designgebung verwendet. Zum Beschriften wird der Laserstrahl auf das Werkstück fokussiert. Dabei werden folgende Arten der Materialbearbeitung verwendet:

- Schichtabtrag / Gravieren
- Erzeugung von Anlassfarben
- Farbumschlag
- Ausbleichen / Aufschäumen

Beim selektiven Laserstrahlpolieren soll nun der Glättungseffekt beim Umschmelzen ausgenutzt werden, um damit Bilder und Muster auf Stahloberflächen (z. B. 1.2343) herstellen zu können.

Vorgehensweise

Das Bild, das auf der Oberfläche generiert werden soll, muss als Graustufen-Grafik vorliegen. Den Graustufen werden durch visuellen Abgleich Glanzgrade zugeordnet. Die unterschiedlichen Glanzgrade können durch Anpassung der Verfahrensparameter, wie z. B. Laserleistung und Scangeschwindigkeit, hergestellt werden. Ausgehend von der Bild-Datei wird ein Steuerungsprogramm generiert, das die Graustufen aus der Grafik in Verfahrensparameter »umwandelt«. So wird abhängig von den Graustufen im Bild jeder Position beispielsweise eine Laserleistung zugewiesen. Dadurch entsteht ein Bild aus verschiedenen Glanzgraden. Damit ein Bild in dieser Art und Weise in die Oberfläche poliert werden kann, muss der Ausgangszustand der Oberfläche matt sein. Besonders gut eignen sich dafür erodierte Oberflächen.

Ergebnisse und Anwendungen

Durch selektive Bearbeitung einer matten Ausgangsoberfläche mittels Laserstrahlung ist es möglich, Designstrukturen mit verschiedenen Glanzgraden zu erzeugen. Der Glanzgrad ist stufenlos einstellbar, da die Verfahrensparameter wie Laserleistung und Scangeschwindigkeit stufenlos einstellbar sind. Die Leistungsfähigkeit des Verfahrens wurde an Beispielen demonstriert. Das obere Bild zeigt ein Bearbeitungsergebnis auf einer erodierten Werkzeugstahloberfläche mit zwei Graustufen. In diesem Bild ist eine Strukturgröße von 250 µm realisiert. Ein Beispiel mit mehreren Glanzgraden ist im unteren Bild gezeigt.

Insbesondere wurde gezeigt, dass eine Übertragung von passbildgroßen Fotos mit hoher Detailtreue möglich ist. Mit diesem Verfahren wurden Muster direkt auf Spritzgießwerkzeuge übertragen. Mit diesen strukturierten Werkzeugen konnten Kunststoffteile hergestellt werden, die eine sehr hohe Detailauflösung aufweisen.

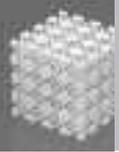
Ansprechpartner

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



Oben: Beispiel für ein Bearbeitungsergebnis mit zwei Glanzgraden.

Unten: Beispiel für ein Bearbeitungsergebnis mit mehreren diskreten Glanzgraden.



Aufgabenstellung

Das Laserstrahlpolieren (LP) ist ein neues, zweistufiges Fertigungsverfahren für hochglanzpolierte metallische Oberflächen. Eine dünne Randschicht (< 100 mm) der zu polierenden Oberfläche wird umgeschmolzen und glättet sich infolge der Oberflächenspannung.

Zur Vertiefung des Prozessverständnisses und zur Verbesserung der Prozessführung soll ein 3D Finite Elemente Programm für die selbstkonsistente Lösung des freien Randwertproblems beim Randschichtumschmelzen mit Laserstrahlung entwickelt werden.

Vorgehensweise

Die Lösung für das freie Randwertproblem beinhaltet die selbstkonsistente miteinander gekoppelte Berechnung der Temperaturverteilung und der Marangoni-Strömung und der für die Oberflächenstrukturbildung wichtigen Dynamik der freien Phasenumwandlungsfront und Schmelzbadoberfläche. Dazu wurde ein vorhandenes selbstkonsistentes Modell zum Randschichtumschmelzen einer ebenen Oberfläche erweitert. Die Druckbilanzgleichung, eine Bilanzgleichung für das Schmelzvolumen und die Kopplung zwischen der Deformation der Schmelzbadoberfläche und der Kinematik der Dreiphasenlinie entlang der Erstarrungsfront wurden in das vorhandene Modell einbezogen.

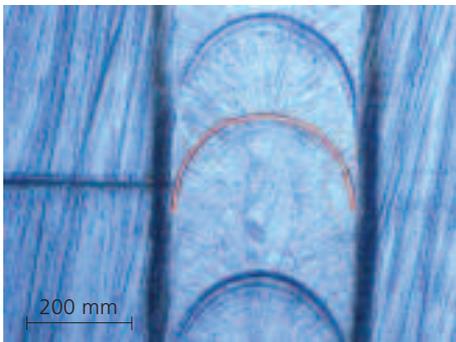
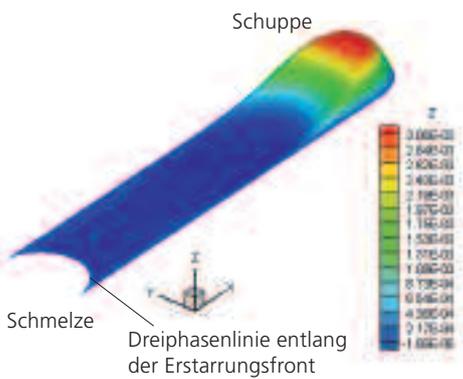
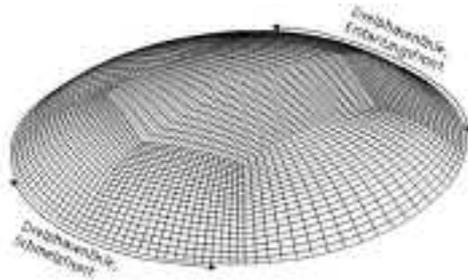
Oben: Deformation der Schmelzbadoberfläche.
Mitte: Resultierende Oberflächentopographie nach Fluktuation des Schmelzvolumens.
Unten: Vergleich der experimentell bestimmten mit der berechneten Schmelzbadgeometrie.

Ergebnisse und Anwendungen

Der Vergleich mit experimentellen Ergebnissen zeigt eine gute Übereinstimmung hinsichtlich der Geometrie des geschmolzenen Bereiches im Querschliff und der Aufsicht (Bild unten). Die Aufwölbung der Schmelzbadoberfläche (Bild oben) als Folge des Volumensprungs und der thermischen Expansion erhöht den Neigungswinkel der Erstarrungsfront entlang der Dreiphasenlinie und initiiert damit ein Wachstum der Erstarrungsfront. Dies führt zu einer von der ebenen Oberfläche abweichenden Topographie. Störungen bzgl. der Schmelzrate oder der Erstarrungsrate aufgrund von Fluktuationen der Erstarrungsfront führen zu einer Variation des Schmelzvolumens. Solch eine Erhöhung des Schmelzvolumens wird durch die Bildung einer Schuppe abgebaut (Bild Mitte). Dabei reagiert das System im Wesentlichen mit einer gedämpften Schwingung der Dreiphasenlinie auf eine Störung des Schmelzvolumens. Nach einer Implementierung der Rückkopplung der Schmelzbaddeformation auf das Temperaturfeld sollen mit dem Modell die Prozessstabilität und der Einfluss einer eingepprägten Frässtruktur auf das Schmelzvolumen und damit auf die Strukturierung der Oberflächentopographie als Funktion der Verfahrensparameter untersucht werden.

Ansprechpartner

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





Aufgabenstellung

Mit dem generativen Fertigungsverfahren Direktes Laserformen (DLF) können Formeinsätze mit konturangepassten Kühlkanälen für Spritzgießwerkzeuge hergestellt werden. Dadurch wird die Zykluszeit im Spritzgießbetrieb reduziert sowie die Qualität der erzeugten Spritzgussteile erhöht. DLF-Einsätze aus dem Werkstoff 1.2343 werden bereits für Serienwerkzeuge in der industriellen Praxis verwendet.

Im Werkzeug- und Formenbau wird häufig der Werkstoff 1.2083 eingesetzt, da er eine erhöhte Korrosionsbeständigkeit sowie bessere Polierbarkeit gegenüber dem Werkstoff 1.2343 aufweist. Deshalb wird am Fraunhofer ILT das DLF-Verfahren für die Verarbeitung des Werkstoffs 1.2083 qualifiziert. Die Untersuchungen werden auf einer Trumaform LF250 durchgeführt.

Vorgehensweise

Für den Einsatz von DLF-Formeinsätzen in Serienwerkzeugen ist die Erzeugung einer Bauteildichte von ca. 100 % eine notwendige Voraussetzung. Anhand von Probekörpern werden die Verfahrensparameter ermittelt, mit denen die geforderte Dichte erreicht wird. Zur Vermeidung von Rissbildung wird eine geeignete Temperaturführung während des Bauprozesses eingestellt. Aus der Analyse des erzeugten Gefüges wird die notwendige Wärmenachbehandlung abgeleitet. Die mechanischen Kennwerte der DLF-Bauteile werden ermittelt und bzgl. der Anforderungen für den Einsatz in Serienwerkzeugen bewertet. Im Hinblick auf die spätere Anwendung der Fertigung von Formeinsätzen auf konventionell vorgefertigten Halbzeugen (Preform)

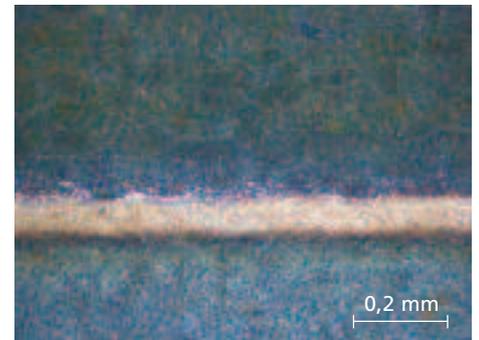
werden die Probekörper auf Substratplatten aus gehärtetem 1.2083 aufgebaut. Die Anbindungszone wird bzgl. Defekten (z. B. Risse) untersucht. Die Ergebnisse werden auf die Fertigung von Formeinsätzen mit konturangepasstem Kühlkanal übertragen.

Ergebnisse und Anwendungen

Durch Anpassung von Verfahrensparametern und Prozessführung können Bauteile mit einer Dichte von ca. 100 % (99,5 %) rissfrei sowohl komplett als auch auf gehärteten Preforms aus 1.2083 hergestellt werden. Das untere Bild zeigt den Querschliff einer Probe aus 1.2083 im angeätzten Zustand. Die Anbindungszone zur Substratplatte ist frei von Defekten. Die Härte der DLF-Bauteile beträgt 54 HRC, die Zugfestigkeit R_m beträgt 1 200 MPa. Damit liegen die Werte für die mechanischen Eigenschaften im Bereich der geforderten Werkstoffspezifikationen. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurden verschiedene Formeinsätze aus 1.2083 sowohl komplett als auch auf Preforms mit dem DLF-Verfahren hergestellt. Im oberen Bild ist ein Beispiel für einen Formeinsatz mit konturnahem Kühlkanal dargestellt. Die DLF-Formeinsätze werden zur Zeit in der industriellen Produktion eingesetzt und ihr Einsatzverhalten bewertet.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. S. Jansen, Tel.: -361
stefan.jansen@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Demonstrator aus 1.2083.
Unten: Querschliff einer DLF-Probe aus 1.2083.
Unten (dunkel): Substratplatte, Mitte (hell): Anbindungszone, oben (dunkel): DLF-Bauteil.

Aufgabenstellung

Die Anwendung von Knochenersatzimplantaten als Gelenkersatz oder bei Knochendefekten nach Krebs oder schweren Traumata nimmt ständig zu. Häufig werden Folgeoperationen erforderlich, da sich die Implantate langfristig lockern. Ursache dafür ist meist eine Knochenrückbildung aufgrund des Steifigkeitssprungs im Übergang Knochen – Implantat. Der dargestellte Lösungsansatz besteht darin, das Verformungsverhalten des Implantates dem des Knochens anzupassen. Zusätzlich soll eine dauerhafte Integration von Knochen und Implantat durch Einwachsen des Knochens erreicht werden. Die Umsetzung dieses Ansatzes erfordert einerseits die rechnerische Auslegung einer Struktur mit angepassten mechanischen Eigenschaften und andererseits die Herstellung der Struktur mit dem Selective Laser Melting (SLM) Verfahren aus Titanwerkstoffen.

Vorgehensweise

Auf Basis bekannter technologisch-mechanischer Kennwerte von kortikalem (d. h. dichtem) Knochen ($E_K \approx 10\text{GPa}$) und dem Knochenersatzwerkstoff Reintitan TiGr11 wird in Kooperation mit dem Fraunhofer IFAM, Bremen ein Strukturmodul mittels FEM-Berechnungsverfahren erzeugt und optimiert. Als Lastfall wird zunächst eine im Wesentlichen eindimensionale Druckbelastung angenommen. Für die Verwendung der erzeugten Struktur im Indikationsbereich der Wirbelkörperfusion (nach Entfernung einer Bandscheibe) wird die Strukturoptimierung zusätzlich im Hinblick auf Unempfindlichkeit unter Torsionsbelastung optimiert.

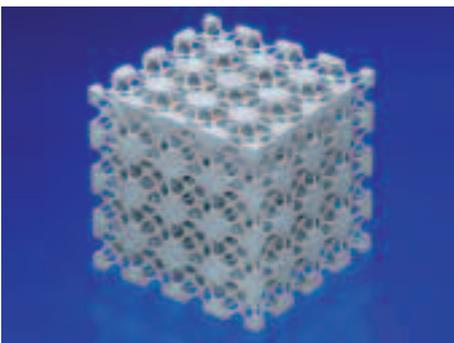
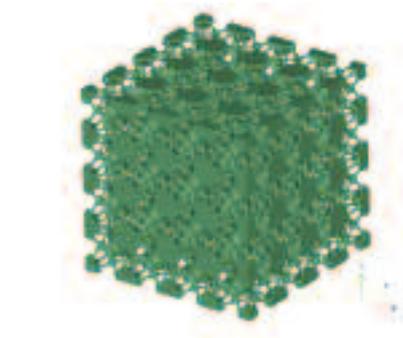
Gleichzeitig werden am Fraunhofer ILT verfahrenstechnisch die Grundlagen erarbeitet, um die berechnete Struktur mit dem SLM-Verfahren herstellen zu können. Wesentliche Aspekte dabei sind die Verkleinerung der minimal herstellbaren Strukturgröße von 5 auf 2 mm unter der Voraussetzung der Verminderung von Bauteilverzug und Vermeidung von Poren und Bindefehlern.

Ergebnisse und Anwendungen

Das obere Bild zeigt das Modell einer rechnerisch optimierten Struktur. Das E-Modul der Struktur liegt im Bereich des kortikalen Knochens. Prozesstechnisch wird durch eine angepasste Prozessführung und Verwendung einer neuen Strahlquelle eine Reduzierung der minimal herstellbaren Elementarzelle auf 2 mm erreicht. Das untere Bild zeigt einen Würfel aus $4 \times 4 \times 4$ Elementarzellen. Derzeit werden die erzeugten Strukturen mechanisch geprüft. Ziel ist mittelfristig die Anwendung in mechanisch hoch belasteten Skelettbereichen, wie beispielsweise in der Wirbelsäule.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Tobias Wirtz, Tel.: -360
tobias.wirtz@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: CAD-Modell.
Unten: SLM-Titanbauteil.

Lasieranlagen und Systemtechnik



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



Der Kombikopf:
Laserschneiden und
Laserschweißen ohne
Werkzeugwechsel.



Greif- und Fügesystem für die Mikromontage	86
Werkzeugmaschine für das Laserstrahlpolieren	87
Sonderforschungsbereich SFB 368 »Autonome Produktionszellen«	88
NC-Planung von 3D-Bauteilen für die Lasermaterialbearbeitung	89
NC-Steuerung mit offener Architektur für die Lasermaterial- bearbeitung	90
Optische Messung der Vorschubgeschwindigkeit	91
Prozessbeobachtung und -über- wachung mit Fremdbeleuchtung	92
Der Kombikopf: Laser- schneiden und Laserschweißen ohne Werkzeugwechsel	93
Entwicklung einer Wendelbohroptik	94
Strahlformung von gepulster Hochleistungs-Laserstrahlung aus optischen Fasern	95
Fraunhofer-Innovationsthema »Integrierte Leichtbausysteme«	96

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,

Aufgabenstellung

Die steigende Miniaturisierung und die schnelle Entwicklung von Mikrosystemen erfordern innovative Konzepte und Methoden für die Mikromontage. Ausgehend von der Pick & Join-Technik ist das Ziel der aktuellen Untersuchungen die Entwicklung eines Greif- und Fügesystems mit erhöhter Kompaktheit und Flexibilität.

Das zu entwickelnde Greif- und Fügesystem muss die mikrotechnischen Fügepartner greifen, präzise zueinander positionieren und abschließend die für den Fügeprozess erforderliche Laserenergie zuführen. Darüber hinaus muss für Laserstrahl-Fügeprozesse, wie zum Beispiel beim Transient-Liquid-Phase-Löten, Silizium-Glas-Bonden oder Kunststoff-Schweißen, ein definierter Anpressdruck aufgebracht werden. Um komplexe dreidimensionale Spannvorrichtungen zu vermeiden, sollte diese Prozessvoraussetzung direkt durch das Greif- und Fügesystem erfüllt werden.

Vorgehensweise

Das Konzept des Greif- und Fügesystems basiert auf der Integration einzelner Funktionskomponenten: einem bauteilangepassten Greifer, einer fasergeführten Laserstrahlquelle, einem flexiblen Strahlführungssystem, einem visuellen Prozessüberwachungssystem und einem kraftgeregelten Bewegungssystem.

Für das Greifen und Positionieren der Fügepartner wurde ein modularer Vakuumgreifer entwickelt. Der Aufbau des Greifers erlaubt eine schnelle und kostengünstige Anpassung an die

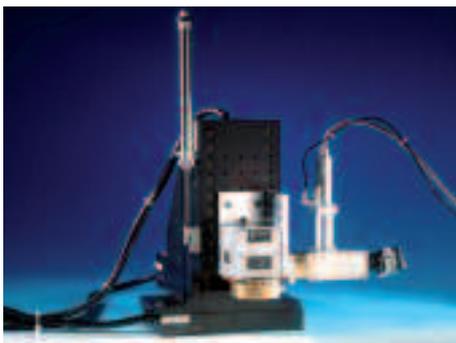
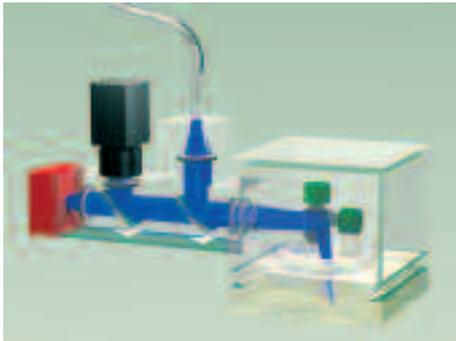
Geometrie der Fügepartner. Als Strahlquelle wird ein kontinuierlich emittierender Faserlaser eingesetzt. Diese Strahlquelle zeichnet sich durch eine hohe Strahlqualität und Effizienz aus. Um eine flexible Strahlführung mit hoher Geschwindigkeit zu realisieren, wird ein kompaktes Galvanometer-scannersystem (SCANcube®7) verwendet. Für die Positionierung wird ein kraftgeregeltes Bewegungssystem (Fepos™) mit einer Positioniergenauigkeit von ± 500 nm benutzt. Durch eine entsprechende Rückkopplung kann über die z-Achse eine definierte Kraft ($F < 20$ N) aufgebracht werden. Durch ein integriertes Kamerasystem wird die erforderliche Genauigkeit während des Positionierens sichergestellt. Die Ansteuerung der einzelnen Funktionsgruppen erfolgt durch eine graphische Benutzeroberfläche, die mit Hilfe der Entwicklungsumgebung LabVIEW™ der Firma National Instruments programmiert wurde.

Ergebnisse und Anwendungen

Die ersten Funktionsuntersuchungen zeigen die Kompaktheit und die hohe Flexibilität des neuen Greif- und Fügesystems. In zukünftigen Schritten ist die Integration einer pyrometrischen Sensorik zur Online-Überwachung der Prozessführung während des Fügens geplant.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. A. Boglea, Tel.: -217
andrei.boglea@ilt.fraunhofer.de
Dr. L. Bosse, Tel.: -305
luedger.bosse@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Schematische Darstellung des geplanten Laserstrahl-Bearbeitungskopfes.
Unten: Greif- und Fügesystem.



Aufgabenstellung

In der industriellen Fertigung wird in vielen Bereichen manuell poliert. Ein Ansatz zur Automatisierung dieser Handarbeit ist das neue Fertigungsverfahren Laserstrahlpolieren, zu dem jedoch keine Werkzeugmaschinen verfügbar sind. Ziel des Vorhabens POLAR (Polishing with Laser Radiation) ist daher die Entwicklung, Realisierung und Erprobung einer Werkzeugmaschine für das Laserstrahlpolieren.

Vorgehensweise

Die Anforderungen der Anwender an eine Werkzeugmaschine zum Laserstrahlpolieren wurden in einem Arbeitskreis projektbegleitend ermittelt. Basis für die Laserpolieranlage bildet ein konventionelles Fräsbearbeitungszentrum der Fa. Hermle. Alle weiteren für das Laserstrahlpolieren benötigten Komponenten werden in diese Basismaschine integriert. Durch den Wegfall der Frässpindel steht der Spindelkasten für den Einbau von Laserstrahlquelle und Bearbeitungsoptik zur Verfügung.

Das Laserstrahlpolieren stellt besondere Anforderungen an die Laserstrahlquelle. Daher wird eine geeignete Laserstrahlquelle entwickelt, mit der sowohl die Grob- als auch die Feinbearbeitung des zweistufigen Polierprozesses durchgeführt werden kann. Die Ansteuerung von Laserstrahlquelle, Bearbeitungsoptik, Prozessgasführung und Prozessüberwachung wird in die Siemens-Steuerung der Basismaschine integriert.

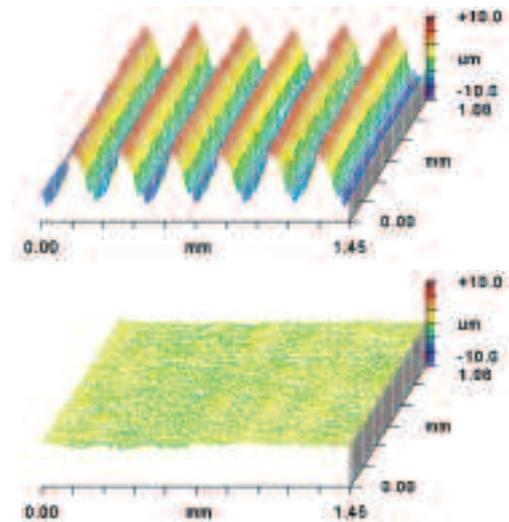
Ergebnisse und Anwendungen

Der in den Spindelkasten integrierte 3-Achs-Scanner und die 5-Achs-Basismaschine bilden zusammen ein universell einsetzbares Bearbeitungszentrum. Der Scanner erzeugt schnelle Vorschubbewegungen und insbesondere Beschleunigungen. Die Basismaschine ermöglicht die Bearbeitung von 3D-Bauteilen. Eine in die Maschine integrierte Prozesskammer kann mit verschiedenen Prozessgasen gefüllt werden und verhindert die Oxidation der zu bearbeitenden Werkstücke. Der Restsauerstoffgehalt in der Prozesskammer wird überwacht. Störungen in der Prozessgasversorgung und -führung werden somit frühzeitig erkannt. Der Nd:YVO₄-Slab Laser liefert eine maximale Ausgangsleistung von 150 W (cw) bei einer Strahlqualität von $M^2 < 2$. Alle Funktionen der Maschine sind über ein NC-Programm steuerbar.

Die Werkzeugmaschine wird in dem Vorhaben beispielhaft für die Anwendungen Werkzeugbau, Medizintechnik sowie Pharma-, Food- und Biotechnologie erprobt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. E. Willenborg, Tel.: -213
edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Weißlichtinterferometrische Aufnahme einer gedrehten und einer laserstrahlpolierten Oberfläche, Werkstoff 1.2343.

Unten: Werkzeugmaschine für das Laserstrahlpolieren.



Aufgabenstellung

Für viele Bereiche der Produktions- und Fertigungstechnik sind zunehmend komplexere und mit hoher Präzision ablaufende Produktionsprozesse erforderlich, die aus technologischen und wirtschaftlichen Gründen zwangsläufig über einen hohen Automatisierungsgrad und eine hohe Flexibilität verfügen müssen. Mit dieser Entwicklung geht die Forderung nach autonomen Produktionsanlagen einher, die in der Lage sind, komplexe Produktionsprozesse mit einem maximalen Grad an Selbstständigkeit über einen längeren Zeitraum zuverlässig und störungsfrei durchzuführen.



Bahnplanung in der Autonomen Produktionszelle.

Vorgehensweise

Hierzu sind entscheidende Erweiterungen in der Funktionalität und Leistungsfähigkeit heutiger Produktionsanlagen erforderlich. Erst durch die Integration von Funktionen für die Planung, Steuerung, Benutzungsschnittstelle, Handhabung, Prozessüberwachung und Störungsbehandlung bzw. -prävention vor Ort an der Maschine wird eine Autonome Produktionszelle (APZ) in der Lage sein, Fertigungsaufgaben weitgehend selbstständig durchzuführen.

Ergebnisse und Anwendungen

Dieser Handlungsbedarf wurde von mehreren Forschungseinrichtungen der RWTH Aachen aufgegriffen und führte dort zur Einrichtung eines Sonderforschungsbereiches, der von der DFG gefördert wird. Die damit verbundenen Ziele und Arbeiten erstrecken sich vom planenden bis zum prozessnahen Bereich. Als exemplarisches Bearbeitungs-

verfahren wurde, neben der Fräsbearbeitung, das Laserschweißen näher untersucht. Die entwickelten Methoden und Techniken wurden für diese Anwendungen konkretisiert und am Fraunhofer ILT in ein Laserschweißsystem integriert.

Neben den oben beschriebenen Arbeitspunkten erfordert das Konzept der APZ eine prozessintegrierte Qualitätsprüfung. Während der Bearbeitung beobachten daher verschiedene Sensoren den Prozess und liefern online Daten über den Verlauf der Bearbeitung. Auf Basis dieser Prozessdaten wurde zum einen ein Prozessregelkreis für die Einschweißtiefe realisiert. Zum anderen wurde ein Qualitätsregelkreis entwickelt, der eine Verbesserung des Bearbeitungsergebnisses beim nächsten Bauteil ermöglicht, indem er Informationen aus der Bearbeitung in die Planungsebene rückführt. Hierzu werden qualitätsrelevante Informationen wie Intensität und Geometrie der Plasmastrahlung, Temperaturstrahlung und Rückflexstrahlung sowie Korrelationen untereinander ausgewertet und einer Fehleranalyse unterzogen.

Im November 2005 wurden die Arbeiten des SFB 368 im Rahmen eines abschließenden Industriekolloquiums erfolgreich demonstriert. Die Ergebnisse sind anwendungsorientierte Grundlagenforschung und werden schrittweise, z. B. über zahlreiche Transferprojekte, in der industriellen Praxis umgesetzt. Die Arbeiten wurden in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen durchgeführt.

Ansprechpartner

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



Aufgabenstellung

Im Rahmen des Sonderforschungsgebietes »Autonome Produktionszellen« (SFB 368) wurde ein featurebasiertes 3D-Offline-Planungssystem für Laserstrahlschweißaufgaben entwickelt.

Ziel der Offline-Planung von Laserbearbeitungsaufgaben ist die Erstellung eines NC-Programms ohne Blockierung der Bearbeitungsanlage und eine Optimierung der Arbeitsvorbereitung.

Neben der NC-Planung für etablierte Verfahren wie dem Laserstrahlschneiden und -schweißen wurde die Offline-Planung auch beim Auftragschweißen eingesetzt. Dabei nimmt mit zunehmendem Auftragsvolumen und Komplexität des Bauteils das Einsparungspotential zu.

Vorgehensweise

Kern des Offline-Planungssystems ist die Beschreibung der Bearbeitungsaufgabe durch Bearbeitungsobjekte, den sogenannten Features. Der herausragende Vorteil des Feature-Modells besteht in der Verknüpfung von geometrischen Daten (CAD) mit technologischen Informationen in Form von Prozessparametern und Bearbeitungsstrategien. Durch eine 3D-Simulation wird eine fertigungsnahe Planung erzielt.

Bei der Auslegung des Planungssystems wurde ein modulares Konzept gewählt. Dadurch können weitere Laserbearbeitungsverfahren integriert werden.

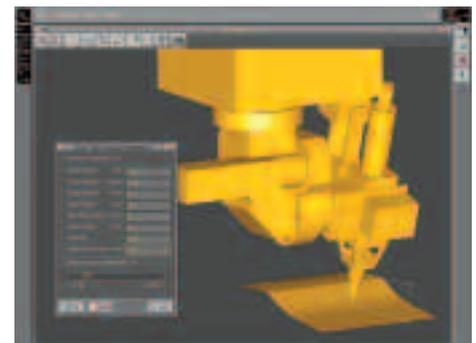
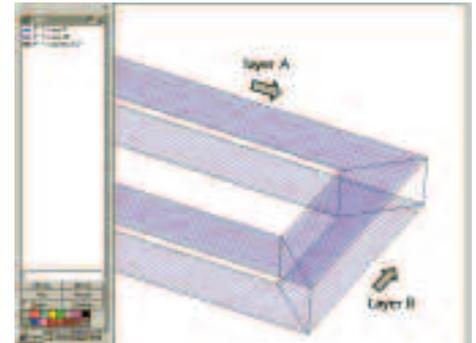
Ergebnisse und Anwendungen

Durch die CAD-CAM gestützte NC-Programmerstellung ist eine Reduzierung des Zeitaufwandes für die Arbeitsvorbereitung in zweifacher Hinsicht möglich. Zum einen können durch hinterlegte Strategien die Bearbeitungsbahnen automatisch generiert werden und zum anderen kann die Erstellung der NC-Programme unabhängig von der Anlage durchgeführt werden, wodurch die Anlage für die Produktion frei bleibt.

Beim Auftragschweißen kann die Programmierzeit für das NC-Programm, im Vergleich zur manuellen Erstellung, um ein vielfaches reduziert werden. Hinzu kommt eine verringerte Wahrscheinlichkeit von Programmierfehlern. Da die Überprüfung der NC-Programme bei komplexen Bauteilen zeitaufwendig ist, kann auch die Zeitdauer des Einrichtvorgangs verkürzt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. J. Kittel, Tel.: -136
jochen.kittel@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de



Oben: Schichtaufbau beim Auftragschweißen.
Unten: Simulation der Planungsaufgabe.

Aufgabenstellung

Im Rahmen des Sonderforschungsgebietes 368 »Autonome Produktionszellen (APZ)« wurde am Fraunhofer ILT eine Demonstrationsanlage für das autonome Schweißen mit Laserstrahlung aufgebaut. Eine APZ ist in der Lage, komplexe Bearbeitungsprozesse mit maximalem Grad an Selbständigkeit über einen längeren Zeitraum zuverlässig und störungstolerant durchzuführen. Um den dafür erforderlichen hohen Ansprüchen bezüglich der Flexibilität gerecht zu werden, wurde am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen eine APZ-NC-Steuerung mit offener Architektur nach OSACA-Spezifikation entwickelt. Eine solche Steuerung erlaubt die Integration von Modulen (Architekturobjekte, AOs), um verfahrens- und anwendungsspezifische Funktionalitäten einbinden zu können.

Für das Schweißen mit Laserstrahlung sollten beispielhaft AOs für die Regelung der Einschweißtiefe sowie für eine Nahtfolge realisiert und integriert werden.

Vorgehensweise

Grundsätzlich ist eine NC mit »offener« Architektur obligatorisch. Dennoch ist der Grad der Offenheit herstellerabhängig und unterschiedlich ausgeprägt. Um einen herstellerübergreifenden Standard der NC-Schnittstellen zu schaffen, wurde die Steuerungsarchitektur OSACA entwickelt. Diese basiert auf einer Applikationsschnittstelle (API) für die AOs in Verbindung mit einer geeigneten Infrastruktur.

Für die Laser-APZ wurden zunächst verfahrensspezifische Anforderungen definiert. Eine Regelung der Einschweißtiefe sollte möglich sein, um definierte Einschweißungen zu realisieren. Außerdem war eine Nahtfolge zur störungstoleranten Positionierung des Bearbeitungslasers auf der Schweißnaht gefordert.

Ergebnisse und Anwendungen

Eine bereits existierende APZ-NC-Steuerung für die Fräsbearbeitung wurde für die Materialbearbeitung mit Laserstrahlung angepasst. Dazu wurden laserspezifische Funktionalitäten ermittelt und definiert. Insbesondere wurden Module für die Regelung der Einschweißtiefe sowie für eine Nahtfolgeregelung implementiert und in die NC-Steuerung integriert.

Die Arbeiten wurden in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen sowie die regelungstechnische Umsetzung vom Institut für Regelungstechnik IR der RWTH Aachen durchgeführt.

Ansprechpartner

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



OSACA-Steuerung für eine Laseranlage.



Aufgabenstellung

Bei der Materialbearbeitung mit Laserstrahlung ist die Einhaltung einer in engen Grenzen konstanten Vorschubgeschwindigkeit von großer Bedeutung für das Bearbeitungsergebnis. Beim Einsatz von Knickarmrobotern, bei handgeführten Systemen oder bei Geometrien mit engen Radien kann dies jedoch nicht immer gewährleistet werden. Zur Anpassung der Bearbeitungsparameter ist die Kenntnis der aktuellen Vorschubgeschwindigkeit notwendig. Sie wird aus den Steuerungsdaten des Handhabungssystems gewonnen, wobei eine hinreichende Stellgenauigkeit vorausgesetzt wird. Weiterhin existieren taktile Messeinrichtungen, die die Momentangeschwindigkeit über die Drehgeschwindigkeit einer Andrückrolle erfassen. Am Fraunhofer ILT wurde alternativ ein optisches Messsystem entwickelt, welches die Werkstückoberfläche koaxial zum Bearbeitungskopf beobachtet und die Relativgeschwindigkeit zweidimensional mit Bildanalyseverfahren ermittelt.

Vorgehensweise

Für das Messprinzip ist von Bedeutung, dass metallische Werkstücke eine Struktur aufweisen, die bei senkrechter Beleuchtung zur Oberfläche ein unregelmäßiges Reflexionsmuster erzeugt. Dieses Reflexionsmuster wird mit einer ebenfalls senkrecht angeordneten Kamera beobachtet.

Durch den Vergleich aufeinander folgender Aufnahmen kann die Bildverschiebung ermittelt werden, indem Bildausschnitte maximaler Korrelation in diesen Aufnahmen gefunden werden. Die Relativverschiebung zwischen Messkopf und Werkstück entspricht der Bildverschiebung dieser Bereiche unter Berücksichtigung der optischen

Abbildung. Die Vorschubgeschwindigkeit entspricht der Relativverschiebung normiert auf das Messintervall. Das Messsystem kann in den Bearbeitungskopf integriert werden, so dass keine Störgeometrien im Bearbeitungsbereich notwendig sind und eine Messung in unmittelbarer Umgebung der Bearbeitungszone erfolgen kann. Durch Verwendung eines Diodenlasers als Beleuchtungsquelle können störende Prozessstrahlung und Umgebungslicht vollständig unterdrückt werden.

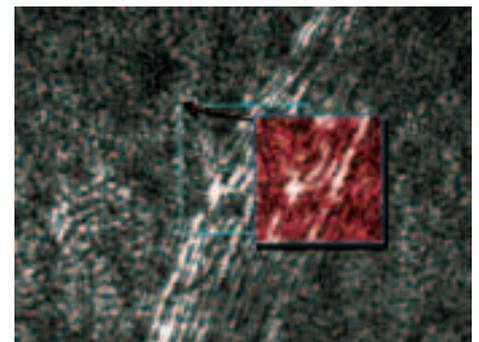
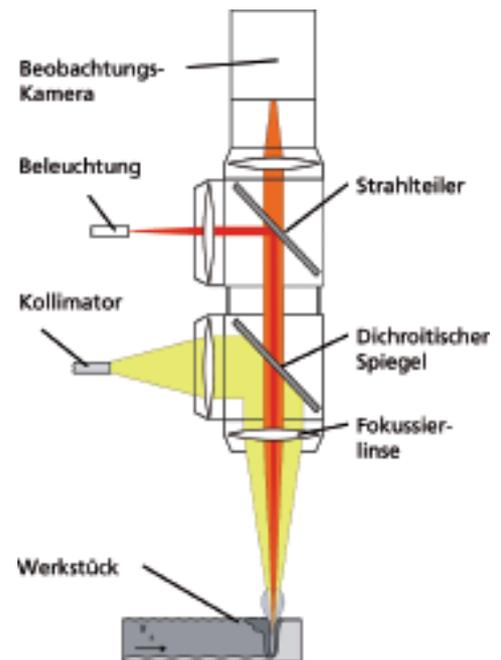
Ergebnisse und Anwendungen

Das Messprinzip wurde mit einem zum Bearbeitungslaser koaxialen Aufbau (Bild oben) für Schneid- und Schweißprozesse bei Stahl-, Aluminium- und Kupferwerkstoffen untersucht. Die Messauflösung beträgt, abhängig von der verwendeten Optik, bis zu 6 mm in X- und Y-Richtung bei einem Messintervall von 100 Hz. Durch Subpixelanalyse kann die Auflösung weiter erhöht werden. Bei geringerer Messauflösung sind Messraten bis zu 2000 Hz realisierbar.

Durch die Kenntnis der aktuellen Vorschubgeschwindigkeit kann das Bearbeitungsergebnis verbessert werden, indem beispielsweise die Laserleistung zur Erhaltung der Streckenenergie gesteuert wird. Weitere Anwendungen im Bereich der Prozessüberwachung, der Prozessanalyse und der kopfautonomen Nahtfolge sind denkbar.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. B. Regaard, Tel.: -320
boris.regaard@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
stefan.kaieler@ilt.fraunhofer.de



Oben: Optischer Aufbau für die zur Bearbeitungslaserstrahlung koaxialen Beleuchtung und Beobachtung der Werkstückoberfläche. Unten: Durch Vergleich von Bildausschnitten aufeinander folgender Aufnahmen wird die Relativverschiebung ermittelt.

Aufgabenstellung

Für die Überwachung von Bearbeitungsprozessen in der Lasermaterialbearbeitung werden überwiegend optische Sensoren eingesetzt, welche die emittierte Prozessstrahlung (Plasma-, Temperatur- und Rückreflexstrahlung) beobachten. Durch den Vergleich mit Referenzaufnahmen können Aussagen über die Bearbeitungsqualität getroffen werden. Diese Verfahren ermöglichen Aussagen über die Keyholegeometrie und die Temperaturverteilung auf dem Werkstück. Eine Beobachtung der Werkstückoberfläche und der Schmelzbadgeometrie ist jedoch nicht möglich. Hierfür ist die Fremdbeleuchtung der Werkstückoberfläche mit einer zusätzlichen Lichtquelle notwendig.

Vorgehensweise

Das am Fraunhofer ILT entwickelte Prozessüberwachungssystem CPC (Coaxial Process Control) wird um ein Modul zur Fremdbeleuchtung erweitert. Die Strahlung eines Diodenlasers wird über einen dichroitischen Spiegel koaxial in den Strahlengang des Bearbeitungslasers eingekoppelt. Die ebenfalls koaxial angeordnete Kamera des CPC-Systems erfasst die reflektierte Strahlung. Aufgrund der hohen Beleuchtungsleistung sind Frameraten bis 13.000 Bilder/s möglich.

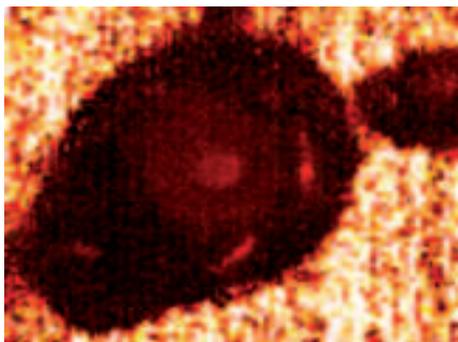
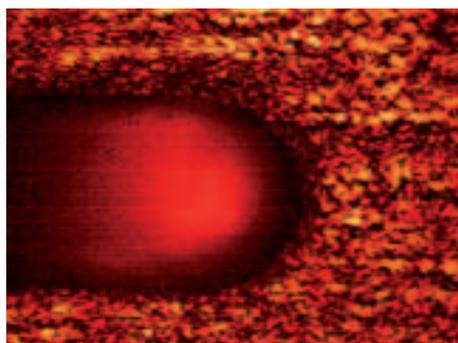
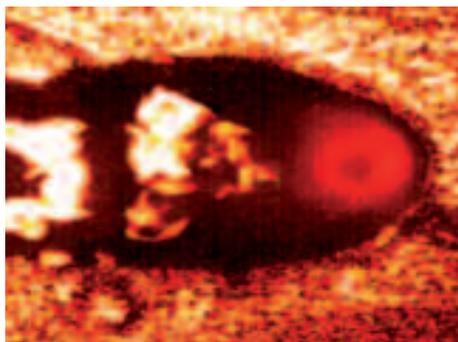
Ergebnisse und Anwendungen

Das Verfahren erlaubt die Messung der Phasengrenze flüssig/fest des bearbeiteten Materials. Auch der Erstarrungsvorgang wird beobachtbar.

Momentan werden am Fraunhofer ILT Überwachungsstrategien für das Laserstrahlschweißen und -schneiden entwickelt, die Oberflächenfehler wie Spritzer, Naht- bzw. Schnittunregelmäßigkeiten, Werkstück- und Nahtpositionierungsfehler online erkennen und klassifizieren können. Der Vorteil gegenüber einer Überwachung der Prozessstrahlung liegt insbesondere in der Robustheit gegenüber Parameterschwankungen wie Laserleistungsschwankungen, Defokussierung etc. sowie in der eindeutigen Fehlerklassifizierung.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. B. Regaard, Tel.: -320
boris.regaard@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de



Oben: Koaxiale Aufnahme eines Schweißprozesses (Blindschweißung 2 mm 1.4301, 2 KW Nd:YAG, $v = 2$ m/min).

Mitte: Koaxiale Aufnahme eines Schneidprozesses (2 mm 1.4301, 2KW Nd:YAG, $v = 6$ m/min).

Unten: Koaxiale Aufnahme einer Punktschweißung (0,6 mm CuSn6, 20 ms @ 2,1 KW Nd:YAG).



Aufgabenstellung

Das im vergangenen Jahr vorgestellte Funktionsmuster des neuartigen Bearbeitungskopfes für die multifunktionale Schneid- und Schweißbearbeitung auf Basis der vom Fraunhofer ILT patentierten Autonomen Düse wurde zu einem Demonstrator weiter entwickelt, der für Verfahrensentwicklungen und Machbarkeitsstudien eingesetzt wird.

Vorgehensweise

Das neue Design des Kombikopfes ist zunächst für die Bearbeitung von Blechdicken bis 6 mm, Laserleistungen bis 8 kW und F-Zahlen ≥ 5 ausgelegt. Durch die schlanke Bauweise besitzt der Kombikopf eine geringe Störkontur, die für eine gute Bauteilzugänglichkeit und 3D-Fähigkeit sorgt. Durch eine zweiachsige Kipp-Verstelleinheit, die sich zwischen Kollimations- und Fokussierungsoptik befindet und diese verbindet, lässt sich die Laserstrahlachse exakt auf das Zentrum der Düsenaustrittsöffnung ausrichten. Die Gaszuführungen für die Crossjet-Düse und die Autonome Düse befinden sich innerhalb des Grundkörpers des Kopfes, so dass die Bauteilzugänglichkeit nicht durch Schlauchzuführungen in den Düsenbereichen beeinträchtigt wird. Die an das Kopfdesign angepasste, aus Kupfer gefertigte, kaskadierte Crossjet-Düse weist zwei parallele, enge Austrittsschlitze auf. Unterhalb des Grundkörpers befindet sich ein kapazitiver Abstandssensor. Als weitere Schutzvorrichtung gegen Schweißspritzer kann der zur optimalen Funktion des Crossjets bewusst offen gestaltete Grundkörper mit einer im Foto

nicht abgebildeten Schutzhaube versehen werden, die über eine Abströmöffnung für den Crossjet verfügt und dessen Ansaugaperturen im Grundkörper nicht behindert. Die Schlüsselkomponente des Kopfes bildet eine besonders schlanke und trotzdem robust gestaltete Autonome Düse.

Ergebnisse und Anwendungen

In ersten Applikationen konnte die Schneid- und Schweißbeignung sowie die generelle Funktionalität des Kombikopfes demonstriert werden. Neben einer hohen Flexibilität und Produktivität können durch Einsatz des Kombikopfes Rüst-, Spann- und Handhabungsoperationen, Lager- und Transportzeiten sowie redundante Produktionsmittel eingespart werden. Mit der wirtschaftlich rentablen multifunktionalen Bearbeitung eröffnen sich neue konstruktive Gestaltungsmöglichkeiten für Blechbaugruppen, die zudem durch verkürzte Toleranzketten äußerst genau gefertigt werden können. Das Prinzip des Kombikopfes gestattet den Einsatz sowohl von Linsen- als auch von Spiegeloptiken - mit allen Strahlquellen, die eine ausreichende Strahlqualität für die jeweils vorgesehenen Anwendungen aufweisen.

Ansprechpartner

Dr. F. Schneider, -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. C. Benter, Tel.: -219
christian.benter@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Oben: Der Kombikopf in der Erprobung.
Unten: Detailansicht des Kombikopfes.

Aufgabenstellung

Das Wendelbohren liefert von allen Laserbohrverfahren die höchste Präzision. Verfahrensmerkmal ist hier, dass die Laserstrahlung in Rotation in sich selbst versetzt und auf eine Kreisbahn gegenüber dem Bauteil gebracht wird. Der Materialabtrag erfolgt durch mehrmalige Überläufe über das Bauteil. Durch Ändern des Wendelradius und des Auftreffwinkels der Laserstrahlung ist es möglich, konische Bohrungen oder Bohrungen mit Ansenkungen am Bohrungseintritt zu erzeugen.

Neben höchsten Anforderungen bezüglich Genauigkeit und Gleichlauf der die Rotationsbewegung erzeugenden mechanischen und optischen Elemente steht bei der Konstruktion einer Wendelbohroptik eine kompakte und industrietaugliche Bauform im Vordergrund. Hierzu ist insbesondere die Entwicklung einer anwenderorientierten Steuerung mit definierten Schnittstellen erforderlich.

Vorgehensweise

Die Rotation der Laserstrahlung wird durch einen rotierenden Bildrotator erreicht, durch welchen die Laserstrahlung hindurchgeleitet wird. Der Bildrotator ist in einem Hohlwellenmotor gelagert. Der Wendeldurchmesser und der Anstellwinkel der Laserstrahlung werden vor Eintritt der Laserstrahlung in den Hohlwellenmotor eingestellt.

Die motorischen Stellglieder rotieren dabei nicht mit, wodurch der mechanische Aufbau vereinfacht wird. Über eine CAN-Bus/RS-taugliche Steuerung werden die Parameter Drehzahl, Winkel und Radius an die Stellglieder bzw. den Hohlwellenmotor übermittelt. Die Steuerung kann dabei als »stand alone-Gerät« mit Eingabeschnittstelle oder zur Anbindung in eine beim Anwender vorhandene Steuerung ausgeführt sein. Durch Ausrüsten der Wendelbohroptik mit einem online Überwachungssystem ist es außerdem möglich, die Wendelbohroptik mit einer Regelung zu betreiben.

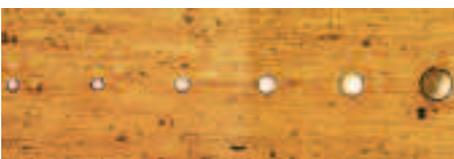
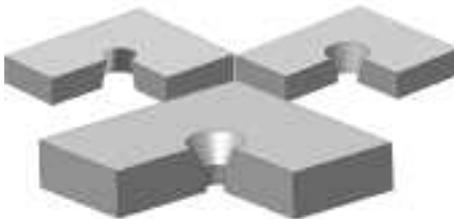
Ergebnisse und Anwendungen

Erste industrielle Anwendung war die Integration der Wendelbohroptik in eine Anlage zum Bohren, Abtragen und Gravieren. Anfang 2006 stehen erste stand alone Systeme zur Verfügung, parallel dazu erfolgt der Aufbau geregelter Wendelbohroptiken mit online Überwachungssystem.

Mögliche Einsatzgebiete der Wendelbohroptik sind überall dort, wo mit konventionellen, beispielsweise spanenden, Verfahren Bohrungen dieser Geometrie und Präzision bislang nicht oder nur mit erheblichem Aufwand eingebracht werden können. Konkrete Beispiele hierzu sind Mikrodosiersysteme, Einspritzdüsen der Automobilindustrie oder Startlochbohrungen für EDM-Verfahren.

Ansprechpartner

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



Oben: 3D-Schema einer Wendelbohroptik.

Mitte: Beispiele unterschiedlicher Bohrlochgeometrien.

Unten: Beispiele für Wendelbohrungen, Durchmesser von 45 bis 145 µm.



Aufgabenstellung

Zur schnellen, präzisen Mikrostrukturierung von Oberflächen mittels Laserstrahlung bei gleichzeitig hoher Reproduzierbarkeit wird ein gepulster, fasergekoppelter Festkörperlaser eingesetzt. Die zu erzeugenden Strukturen weisen ein Aspektverhältnis > 2 auf, gleichzeitig wird ein großer Arbeitsabstand bei limitierter Apertur einer nachfolgenden Relay-Optik und Strahl-Ablenkeinheit gefordert. Ein mehrstufiges optisches System zur Strahlformung und -transformation sowie eine Relay-Optik zum Transfer der Strahlung zum Bearbeitungssystem soll konzeptioniert, ausgelegt und aufgebaut werden. Optional soll die Ausgangsstrahlung im Betrieb um 90° drehbar sein.

Vorgehensweise

Die per optischer Faser bereitgestellte Laserstrahlung wird zunächst kollimiert und dann mittels einer Strahltransformation auf das geforderte Aspektverhältnis transformiert. Mit einer 2-stufigen Anordnung aus Planarwellenleitern wird ein rechteckiger Querschnitt mit homogener Leistungsdichteverteilung erzeugt. Ein nachfolgendes Prisma, das pneumatisch in den Strahlgang geschoben werden kann, ermöglicht die Drehung der Strahlung um 90° . Eine nachfolgende Relay-Optik dient zum verlustarmen Transfer der Strahlung zur bereitgestellten Ablenk- und Bearbeitungsoptik.

Ergebnisse und Anwendungen

Mehrere Optiksyste me basierend auf variabel kombinierbaren Modulen wurden aufgebaut, justiert und in eine Bearbeitungsanlage für die kommerzielle Serienfertigung integriert.

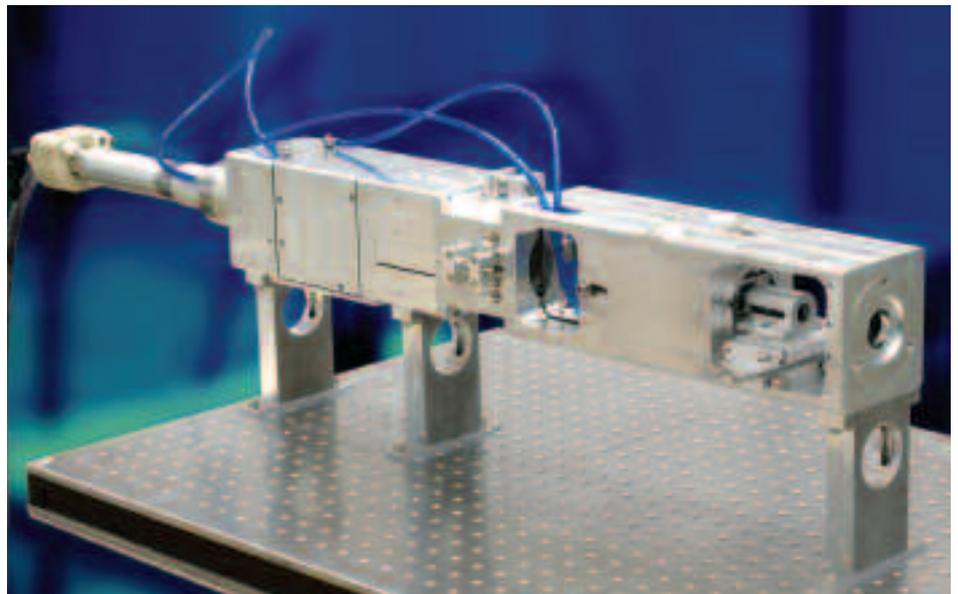
Die mittlere Laserleistung beträgt mehr als 200 W bei Pulsdauern um 50 ns und Pulsrepetitionraten unter 10 kHz. Aspektverhältnisse der Fokusspots zwischen 1:2 und 1:4 wurden realisiert.

Mehrere Optiksyste me werden zurzeit in der industriellen Serienfertigung zur großflächigen Mikrostrukturierung von Solarzellen eingesetzt.

Ansprechpartner

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

Modulare Strahlformungsoptik zur Homogenisierung eines gepulsten und fasergekoppelten Hochleistungslasers.



Die Fraunhofer-Gesellschaft hat im vergangenen Jahr Perspektiven für Zukunftsmärkte analysiert und in zwölf Innovationsthemen abgebildet. Jedes dieser Themen wird aus einem Verbund von mehreren Instituten verfolgt. Eines dieser Innovationsthemen steht unter dem Titel »Integrierte Leichtbausysteme« und wird derzeit von insgesamt 16 Instituten unterstützt. Das Fraunhofer ILT ist dabei aufgrund der vielfältigen Einsetzbarkeit der Lasertechnik in der Fertigung in mehreren Themenschwerpunkten der integrierten Leichtbausysteme vertreten.

Für Anwendungen im Leichtbau eignen sich speziell Laser-Fertigungskonzepte wie das Laser-Formen (SLM - Selective Laser Melting), das Laserunterstützte Umformen oder auch Fügeverfahren für Metalle oder Kunststoffe. Nicht zuletzt sind gerade im Leichtbau Prozessstabilität und Qualitätssicherung entscheidende Bewertungskriterien.

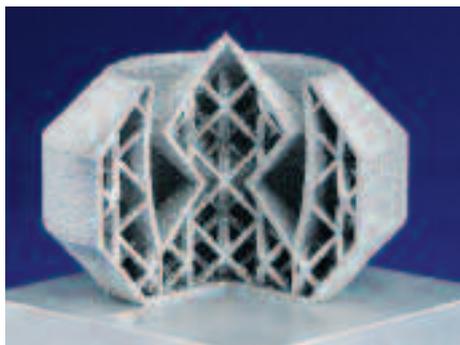
Mit dem Laserformen lassen sich beispielsweise leichte Hohlstrukturen (s. Bild) aufbauen, die derzeit mit keinem anderen Fertigungsverfahren hergestellt werden können. So werden Formeinsätze aus Werkzeugstahl für den Kunststoffspritzguss mit internen konturangepassten Kühlkanälen sowie Bauteilen aus Titan und Aluminium mit belastungsgerechter interner Hohlstruktur für den Ultraleichtbau hergestellt. Der Einsatz solcher Individualbauteile erstreckt sich über die Verkehrstechnik und den Maschinenbau bis hin zu medizinischen Anwendungen.

Der Trend zu leichteren Bauteilen hat eine Vielzahl neuer leichter und hochfester Werkstoffe hervorgebracht. Um entsprechenden Nutzen aus diesen Materialien schöpfen zu können, müssen angepasste Fügeverfahren entwickelt werden, welche sowohl deren Verbindung in Mischbauweise als auch den Leichtbaucharakter unterstützen. Entsprechendes Optimierungspotenzial liefert auch hier die Lasertechnik. So können mit dem Laser Metalle unterschiedlicher Legierungen verzugsarm und in hoher Qualität gefügt werden. Auch Kunststoffe lassen sich mittels Laserstrahlung sauber und mit hervorragenden Gebrauchseigenschaften verbinden.

Neben der Verfügbarkeit innovativer Werkstoffe und geeigneter Fügeverfahren stellt vor allem die Führung des Bearbeitungsprozesses hohe Anforderungen, da Abweichungen von vorgegebenen Prozessparametern in nicht akzeptablen Fehlern der Bauteile resultieren würden. Daher spielen insbesondere die für die Prozessüberwachung erforderlichen Sensoren eine wesentliche Rolle. Mit dem CPC (Coaxial Process Control-System) verfügt das Fraunhofer ILT über einen leistungsstarken Überwachungsdetektor, der für zahlreiche unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden kann.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. K. Kowalick, Tel.: -352
kerstin.kowalick@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de



Laserstrahlgenerierte
Hohlstruktur aus Metallpulver.

Lasermess- und Prüftechnik



Das Angebotsspektrum des Geschäftsfeldes 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. Vor zwei Jahren wurde das Themenfeld Biophotonik aufgegriffen. Im Rahmen von Verbundprojekten wird Expertise im Bereich hochsensitiver Fluoreszenzdetektion für Proteinchips aufgebaut.

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 Topologie von strang- und bandförmigen Produkten, Geräte für die 1-D- bis 2-D-Vermessung von Stückgut sowie Elektronikkomponenten für Lasertriangulations- und Laserlichtschnittsensoren. Zielmärkte sind die produzierende Industrie und die Recyclingwirtschaft, die mess- oder prüftechnische Aufgaben prozessnah und schnell durchführen müssen.



Messung einer Glas-Referenzprobe auf dem Probenstisch des Spektrometers.

Charakterisierung ultrafeiner Staubpartikel in Emissionen von Industrieprozessen	100	Konfokale Laserscanning Mikroskopie mit Multiphotonenanregung	107
Fernanalyse mit Laser-Emissionsspektrometrie - TeleLis	101	Flexible Fluoreszenzmessplattform für Anwendungen in den Lebenswissenschaften	108
Schnelle lasergestützte Elementanalyse von Schlackeproben	102	Multifunktionales Laserendoskop - MultiLas	109
Schnelle Präparation und Analyse von Prozessproben mit Laserverfahren	103	Entwicklung eines Prototypen für die systematisierte Proteinkristallisation	110
Online-Messung an verzinkten Blechen	104	European Laser Institute ELI	111
Laseranalyse korrosiver Veränderungen von Baustoffen	105		
Entwicklung optischer Messtechniken für die orts- und zeitaufgelöste Erfassung chemischer Reaktionen	106		

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.

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 noch erhöhter Forschungsbedarf besteht. In diesem Projekt soll die Partikelzusammensetzung insbesondere im Hinblick auf den Schwermetallgehalt bestimmt werden.

Vorgehensweise

Zunächst werden Partikel nach Größenklassen auf Filtern gesammelt und anschließend untersucht. Alternativ sollen einzelne Partikel direkt im Luftstrom analysiert werden.

Ergebnisse und Anwendungen

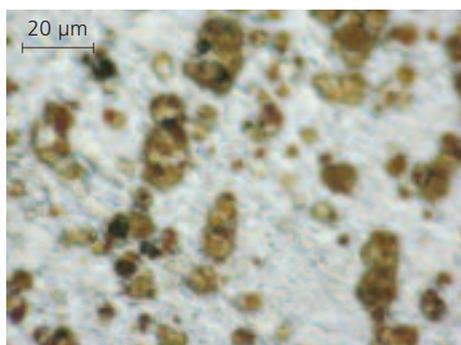
In der ersten Projektphase wurde die Eignung unterschiedlicher Filtersubstrate getestet. Ölbeschichtete Aluminiumfolien zeigten dabei eine geringe Störung der Analyse bei guter Haftung der Partikel auf der Substratoberfläche.

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

Dr. C. Fricke-Begemann, Tel.: -196
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Mikroskopaufnahme gesammelter Emissionspartikel. Zu erkennen sind Partikel ab einer Größe von etwa einem Mikrometer. Die unterschiedliche Färbung lässt auf eine verschiedenartige Zusammensetzung schließen.

Aufgabenstellung

Die Laser-Emissionsspektrometrie (LIBS) ist eine vielseitige analytische Messmethode, mit deren Hilfe Elementzusammensetzungen in Gasen, Flüssigkeiten, Festkörpern und Stäuben gemessen werden können. LIBS-basierte Systeme werden für die Umweltmesstechnik (z. B. Wasser- und Luftqualität), in der Industrie (Verwechslungsprüfung, Werkstoffrecycling, Charakterisierung von Rohstoffströmen, Qualitätskontrolle), in der Biomedizin, in der Restauration von Kunstwerken und für die Detektion von Explosivstoffen verwendet. Viele dieser Anwendungen erfordern dabei ein mobiles System, das Feldeinsätze und Messungen über große Entfernungen ermöglicht.

Vorgehensweise

Ein blitzlampengepumpter Festkörperlaser mit 300 mJ Pulsleistung wird über ein Teleskop aufgeweitet und automatisch auf das Ziel in bis zu 12 m Entfernung fokussiert. Das erzeugte Plasmalicht wird über eine weitere Teleskopoptik in ein CCD-Spektrometer geleitet, das eine kontinuierliche Spektralanalyse zwischen 175 nm und 520 nm ermöglicht. Das System kann in $\pm 45^\circ$ in der Vertikalen und Horizontalen geschwenkt und zum Transport zusammengeklappt werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit dem System können Vollspektren mit 1 Hz bzw. spektrale Bereiche mit 10 Hz aufgenommen werden. Zur Analyse stehen sowohl Einzel- als auch Doppelpulse zur Verfügung, mit deren Hilfe Elementkonzentrationen bis unterhalb von 0,1% nachgewiesen werden können.

Ansprechpartner

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



Oben: Transportzustand von TeleLis; Abmessungen 150 cm x 80 cm x 20 cm.
Unten: Ansicht der Anlage im Messbetrieb.



Aufgabenstellung

Bei der Stahlherstellung bildet sich auf dem flüssigen Stahl eine Schlackeschicht. Die Kenntnis der Zusammensetzung der Schlacke ist eine wichtige Kontrollmöglichkeit für den Stahlherstellungsprozess. Kontrollproben, die mit einer Sonde aus der flüssigen Schlacke genommen werden, sollen schnell und vor Ort im Stahlwerk analysiert werden. Die Elementverteilung innerhalb der Proben ist stark inhomogen, so dass für einen speziellen Probenotyp Verfahren zur verbesserten örtlichen Mittelung untersucht und umgesetzt werden sollen.

Vorgehensweise

Zur Elementanalyse wird die Laser-Emissionsspektrometrie eingesetzt. Ein gepulster Festkörperlaser erzeugt ein leuchtendes Materialdampfplasma auf der Probenoberfläche, dessen Strahlungsemission zur spektrochemischen Analyse genutzt wird. Zunächst werden grundlegende Untersuchungen zur Spektrallinienauswahl und zur Elementverteilung durchgeführt und verbesserte Kalibrationsmethoden für diesen speziellen Probenotyp entwickelt. Basierend auf diesen Ergebnissen wird ein Anlagenkonzept für den Stahlwerksbetrieb entworfen und als Demonstrator aufgebaut. Damit wird die Transportzeit für die Probe minimiert. Die analytische Leistungsfähigkeit wird im Vor-Ort-Einsatz erprobt.

Ergebnisse und Anwendungen

Das in der ersten Projektphase entwickelte Verfahren zur verbesserten örtlichen Mittelung wurde im Demonstrator eingebaut und getestet. Die Messungen an mehreren Sätzen von Betriebsproben zeigen eine deutliche Verbesserung im Vergleich zur herkömmlichen Methode. Der Demonstrator wurde für den in der nächsten Projektphase geplanten Vor-Ort-Einsatz im Stahlwerk vorbereitet.

Die Arbeiten werden von der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl (EGKS) und der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

Dr. V. Sturm, Tel.: -154
volker.sturm@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Messung einer Glas-Referenzprobe auf dem Proben Tisch des Spektrometers. Die Laserbestrahlung erfolgt von der Unterseite der Probe. Die halbtransparente Probe leuchtet durch das laserinduzierte Plasmalicht.

Aufgabenstellung

Für die Produktionskontrolle bei der Stahlherstellung ist eine schnelle Elementanalyse von Produktionskontrollproben sehr wichtig, damit der metallurgische Prozess fortgeführt werden kann. Die zurzeit eingesetzten Verfahren wie Funken-Emissionsspektrometrie, Verbrennungsanalyse und Röntgenfluoreszenzanalyse erfordern dazu einen hohen Aufwand für die Probenpräparation, zum Beispiel durch mechanisches Fräsen und Schleifen der Proben. Im Rahmen des Verbundvorhabens ATLAS wird ein Demonstrator entwickelt, welcher das bisher übliche zweistufige Verfahren aus mechanischer Probenpräparation und anschließender Elementanalyse mit Funken-Emissionsspektrometrie durch ein einziges laser-gestütztes Prüfsystem ersetzt. Aufgrund des Wegfalls diverser Zwischenschritte kann eine erhebliche Produktivitätsverbesserung bei der Stahlherstellung erzielt werden. Der Demonstrator wird in der Endphase des Projektes in einem Stahlwerk validiert.

Vorgehensweise

Mit Laserstrahlung können die beiden Schritte Präparation und Analyse durchgeführt werden. Die Zunderschicht wird zunächst lokal durch zeitlich modulierte Laserstrahlung abgetragen und das Bulkmaterial nachfolgend mit dem Verfahren der Laser-Emissionsspektrometrie analysiert. Der Laser arbeitet berührungsfrei und im Vergleich zum herkömmlichen Fräsen und Schleifen weitgehend verschleiß- und wartungsfrei.

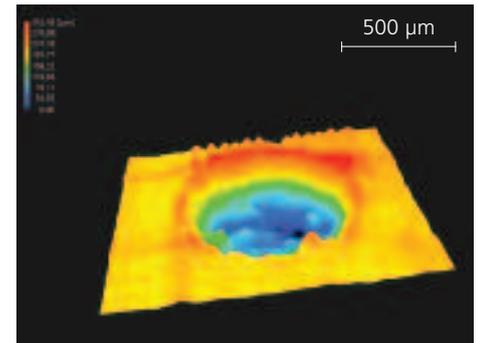
Ergebnisse und Anwendungen

Durch zeitliche Laserstrahlmodulation konnte der Tiefenabtrag durch die Zunderschicht der Proben etwa um einen Faktor sechs im Vergleich ohne Modulation bei gleicher Laserenergie verbessert werden. Im nächsten Schritt wird ein Demonstrator gebaut, der an der verzunderten Seite der Proben vollautomatisch an mehreren Probenstellen Analysen durchführt.

An dem Verbundprojekt sind neben dem Laser-Laboratorium Göttingen sieben Unternehmen beteiligt. Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit und von der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

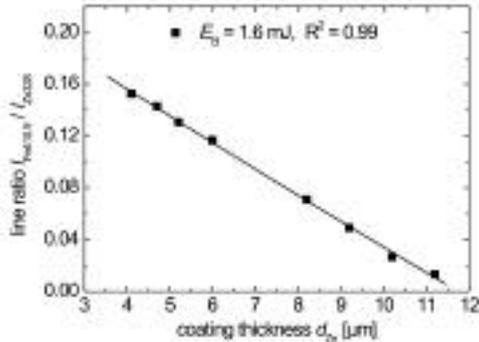
Dipl.-Phys. J. Vrenegor, Tel.: -308
jens.vrenegor@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Falschfarbenbild eines lasererzeugten Kraters.

Aufgabenstellung

Die Überwachung der Dicke und der Zusammensetzung der Zinkschicht ist bei der Herstellung von verzinkten Blechen unverzichtbar, um eine gleichbleibende Qualität zu garantieren. Im Rahmen eines FuE-Vorhabens wird ein Verfahren und eine Messeinheit zur Online-Bestimmung der Dicke und zur Überwachung des Tiefenprofils der Zinkschicht entwickelt. Die Messeinrichtung ist für Bandgeschwindigkeiten von 1 - 2 m/s und Zinkschichtdicken von 3 - 12 μm ausgelegt. Die zurzeit eingesetzte Röntgenfluoreszenzmethode analysiert nur die Zinkschichtdicke und ist zudem nicht sensitiv für eine Analyse des Tiefenprofils.



Oben: Kalibrierkurve der Lasermessungen an elektrolytisch verzinkten Blechen mit unterschiedlichen Dicken der Zinkschicht.

Unten: Laser Messeinheit zur Online-Prüfung verzinkter Bleche.

Vorgehensweise

Die Laser-Emissionsspektrometrie erlaubt eine schnelle, berührungslose Analyse auch an bewegten Produkten. Dabei wird mit einem gepulsten Nd:YAG-Laser auf dem bewegten Blech ein Plasma erzeugt und durch Analyse der elementspezifischen Linienstrahlung die chemische Zusammensetzung bestimmt. Durch gezielte Variation der Laserstrahlparameter kann die Messtiefe entweder während der Messung kontinuierlich geändert oder auf einen bestimmten Wert eingestellt werden.



Ergebnisse und Anwendungen

Mit optimierten Laserparametern wurde an elektrolytisch verzinkten Blechen ein Auflösungsvermögen für die Dickenmessung von ca. 140 nm erreicht. Die Messeinheit wurde im Labor an bewegten feuerverzinkten Blechen zur Analyse des Aluminium-Tiefenprofils erfolgreich getestet. Im untersuchten Bereich der Bandgeschwindigkeit von bis zu 1 m/s wurde keine Geschwindigkeitsabhängigkeit des Analyseergebnisses festgestellt. Damit ist eine entscheidende Voraussetzung zur Online-Messung erfüllt. Die Methode ist auch für Beschichtungen aus leichten Elementen wie z. B. Aluminium, Silizium oder Magnesium einsetzbar, was einen wesentlichen Vorteil gegenüber der Röntgenfluoreszenzmethode darstellt.

Das Projekt wurde mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Kommission für Kohle und Stahl (EGKS) und der Fraunhofer-Gesellschaft durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. H. Balzer, Tel.: -196
 herbert.balzer@ilt.fraunhofer.de
 Dr. R. Noll, Tel.: -138
 reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

Aufgabenstellung

Im Rahmen eines gemeinsamen FuE-Projektes mit Industriepartnern und anderen öffentlichen Forschungseinrichtungen wird ein Verfahren zur Bestimmung korrosiver Veränderungen an Betonbauten, z. B. für Brücken oder Parkhäuser, entwickelt. Durch Umwelteinflüsse, insbesondere Streusalz und Abgase, dringen Elemente wie Chlor, Stickstoff und Schwefel in den Beton ein und führen zur einer nachhaltigen Schädigung der Bausubstanz. Für eine aufwandsoptimierte Gebäudesanierung muss die Eindringtiefe dieser Elemente möglichst genau bestimmt werden. Es soll ein transportables Messgerät für die Vor-Ort-Analyse aufgebaut und auf Baustellen erprobt werden.

Vorgehensweise

Mit Laser-Emissionsspektrometrie lassen sich praktisch alle Materialien analysieren, d. h. auch schwer nachweisbare Elemente wie Chlor und Schwefel. Dazu wird mit einem gepulsten fokussierten Nd:YAG-Laserstrahl auf der Oberfläche eines Betonbohrkerns ein Plasma erzeugt und die elementspezifische Linienstrahlung gemessen. Durch Optimierung der Laserparameter soll die für die Gebäudesanierung benötigte Nachweisgrenze für Chlor und Schwefel erreicht werden. Die Tiefenauflösung wird durch Abrasterung des Bohrkerns erzielt.

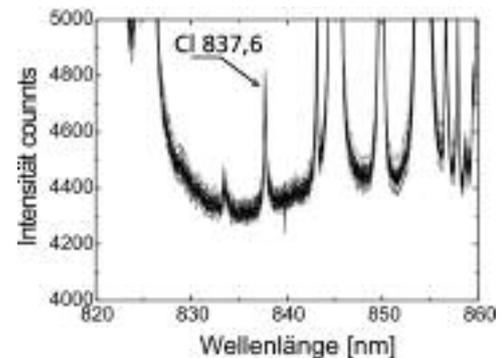
Ergebnisse und Anwendungen

Die Grafik zeigt den Ausschnitt eines LIBS-Spektrums einer chlorhaltigen Betonprobe. Die Chlorlinie bei 837,6 nm ist deutlich zu erkennen.

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

Ansprechpartner

Dr. H. Balzer, Tel.: -196
herbert.balzer@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



LIBS-Spektrum einer chlorhaltigen Betonprobe.

Aufgabenstellung

Mit der modellgestützten experimentellen Analyse soll ein methodischer Ansatz zur systematischen Modellierung kinetischer Phänomene in mehrphasigen fluiden Reaktionssystemen entwickelt werden. Im Rahmen des SFB 540 wird eine interdisziplinär einheitliche Methodik zur effizienten und rationalen Identifikation der Kinetiken enzymkatalysierter Reaktionen in technisch relevanten Ein- oder Mehrphasensystemen entwickelt.

Vorgehensweise

In Abhängigkeit konkreter Stoffumwandlungen und Reaktionssysteme werden hochauflösende Messtechniken bereitgestellt, die Edukt- und Produktkonzentrationen (bio-) chemischer Reaktionen bedarfsgerecht mit hoher zeitlicher und örtlicher Präzision zugänglich machen. Zum Einsatz kommen hochauflösende, universell anwendbare Messtechniken wie die konfokale Laser-Scanning-Mikroskopie (CSLM) unter Einbindung eines zeitkorrelierten Einzelphotonenzählmoduls.

Ergebnisse und Anwendungen

Die konfokale Laser-Scanning-Mikroskopie ist ein funktionales Werkzeug für die Detektion von schwachen Signalen aus räumlich präzise begrenzten Probenvolumina mit hohem Signal-zu-Untergrund-Verhältnis. In Hydrogelkugeln immobilisierte Enzyme fungieren

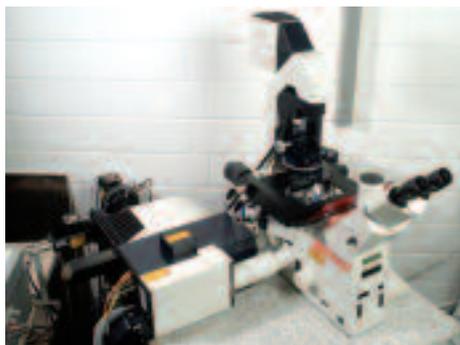
als Biokatalysatoren und deren Reaktionskinetiken werden in ein- und mehrphasigen Umgebungen aufgeklärt. Die Reaktionskinetiken von in Hydrogelkugeln eingelagerten Biokatalysatoren können in ein- und mehrphasigen Reaktionssystemen aufgeklärt werden.

Anhand von gemessenen Fluoreszenzlebensdauern sind pH-Profile in den Gelkugeln zu erstellen, aus denen auf vorliegende Diffusionsprozesse und Reaktionsmechanismen rückgeschlossen werden kann. Hierzu werden zeitaufgelöste Messmethoden der Fluoreszenzspektroskopie wie das Fluorescence Lifetime Imaging (FLIM) eingesetzt. Sowohl in lateraler als auch in axialer Richtung werden Ortsauflösungen von wenigen Mikrometern erreicht. Zusätzlich besteht die Option, einen Kurzpuls-Laser in das Mikroskop einzukoppeln. Mittels der Anregung einer Mehrphotonenfluoreszenz können so räumliche Verteilungen von Substraten und Produkten in heterogenen Reaktionssystemen erfasst werden.

Diese Messtechnik gewährleistet einen berührungsfreien, hochauflösten Einblick in die komplexen Abläufe biochemischer Reaktionssysteme.

Ansprechpartner

Dr. C. Janzen, Tel.: -124
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Phys. T. Schwendt, Tel.: -376
tilman.schwendt@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Konfokales Laser-Scanning
Mikroskop Leica TCS SP2 AOBS
Ortsauflösung: Beugungsbe-
grenzter Laserfokus ($< 1\mu\text{m}$),
Scannerfrequenz: 2 kHz.

Aufgabenstellung

Zur optischen Analyse fluoreszenzmarkierter oder reflektierender Proben mit hoher räumlicher Auflösung hat sich die konfokale Laserscanning Mikroskopie als vielfältig einsetzbares Messverfahren etabliert. Schwerpunkt der Anwendungen ist die Untersuchung von Zellen und Gewebe. Durch spezifische Anfärbungen verschiedener Bestandteile der Probe und die simultane Abrasterung mit mehreren Wellenlängen können strukturelle und funktionale Informationen mit höchster räumlicher Auflösung gewonnen werden.

Vorgehensweise

Das hohe räumliche Auflösungsvermögen wird mit Objektiven hoher numerischer Apertur ($NA = 1,4$) und der Abbildung des Messsignals auf eine Lochblende mit wenigen Mikrometern Durchmesser in der Bildebene erzielt.

Schnelle galvanometrische Scanner-spiegel lenken den Laserstrahl mit einer Linienfrequenz von 2 kHz ab, um zweidimensionale Mikroskopiebilder zu erzeugen. Ein z-Scanner, der die Lage des scannenden Laserfokus in axialer Richtung verschiebt, erlaubt die Aufnahme hochauflösender dreidimensionaler Bilder. Durch die Einkopplung eines am Fraunhofer ILT entwickelten, direkt diodengepumpten fs-Lasers in ein Laserscanning Mikroskop der neuesten Generation können mittels Multiphotonenprozessen Farbstoffe im UV-Bereich angeregt werden. So sind mikroskopische Einblicke in tiefe Gewebeschichten oder in stark streuende Gewebe möglich.

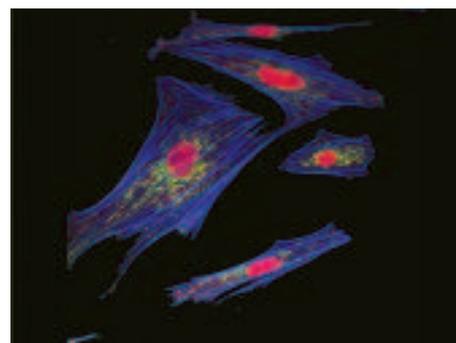
Ergebnisse und Anwendungen

Die konfokale Mikroskopie wird am Fraunhofer ILT vor allem dort eingesetzt, wo an kleinen Probenvolumina von wenigen Femtolitern schwache Signale mit einem hohen Signal-zu-Rausch-Verhältnis detektiert werden müssen. Hierzu gehört die Einzelmolekülspektroskopie fluoreszenzmarkierter Biomoleküle. Beim Eindringen in tiefer liegende organische Schichten stellen Streuung und Reabsorption der emittierten Strahlung einen limitierenden Faktor dar. Ultrakurze Pulsdauern im Femtosekundenbereich und dadurch bedingte hohe Photonendichten erlauben die Anregung von Multiphotonenprozessen im Laserfokus, so dass nur dort Fluoreszenzerscheinungen auftreten können. Dadurch wird ein Ausbleichen der Probe effektiv unterdrückt. Da infrarote Strahlung wesentlich schwächer gestreut wird, können mit diesem Verfahren auch tiefer liegende Gewebeschichten untersucht werden.

Ein weiteres Einsatzgebiet der konfokalen Laserscanning Mikroskopie ist die Vermessung von Oberflächentopologien reflektierender Materialien, insbesondere von lasergefertigten Mikrostrukturen.

Ansprechpartner

Dr. C. Janzen, Tel.: -124
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Phys. T. Schwendt, Tel.: -376
tilman.schwendt@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Direkt diodengepumpter Femtosekundenlaser für die Anregung von Mehrphotonenprozessen. Der am ILT entwickelte Laser ist kompakt und einfach zu bedienen.

Unten: Fluoreszenzaufnahme von dreifach gefärbten Fibroblasten (Bindegewebszellen), erzeugt mit drei Anregungswellenlängen. $\lambda = 488$ nm, Actin-Filamente (blau), $\lambda = 543$ nm, Mitochondrien (grün), $\lambda = 633$ nm, Zellkern (rot).

Aufgabenstellung

Es soll eine vielseitige und flexible Anlage für den orts aufgelösten, einzeilmolekülempfindlichen Nachweis fluoreszenzmarkierter Moleküle auf Oberflächen oder in Lösung entwickelt werden.

Vorgehensweise

Herzstück der Anlage ist ein konfokales Laser-Scanning-Mikroskop mit zwei Anregungs- und Nachweisstrahlengängen, mit dem einzelne Moleküle in Lösung oder an Oberflächen gebunden nachgewiesen werden können. Zwei verschiedene Farbstoffe können unabhängig voneinander gemessen werden. Es werden eine Ortsauflösung im Mikrometerbereich sowie Detektionsvolumina von wenigen Femtolitern erreicht. Dabei können Probenträger bis zur Größe einer Mikrotiterplatte untersucht werden. Zur Anregung werden gepulste Laserdioden mit Pulsdauern im Bereich einiger Pikosekunden verwendet. Es stehen sichtbare und nah-infrarote Wellenlängen zur Verfügung, mit denen die meistverwendeten Fluoreszenzmarker angeregt werden können.

Zeitkorrelierte Einzelphotonenzählung (TCSPC) ermöglicht die Messung von Fluoreszenzlebensdauern mit einer Zeitauflösung von weniger als einer Nanosekunde. Damit lassen sich beispielsweise Konformationsänderungen von Proteinen beobachten. Daneben ermöglicht TCSPC auch die Nutzung von Fluoreszenzkorrelationsverfahren (FCS), wahlweise als Autokorrelation eines Kanals oder als Kreuzkorrelation der beiden Nachweis Kanäle, mit denen chemische Bindungsereignisse und deren Kinetik mit höchster Empfindlichkeit nachgewiesen werden können.

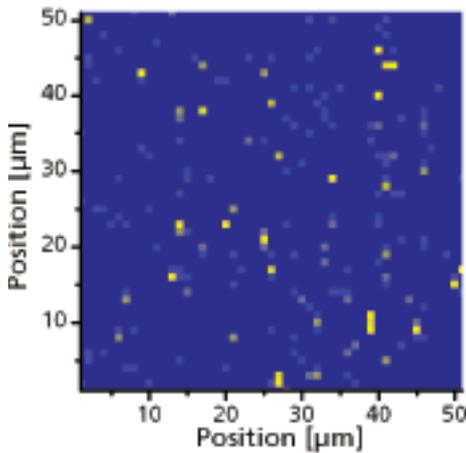
Zur flächenhaften Darstellung der Fluoreszenz strukturierter Proben ist in die Anlage ein Auflichtmikroskop mit einer hochempfindlichen Slow-Scan CCD-Kamera für die Epifluoreszenzmessung integriert.

Ergebnisse und Anwendungen

Es wurde ein hochempfindliches, scannendes Analysensystem für Anwendungen in den Lebenswissenschaften gebaut, mit dem eine breite Palette von Fluoreszenzmessmethoden zur Verfügung steht. Beispielhafte Anwendungen sind der Nachweis von Antikörper-Antigen-Bindungen, die Beobachtung von Reaktionen und Reaktionskinetiken sowie die Analyse von Fluoreszenzlebensdauern.

Ansprechpartner

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



Oben: Einzelne, auf einer Glasoberfläche adsorbierte fluoreszenzmarkierte Proteinmoleküle.
Unten: Gesamtansicht der Anlage. Unter der Abdeckung im Vordergrund befindet sich die konfokale Optik, hinten links ist das Mikroskop mit Verschiebetisch zu sehen. Hinten rechts befindet sich der Schaltschrank.



Aufgabenstellung

Mit MultiLas wird ein Endoskop für die minimal invasive Therapie tief im Gehirn sitzender Hirntumoren entwickelt. Hierzu werden lokal wirkende Laserverfahren wie die Laserneurochirurgie, die Laserkoagulation und die Photodynamische Therapie (PDT) durch Integration in ein Endoskop für die Schlüssellochchirurgie zu einem System für eine multimodale Tumorthherapie vereint.

Vorgehensweise

In einem Endoskop mit 5,5 mm Durchmesser sind ein mikrooptischer Kanal sowie je ein Spül- und Absaugkanal integriert. Der optische Kanal leitet fünf verschiedene Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge, Leistung und unterschiedlichen Zeitverhaltens in die Operationshöhle und fokussiert das Licht über einen 90-Grad Umlenkspiegel auf das abzutragende bzw. zu untersuchende Gewebe (Bild oben). Mit einem Pikosekundenlaser soll durch plasma-induzierte Gewebeablation submillimetergenau Tumorgewebe abgetragen werden. Vor der Ablation werden die abzutragenden Gewebeschichten mit Hilfe der optischen Kohärenztomographie (OCT) bis in eine Schichttiefe von 5 mm auf die Einlagerung von Blutgefäßen untersucht. Bei einem Gefäßdurchmesser oberhalb von 0,1 mm verschweißt ein Koagulationslaser (Nd:YAG, 30 W, 1064 nm) die Gefäße vor dem Gewebeabtrag, um Blutungen im Gehirn zu verhindern. Das Operationsverfahren soll über die Fluoreszenz der mit einem Photosensibilisator markierten Tumorzellen gesteuert werden.

Durch den Einsatz einer postoperativen Photodynamischen Therapie ist die Zerstörung vereinzelter in das gesunde Gewebe infiltrierender Tumorzellen geplant.

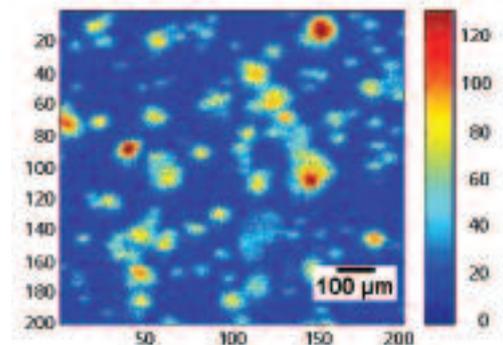
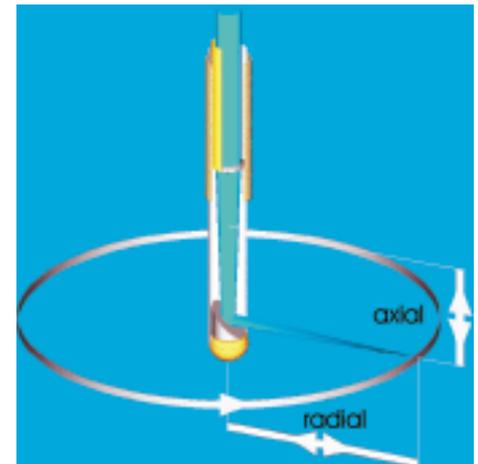
Ergebnisse und Anwendungen

In einer ersten Entwicklungsphase wurde ein Laborendoskop mit dem optischen Kanal von MultiLas aufgebaut. Mit diesem System sollen die diagnostischen und therapeutischen Laserverfahren getestet werden. Erste Ergebnisse liegen zur Fluoreszenzdiagnostik vor. Mit Hilfe konfokaler Detektion erzielte das Laborendoskop eine Nachweisempfindlichkeit auf Einzelzellniveau (Bild unten).

Das Forschungsvorhaben wird vom Bundeswirtschaftsministerium, mittelständischen Unternehmen und der Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt. Neben den Neurochirurgischen Kliniken der Universitäten Aachen und Düsseldorf sowie dem Institut für Pathologie der Uniklinik Aachen sind fünf KMUs aus den Bereichen Laser-, Medizin- und Messtechnik an den FuE-Arbeiten beteiligt.

Ansprechpartner

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



Oben: Die diagnostischen und therapeutischen Laserstrahlen werden durch einen 2,8 mm dünnen optischen Kanal geführt und über einen 90-Grad Umlenkspiegel auf das Gewebe fokussiert. Durch Rotation des Endoskops, Verstellen des Endoskops in der Tiefe und Verschieben der Frontlinse werden die Laserfokusse an einem beliebigen Punkt im Raum positioniert.

Unten: PPIX-markierte, auf einer Oberfläche adhärent wachsende Tumorzellen, die mit dem Laborendoskop von MultiLas gescannt wurden. Der Untergrund (1000 cps) ist blau dargestellt, Farben auf der Scala zwischen türkis und rot entsprechen einem Fluoreszenzsignal zwischen 5000 cps und 12000 cps.

Aufgabenstellung

Proteinkristalle sind für die Strukturaufklärung von Proteinen unerlässlich. Die Kristallisation von Proteinen wird heute in der Regel empirisch durchgeführt und ist zeitraubend und arbeitsintensiv. Sie stellt einen Engpass in der Strukturaufklärung der Proteine dar. Das Fraunhofer ILT entwickelt daher zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung einen Demonstrator, mit dem in einem systematisierten Verfahren Protein-Einkristalle gezielt gezüchtet werden können.

Vorgehensweise

Durch die Entwicklung eines neuartigen Messverfahrens können in kleinen Volumina statische und dynamische Streulichtmessungen an Proteinlösungen durchgeführt werden. Dadurch können Informationen über Größenverteilungen von Teilchen sowie über die Wechselwirkung gelöster Proteinmoleküle erhalten werden. Der Probenträger, in dem die Messungen durchgeführt werden, lässt sich mit automatischen Pipettiersystemen befüllen und erlaubt Messungen im Hochdurchsatz bei minimalem Probenverbrauch. Durch die optischen Messverfahren werden objektive Bewertungskennzahlen erhalten, die mit der Wahrscheinlichkeit einer Kristallisation korrelieren. Dadurch können für die Kristallisation günstige Lösungsparameter (pH-Wert, Salz- und Proteinkonzentrationen, Zusatz- und Fällungsreagenzien etc.) schneller und effektiver gefunden werden.

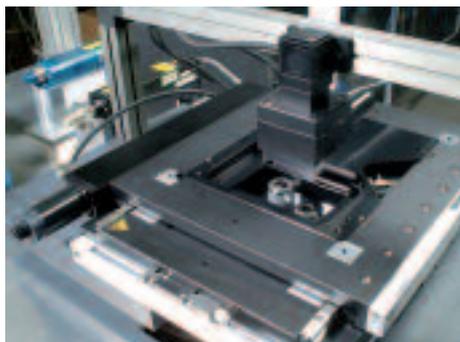
Ergebnisse und Anwendungen

Ein Demonstrator für die Durchführung von Streulichtmessungen in kleinen Probenvolumina wurde aufgebaut. Neben drei Präzisionsachsen zur genauen Positionierung des Messortes in einem kleinen Probenvolumen (typischerweise 500 nl) sind eine Optik für Streulichtmessungen sowie eine zweite Optik für eine Polarisationsmikroskopie integriert. So können alle Phasen der Kristallisation untersucht werden: Vor Beginn der Nukleation geben statische Streulichtmessungen Auskunft über thermodynamische Wechselwirkungspotenziale, während der Nukleation kann die Keimbildung mit der dynamischen Lichtstreuung verfolgt werden und nach erfolgter Kristallisation oder Ausfällung können Niederschläge oder Kristalle mit der Polarisationsmikroskopie kontrastreich dargestellt werden. Mikrokristalline Niederschläge können dabei von amorphen unterschieden werden.

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



Demonstrator für die systematisierte Proteinkristallisation. Auf dem Bild sind unter anderem Komponenten der Firma Uhl Technische Mikroskopie zu sehen.

Kurzportrait

Das European Laser Institute wurde 2003 auf Initiative und mit Förderung der Europäischen Union gegründet. Ziel von ELI ist, 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 hat sich das Fraunhofer ILT zu einem europäischen Netzwerk zusammengeschlossen. Neben der Integration in regionale und nationale Netzwerke ist das Fraunhofer ILT damit auch auf europäischer Ebene in ein schlagkräftiges Netzwerk im Bereich der Lasertechnik eingebunden. Desweiteren soll die internationale Kooperation von Industrie und Forschung durch ELI forciert werden. Durch die Organisation von Konferenzen, Workshops, Summerschools etc. schafft ELI, unter anderem, entsprechende Plattformen. Nicht zuletzt wird dies darüber hinaus auch zukünftig durch die Zusammenarbeit mit den jeweiligen Interessensvertretungen (z. B. European Photonic Industry Consortium EPIC) gefördert.

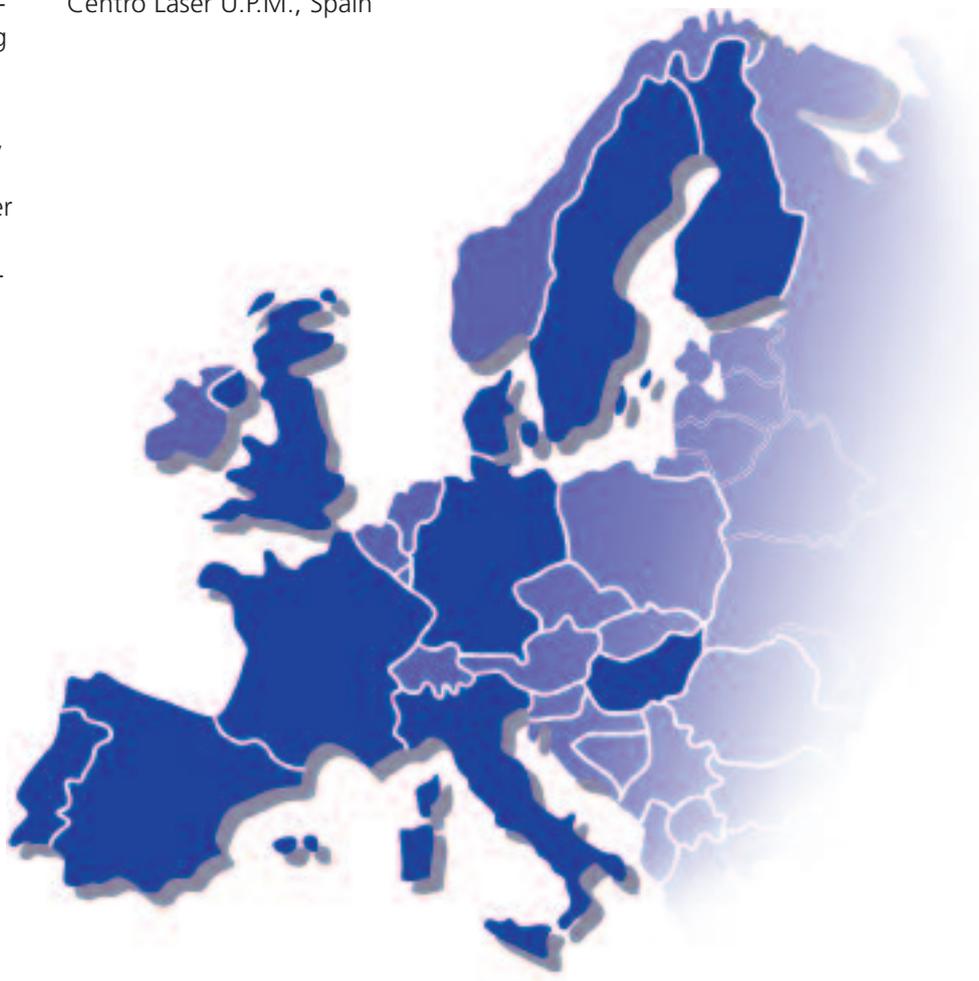
Kontakt

Dr. Stefan Kaielerle
Telefon: +49 (0) 241 8906-212
Fax: +49 (0) 241 8906-212
kaielerle@europeanlaserinstitute.org

Executive Committee

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

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



Patenterteilungen Deutschland

Anordnung zur Erhöhung
des Füllfaktors von mehreren
Strahlenquellen
DE 103 28 086 B 4

Abtragen spröder, im besonderen
metallischer Schichten durch
laserinduzierte Schockwellen
DE 198 01 013 B 4

Anordnung zur Verstärkung
eines optischen Strahls
DE 100 05 537 B 4

Optische Verstärker-Anordnungen
DE 100 25 874 B 4

Verfahren zum Glätten und Polieren
von Oberflächen durch Bestrahlung
mit energetischer Strahlung
DE 102 28 743 B 4

Strahlungsführendes und/oder
frequenzkonvertiertes optisches
System sowie Verfahren zur
Herstellung
DE 102 53 515 B 4

Gasentladungslampe
für EUV-Strahlung
DE 102 56 663 B 3

Verfahren zur Strahlformung
und/oder Strahlumlenkung
von EUV-Strahlung
DE 102 004 015 580 B 3

Verfahren und Vorrichtung zur
Analyse fester Materialien mit der
Laser-Emissionsspektrometrie
DE 103 261 727 B 3

Vorrichtung zum Reinigen
von Abgas
DE 100 09 938 B 4

Patenterteilungen Europa

Verfahren und Vorrichtung
zum Bearbeiten von Werkstücken
mit Hochenergiestrahlung
EP 1 128 927 B 1

Mikroreaktoranordnung zur
festphasengestützten Synthese
sowie Mikroreaktorsystem mit ein-
zelnen Mikroreaktoranordnungen
EP 1 309 397 B 1

Verfahren und Vorrichtung
zum Selektiven Laser-Schmelzen
von metallischen Werkstoffen
EP 1 355 760 B 1

Verfahren zum Laserbohren,
insbesondere unter Verwendung
einer Lochmaske
101 451 84

Patenterteilungen USA

A Device and Method for the
Preparation of Building Compo-
nents from a Combination of
Materials
US 6, 861, 613 B 1

Method for Shaping Materials
with Plasma-Inducing High-Energy
Radiation
US 6, 822, 188 B 1

Patenterteilungen Japan

Anordnung zur Führung und
Formung von Strahlen eines
geradlinigen Laserdiodenarray
3649737

Patentanmeldungen National

Verfahren und Vorrichtung
zur Triangulation mit dynamischer
räumlicher Modulation des
optischen Messstrahls
10 2005 013 995.7

Netzteil zur Speisung
einer Lichtquelle
10 2005 045 569.7

Gasentladungsquelle,
insbesondere für EUV-Strahlung
10 2005 023 060.1

Vorrichtung und Verfahren
zum Schutz einer optischen
Komponente, insbesondere in
einer EUV-Quelle
10 2005 045 568.9

Verfahren und Vorrichtung zur
Vermessung der lateralen Relativ-
bewegung zwischen Bearbeitungs-
kopf und Werkstück bei der Bearbei-
tung mit einem Bearbeitungsstrahl
10 2005 022 095.9

Einbringen von Mustern in matte
Oberflächen durch moduliertes
Laserstrahlpolieren
10 2005 026 968.0

Drehdurchführung für
Pulver-Gas-Gemisch
10 2005 025 027.0

Vorrichtung zum Präzisionsbohren
und Abtragen mit Laserstrahlung
10 2005 047 328.8

Talkenberg, M. - 14.01.2005
Umladen von Fremdionen beim Modifizieren von Glas mit UV-Laserstrahlung für das Farbmarkieren und Strukturieren

Nießen, M. - 21.01.2005
Numerische Modellierung freier Randwertaufgaben u. Anwendung auf das Laserschneiden

Karimov, K. - 22.04.2005
Entwicklung und Qualifizierung von Innenbearbeitungsköpfen für das Laserstrahl-Auftragsschweißen

Willach, J. - 27.04.2005
Herstellung von konturierten Bohrungen in Mehrschichtsystemen mit Nd:YAG-Laserstrahlung

Willenborg, E. - 04.05.2005
Polieren von Werkzeugstählen mit Laserstrahlung

Heise, M. - 20.05.2005
Atmosphärendruckplasmen und die Anwendung zur Entkeimung von Polymerpackstoffen

Ramsayer, R. - 24.06.2005
Prozessstabilisierung beim gepulsten Laserstrahl-Mikroschweißen von Kupferwerkstoffen

Smith, C. - 16.08.2005
Passive Triggering of a High-Power Hollow-Cathode EUV-Lamp for Lithography

Peters, M. - 21.11.2005
Laserschweißen thermoplastischer Elastomere unter fluider Umgebung

Wirtz, T. - 19.12.2005
Herstellung von Knochenersatz-implantaten aus Titanwerkstoffen mit Laserforming

Walter, K. - 20.12.2005
Auslegung und Charakterisierung eines EUV-Transmissionsmikroskops

Bach-Zelewski, Barthel
Untersuchungen zur thermischen Linse in endgepumpten Ti-Saphir-Kristallen mit Brewster-Schnitt

Bendler, Manuel
Laserstrahl-Auftragsschweißen von Formen für die Glasherstellung durch Nutzung einer geschlossenen CAD/CAM/NC Prozesskette

Burbaum, Bernd
Studie zum Digitalisieren und Instandsetzen von Kompressor-schaufeln aus Strahltriebwerken

Emonts, Michael
Qualifizierung des Hochleistungs-diodenlasers zum flexiblen Hartlöten im Karosserierohbau

Hoelters, Stefan
Laser-Emissionsspektroskopie zur Tiefenprofilanalyse metallischer Schichtsysteme

Hohn, Roman
Korrektur thermisch induzierter Doppelbrechung in Nd:YAG-Stablasern durch einen Quarzrotator

Kaiser, Christian
Untersuchungen zur Steigerung der Konversionseffizienz von fs-Laserstrahlung in Si-Ka-Strahlung

Loebe, Andrea
Untersuchung des Materialabtrags und LIBS-Analyse von Metallproben mit Nd:YAG-Laserbursts

Löhring, Jens
Untersuchungen zur Erzeugung der zweiten und dritten Harmonischen mittels Summenfrequenzbildung von Nd:YAG-Lasern hoher mittlerer Leistung

Mahlmann, Daniel
Abtragen von Hartgewebe mit gepulster IR-Laserstrahlung im Femtosekunden bis Mikrosekunden Bereich

Moalem, Anas
Koaxiale Fremdbeleuchtung zur Überwachung des Schneidens und Schweißens mit Laserstrahlung

Schillinger, Sara
Charakterisierung der Grenzschichten an Polymeren nach Ablation mit UV-Laserstrahlung

Schmitt, Felix
Vergleich des Perkussions- und des Wendelbohrens mit Kurzpulslasern

Schwendt, Tilman
Entwicklung von Laser-Lichtstreuungverfahren zur Charakterisierung der Wechselwirkung von Proteinen in kleinen Flüssigkeitströpfchen

Wilkes, Jan
Investigation of the effect of important processing variables on the accuracy of three-dimensional printing of metallic components using nanoparticle binder

- F. Sari, A. Gillner, R. Poprawe, M. Rupf
Advances in selective laser radiation bonding of silicon and glass for microsystems
 Proceedings of Lasers in Manufacturing 3
 Seiten 791-796, 2005
- B. Regaard, S. Kaierle, W. Schulz, A. Moalem
Advantages of coaxial external illumination for monitoring and control of laser materials processing
 Proceedings of ICALEO 2307
 Seiten 915-919, 2005
- R. Poprawe, A. Gillner, A. Olowinsky, L. Bosse
Aktive Laserstrahljustage
 Montage hybrider Mikrosysteme - Handhabungs- und Fügetechniken für die Klein- und Mittelserienfertigung
 Seiten 53-56, 2005
- F. Schneider, D. Petring
Aktuelle Fortschritte und on-line Prozessüberwachung beim Laserstrahlschneiden
 Tagungsband zum Aachener Laser Seminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse für die Metallverarbeitung«, 2005
- C. Janzen, R. Fleige, R. Noll, H. Schwenke, W. Lahmann, J. Knoth, P. Beaven, E. Jantzen, A. Oest, P. Koke
Analysis of small droplets with a new detector for liquid chromatography based on laser-induced breakdown spectroscopy
 Spectrochimica Acta Part B 60
 Seiten 993-1001, 2005
- D. Petring
Aus zwei mach eins - Flexibler Kombikopf ermöglicht das Laserschneiden und -schweißen im fliegenden Wechsel
 MM-Maschinenmarkt 36
 Seiten 214-217, 2005
- K. Bergmann, O. Rosier, C. Maetzmacher
Compact extreme ultraviolet reflectometer for the characterization of grazing incidence optics based on a gas discharge light source
 Scientific Instruments 76
 Seiten 104-109, 2005
- D. Petring
Computer simulation of laser cutting for the limiting-value-oriented development of robust processes
 Welding and Cutting 4, No. 1
 Seiten 37-42, 2005
- R. Noll, I. Mönch, O. Klein, A. Lamott
Concept and operating performance of inspection machines for industrial use based on laser-induced breakdown spectroscopy
 Spectrochimica Acta Part B 60
 Seiten 1070-1075, 2005
- D. Petring
Der Kombikopf: Laserschweißen und -schneiden ohne Werkzeugwechsel
 Tagungsband zum 1. EMO Anwenderforum Lasertechnik, 2005
- E. W. Kreutz, W. Schulz
Diagnosis and modelling of nonlinear dynamics in laser cutting, welding and drilling
 Proceedings of NAFEMS, 2005
- R. Poprawe, P. Loosen, H.-D. Hoffmann
Diode and DPSS laser trends and applications
 The Industrial Laser User 38
 Seiten 18-21, 2005
- W. Schulz, J. Petereit, E. W. Kreutz, L. Trippe, U. Eppelt
Drilling model for μ s-pulses
 Proceedings of Lasers in Manufacturing 3, 2005
- A. Bollig, S. Mann, R. Beck, S. Kaierle
Einsatz optischer Technologien zur Regelung des Laserstrahlschweißprozesses
 at - Automatisierungstechnik 10
 Seiten 513-521, 2005
- D. Petring
Flexibilität beginnt im Kopf
 Bänder Bleche Rohre 46 06/07
 Seiten 28-30, 2005
- D. Petring
Flexibility starts in laser welding and cutting
 WIRE 4
 Seiten 47-48, 2005
- D. Petring
Flexibility starts in your head - Laser welding and cutting with the combihead
 Australasian Welding Journal 50
 Seite 21, 2005
- D. Petring
Flexibility starts in your head - Laser welding and cutting with the combihead
 Welding Technology (Yosetsu Gijutsu) 53, No. 11
 Seiten 84-88, 2005
- F. Schneider, D. Petring
Flexible Fertigung von Blechbaugruppen: effizient Laserstrahlschweißen und -schneiden mit dem Kombikopf
 Tagungsband zum Aachener Laser Seminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse für die Metallverarbeitung«, 2005
- T. Kiedrowski, E. Willenborg, K. Wissenbach, S. Hack
Generation of design structures by selective polishing with laser radiation
 Proceedings of Lasers in Manufacturing 3
 Seiten 451-455, 2005
- H. Bette, R. Noll, G. Müller, H.-W. Jansen, C. Nazikkol, H. Mittelstädt
High-speed scanning laser-induced breakdown spectroscopy at 1000 Hz with single pulse evaluation for the detection of inclusions in steel
 Journal of Laser Applications 17
 Seiten 183-190, 2005
- L. Bosse, S. Driessen, B. Engelmann, A. Gillner, R. Poprawe, T. Pfeiffer, R. Schmitt
Inline-Verfahren
 Montage hybrider Mikrosysteme - Handhabungs- und Fügetechniken für die Klein- und Mittelserienfertigung
 Seiten 187-218, 2005
- F. Schneider, D. Petring, R. Poprawe
Integrated laser processing - cutting and welding with a combined processing head
 Proceedings of Lasers in Manufacturing 3
 Seiten 133-135, 2005
- J. Pankert, R. Apetz, K. Bergmann, G. Derra, M. Janssen, J. Jonkers, J. Klein, T. Kruecken, A. List, M. Loeken, W. Neff, S. Probst, R. Prummer, O. Rosier, S. Seiwert, G. Siemons, D. Vaudrevange, D. Wagemann, A. Weber, P. Zink, O. Zitzen
Integrating Philips' extreme UV source in the alpha-tools
 Proceedings of SPIE 5751
 Seiten 260-271, 2005
- J. Vrenegor, R. Noll, V. Sturm
Investigation of matrix effects in LIBS plasmas of high-alloy steel for matrix and minor elements
 Spectrochimica Acta B 60
 Seiten 1083-1091, 2005
- C. Benter, D. Petring, R. Poprawe
Investigation of the transition from heat conduction to deep penetration welding with High Power Diode Lasers
 Proceedings of Lasers in Manufacturing 3
 Seiten 67-72, 2005
- A. Gillner, J. Holfkamp, C. Hartmann, A. Olowinsky, J. Gedicke, K. Klages, L. Bosse, A. Bayer
Laser applications in microtechnology
 Journal of Materials Processing Technology 167
 Seiten 494-498, 2005
- D. Petring
Laser cutting and welding with one tool
 The FABRICATOR 10
 Seiten 40-41, 2005
- F. Sari, W.-M. Hoffmann
Laserdurchstrahlfügen in der Mikrotechnik
 Kolloquium Mikroproduktion - Fortschritte, Verfahren, Anwendungen
 Seiten 71-84, 2005
- K. Wissenbach, A. Gasser, T. Jambor, C. Johnigk, T. Kiedrowski, W. Meiners
Lasereinsatz im Werkzeug- und Formenbau für Kunststoffmikrobauteile - Anwendungspotentiale und Praxisbeispiele
 Konferenzband zur DIF-Fachkonferenz: »Mikroformteile aus Kunststoff«, 2005

- B. Feddes, A. M. Vredenberg, M. Wehner, J. C. G. Wolke, J. A. Jansen
Laser-induced crystallization of calcium phosphate coatings on polyethylene (PE)
Biomaterials 26
Seiten 1645-1651, 2005
- F. Fuhrmann, D. Petring
Laser-Lichtbogen Hybrid-schweißen: Stand der Technik und aktuelle Fortschritte
Tagungsband zum Aachener Laser Seminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse für die Metallverarbeitung«, 2005
- D. Petring
Lasern mit dem Kombikopf auf dem Weg in die Praxis
BLECH InForm 4
Seiten 43-46, 2005
- D. Petring
Lasers in European Automotive Manufacturing: Historical Review and Recent Trends
The Industrial Laser User 39
Seiten 28-33, 2005
- A. Gillner, F. Sari, R. Poprawe, M. Wild
Laserstrahlbonden
Montage hybrider Mikrosysteme - Handhabungs- und Fügetechniken für die Klein- und Mittelserienfertigung
Seiten 91-102, 2005
- R. Poprawe, A. Gillner, L. Bosse
Laserstrahl-Löten
Montage hybrider Mikrosysteme - Handhabungs- und Fügetechniken für die Klein- und Mittelserienfertigung
Seiten 79-89, 2005
- D. Petring
Laserstrahlschneiden und -schweißen: Grundlagen für die Anwendung
Tagungsband zum Aachener Laser Seminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse für die Metallverarbeitung«, 2005
- R. Poprawe
Lasertechnik für die Fertigung - Grundlagen, Perspektiven und Beispiele für den innovativen Ingenieur
VDI-Buch 526
Seiten 1-353, 2005
- A. Weisheit, G. Vittr, K. Wissenbach, J. Zajac, H. Thoors, B. Johansson, E. Ribera, J. Arino, F. Sierra
Local heat treatment of ultra high strength steels to improve formability
Proceedings of IWOTE 1
Seiten 1-19, 2005
- A. Weisheit, G. Vittr, S. Scheffler, K. Wissenbach
Local heat treatment of ultra high strength steels to improve formability
Proceedings of Super-High Strength Steels
Seiten 1-10, 2005
- G. J. Schmitz, C. Brücker, P. Jacobs
Manufacture of high-aspect-ratio micro-hair sensor arrays
Journal of Micromechanics and Microengineering (15)
Seiten 1904-1910, 2005
- M. Wehner, A.-F. Teutu-Kengne, D. Brkovic, T. Henning, D. Klee, R. Poprawe, G. Jakse
Microsurgical anastomosis of sperm duct by laser tissue soldering
Proceedings of SPIE 5686
Seiten 226-233, 2005
- A. Gillner, J. Holtkamp, A. Bayer, P. Groche, R. Erhardt
Mikroumformen mit lokaler Bauteilerwärmung durch Laserstrahlung in transparenten Werkzeugen
Abschlussbericht zum DFG-Schwerpunktprogramm 1074 'Erweiterung der Formgebungsgrenzen bei Umformprozessen' 1074
Seiten 111-118, 2005
- K. Nicklaus, D. Hoffmann, M. Hoefer, J. Luttmann, P. Loosen, R. Poprawe
MOPA with kW Average Power and Multi MW Pulse Power
OSA Technical Digest 98
Seiten 1-3, 2005
- T. Wirtz, M. von Walter, O. Schulz, K. Wissenbach
New possibilities for the design and manufacturing of bone implants with external and internal functional architecture
Proceedings of Lasers in Manufacturing 3
Seiten 515-519, 2005
- D. Petring
One head does it all
Welding Journal 8
Seiten 49-51, 2005
- H. Balzer, M. Hoehne, V. Sturm, R. Noll
Online coating thickness measurement and depth profiling of zinc coated sheet steel by laser-induced breakdown spectroscopy
Spectrochimica Acta Part B 60
Seiten 1172-1178, 2005
- M. Daniels, N. Nicklaus, H.-D. Hoffmann, S. Altmeyer
Polarization-independent isolation of high power laser radiation
Proceedings of Lasers in Manufacturing 3
Seiten 747-750, 2005
- S. Kaieler, P. Abels, C. Kratzsch
Process monitoring and control for laser materials processing - an overview
Proceedings of Lasers in Manufacturing 3
Seiten 101-105, 2005
- M. Wehner, S. Beckemper, P. Jacobs, S. Schillinger, D. Schibur, A. Gillner
Processing of polycarbonate by high-repetition rate ArF excimer laser radiation
Proceedings of Lasers in Manufacturing 3
Seiten 557-561, 2005
- L. Bosse, N. Goebbels, R. Poprawe
Production cell for laser joining of microsystems with modular pick & join-tools
Proceedings of Lasers in Manufacturing 3
Seiten 785-789, 2005
- R. Lebert, B. Jaegle, C. Wies, U. Stamm, J. Kleinschmidt, K. Gaebel, G. Schriever, J. Pankert, K. Bergmann, W. Neff, A. Egbert
Progress on EUV-source development, tool integration and applications
Proceedings of SPIE 5835
Seiten 230-243, 2005
- C. Fuhrmann, D. Petring, R. Poprawe
Recent results on high power CO₂- and Nd:YAG-laser-arc hybrid welding of thick steel plates
Proceedings of Lasers in Manufacturing 3
Seiten 185-192, 2005
- P. Rußbüldt, T. Mans, R. Ritschel, D. Hoffmann
Röntgenstrahlung aus Laserstrahlung
Laser Technik Journal (5)
Seiten 86-88, 2005
- P. Loosen
Status and trends in the development of high-power diode lasers and their applications
Proceedings of SPIE 5777, 2005
- L. Bosse, A. Gillner, R. Poprawe
Temperature controlled selective soldering with laser radiation
Proceedings of LPM 2005
Seiten 185-190, 2005
- D. Petring, F. Schneider, C. Benter, R. Poprawe
The combi-head - truly flexible laser processing by cutting and welding in a single machine with a single tool
Proceedings of ICALEO 2005
Seiten 91-95, 2005
- F. Sari, A. Gillner
Thermal process control for laser radiation bonding of silicon and glass
Proceedings of 4M, 2005
- K. Bobzin, L. Bosse, A. Brandenburg, U. Dilthey, A. Erdle, S. Ferrara, E. Lugscheider, M. Maes, R. Poprawe, G. Smolka
Transient liquid phase bonding
Montage hybrider Mikrosysteme-Handhabungs- und Fügetechniken für die Klein- und Mittelserienfertigung
Seiten 65-78, 2005
- M. Wehner, M. Schmidbauer, P. Jacobs
VUV-Laserbearbeitung zur Herstellung mikrotechnischer Produkte für Medizin und Mikrochemie - Abschlussbericht InnoNet IN2020.
BMBF Forschungsbericht Report Nr. 16IN0064/16IN0065
Seiten 1-66, 2005
- C. Benter, D. Petring, R. Poprawe
Wärmeleitungs- und Tief-schweißen mit Hochleistungs-Diodenlasern
Tagungsband zum Aachener Laser Seminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse für die Metallverarbeitung«, 2005

- 11.01.2005 - R. Poprawe
Photonics research in Europe: High power sources, applications and the perspectives in the 7th FP of the EC
Cambridge, Großbritannien
- 21.01.2005 - M. Wehner
Microsurgical anastomosis of sperm duct by laser tissue soldering
Photonics West / BIOS 2005, San Jose, CA, USA
- 24.01.2005 - R. Poprawe
Development trends of new high power laser sources
Photonics West, San Jose, CA, USA
- 02.02.2005 - N. Wolf
Fertigungstechnologien - Laseranwendungen
BMBF-Verbundprojekt eSIE.CAR, Abschlusspräsentation, Krefeld
- 06.02.2005 - B. Jungbluth
Resonator designs of widely tunable Ti:Sapphire Lasers covering a large pulse energy range
ASSP 2005, Intercontinental Wien, Wien, Österreich
- 06.02.2005 - K. Nicklaus
MOPA with kW average power and multi MW pulse power
ASSP 2005, Intercontinental Wien, Wien, Österreich
- 02.03.2005 - R. Poprawe
Stand und Perspektiven plasmabasierter XUV-Quellen
ITO-Seminar, Stuttgart
- 02.03.2005 - F. Sari
Laserdurchstrahlfügen in der Mikrotechnik
Gemeinschaftskolloquium Mikroproduktion SFB 440, SFB 516, SFB 499, Aachen
- 02.03.2005 - L. Bosse
Produktionszelle zum Laserstrahlfügen hybrider Mikrosysteme mit modularen Greif- und Fügeystemen
Gemeinschaftskolloquium Mikroproduktion SFB 440, SFB 516, SFB 499, Aachen
- 13.03.2005 - A. L. Boglea
Laser tools for microassembly
Network Meeting - Training Workshop - Information Day, Pontedera, Italien
- 23.03.2005 - H.-D. Hoffmann
Entwicklung von Hochleistungs-lasern am Fraunhofer ILT Aachen
DLR, Stuttgart
- 01.04.2005 - L. Bosse
Temperature controlled selective soldering with laser radiation
LPM05, Newport News, USA
- 01.04.2005 - J. Gedicke
Advancements of SHADOW - Laser beam welding of compression molded copper parts
LPM05, Newport News, USA
- 02.04.2005 - E. W. Kreutz
Glass & ceramic material processing
Laser Precision Manufacturing 2005, Williamsburg, Virginia, USA
- 02.04.2005 - E. W. Kreutz
Laser surface modification
Laser Precision Manufacturing 2005, Williamsburg, Virginia, USA
- 06.04.2005 - R. Noll
Fraunhofer expertise in energetic materials and laser spectroscopy
Nato Workshop, Norfolk, Virginia, USA
- 11.04.2005 - R. Poprawe
Latest on high power diode pumped lasers
Navy Research Laboratory, Washington, USA
- 12.04.2005 - A. Weisheit
Local heat treatment of ultra high strength steels to improve formability
IWOTE05, Bremen
- 13.04.2005 - R. Poprawe
Robust automotive applications of high power laser
ALAW 2005, St. John's Conference Center, Plymouth, USA
- 25.04.2005 - R. Poprawe
Werden die Computerchips der Zukunft mit »Aachener Licht« gemacht?
Rotary, Aachen
- 25.04.2005 - E. W. Kreutz
Lasersicherheit
Seminar Lasersicherheit, Bad Münstereifel
- 26.04.2005 - E. W. Kreutz
Lasersicherheit - was ist wirklich wichtig?
Seminar Kunststoffschweißen, Würzburg
- 26.04.2005 - S. Kaielerle
Advances in system technology at Fraunhofer ILT
Shanghai Academy of Sciences, Shanghai, China
- 28.04.2005 - S. Kaielerle
Laser applications at Fraunhofer ILT
Changchun University of Science and Technology CUST, Changchun, China
- 29.04.2005 - R. Poprawe
Photonik zum Nutzen Europas
Aix Laser People Treffen, VDI Büro Brüssel, Brüssel
- 03.05.2005 - T. Mans
Laser für die Bearbeitung von Kunststoffen
Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg
- 08.05.2005 - K. Klages
High precision and high speed laser micro joining for electronics and micro systems
LAT 2005, St. Petersburg, Russland
- 09.05.2005 - S. Kaielerle
Prozessüberwachung beim Laserstrahlbohren
Aachener Laserseminar »Bohren mit Laserstrahlung«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 09.05.2005 - M. Traub
Fiber coupled high power diode laser pump modules for optical intersatellite links
OPTRO 2005, Paris, Frankreich
- 09.05.2005 - A. Gillner
Maschinen und Optiken zum Präzisionsbohren mit Laserstrahlung
Aachener Laserseminar »Bohren mit Laserstrahlung«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 09.05.2005 - W. Schulz
Modellierung, Diagnose und Simulation des Bohrens durch Schmelzaustrieb: Die Skalen der Lösungsstruktur
Aachener Laserseminar »Bohren mit Laserstrahlung«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 09.05.2005 - E. W. Kreutz
Allgemeine Einführung und Grundlagen des Bohrprozesses - Laserstrahlquellen und Einsatzmöglichkeiten
Aachener Laserseminar »Bohren mit Laserstrahlung«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 10.05.2005 - A. Gillner
Laserstrahlquellen für die Präzisionsbearbeitung, welcher Laser für welche Anwendung
Aachener Laserseminar »Laserbearbeitung in der Feinwerk- und Mikrotechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 10.05.2005 - L. Bosse
Löten mit Laserstrahlung - selektiv und prozesssicher
Aachener Laserseminar »Laserbearbeitung in der Feinwerk- und Mikrotechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 10.05.2005 - A. Olowinsky
Präzisionsschweißen mit Laserstrahlung in der Feinmechanik
Aachener Laserseminar »Laserbearbeitung in der Feinwerk- und Mikrotechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 11.05.2005 - A. Gillner
Laserstrahlbohren und Strukturieren von Oberflächen
Aachener Laserseminar »Laserbearbeitung in der Feinwerk- und Mikrotechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 11.05.2005 - M. Wehner
Strukturieren und Bohren von Polymeren und Keramiken mit Laserstrahlung
Aachener Laserseminar »Laserbearbeitung in der Feinwerk- und Mikrotechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 11.05.2005 - W. Schulz
Modellierung, Diagnose und Simulation
Firmenpräsentation Daimler Chrysler, Aachen
- 12.05.2005 - A. Gillner
Laserstrahlquellen für die Präzisionsbearbeitung, welchen Laser für welche Anwendung
Aachener Laserseminar »Kunststoffbearbeitung mit Laserstrahlung: eine vielseitige Technologie«, Fraunhofer ILT, Aachen

- 12.05.2005 - M. Poggel
Laser und Kunststoff - eine feste Verbindung
 Aachener Laserseminar »Kunststoffbearbeitung mit Laserstrahlung: eine vielseitige Technologie«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 13.05.2005 - A. Gillner
Strukturieren, Trennen und Modifizieren von Polymeren mit Laserstrahlung
 Aachener Laserseminar »Kunststoffbearbeitung mit Laserstrahlung: eine vielseitige Technologie«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 13.05.2005 - G. Otto
Lasereinsatz in der Verpackungstechnik - Selektive Bearbeitung führt zu neuen Produktlösungen
 Aachener Laserseminar »Kunststoffbearbeitung mit Laserstrahlung: eine vielseitige Technologie«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 17.05.2005 - E. W. Kreutz
Modelling and simulation in materials processing with laser radiation
 NAFEMS World Congress
 »Engineering Simulation: Best Practices and Visions of the Future«, Balluta Bay, Malta
- 22.05.2005 - E. W. Kreutz
A bunch of excellent properties for application of solid-state laser radiation
 Second International Conference »Laser Technologies in Welding and Materials Processing«, Kiev, Ukraine
- 22.05.2005 - E. W. Kreutz
Drilling with laser radiation - experimental and theoretical analysis of a complex superposition of processes
 Second International Conference »Laser Technologies in Welding and Materials Processing«, Kiev, Ukraine
- 29.05.2005 - L. Bosse
Temperature controlled selective soldering with laser radiation
 Industrial Forum: In situ diagnostic and control systems in laser materials processing, Strasbourg-IIIkirch, Frankreich
- 30.05.2005 - S. Kaieler
Recent developments and trends in processing monitoring and control of laser materials processing
 E-MRS 2005, Strasbourg-IIIkirch, Frankreich
- 31.05.2005 - R. Noll
Online characterization of zinc coatings
 TGS 9 Meeting, Dortmund
- 01.06.2005 - S. Kaieler
Aktuelles in der Systemtechnik des Fraunhofer ILT
 LLT Seminar, Fraunhofer ILT, Aachen
- 05.06.2005 - L. Bosse
Laser in micro technology
 Tampere Laser Summit Seminar 2005, Tampere, Finnland
- 08.06.2005 - A. Gasser
Lasereinsatz im Werkzeug- und Formenbau für Kunststoffmikrobauteile - Anwendungsbeispiele und Praxisbeispiele
 DIF Fachkonferenz: Mikroformteile aus Kunststoff, Würzburg
- 09.06.2005 - G. Backes
Laserbearbeitung bei Triebwerken
 Bundeswehrakademie, Oberammergau
- 09.06.2005 - K. Wissenbach
Herstellung von Gradientenschichten mit LA
 Gremientätigkeit Fraunhofer Allianz Rapid Prototyping, Berlin
- 10.06.2005 - T. Wirtz
New possibilities for the design and manufacturing of bone implants with DLF
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 12.06.2005 - K. Klages
Dissimilar metals - The flexibility of laser beam micro welding with SHADOW
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 13.06.2005 - T. Kiedrowski
Generation of design structures by selective polishing of metals with laser radiation
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 13.06.2005 - M. Wehner
Processing of polycarbonate by high-repetition rate ArF excimer laser radiation
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 14.06.2005 - C. Benter
Investigation of the transition from heat conduction to deep penetration welding with high power diode lasers
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 14.06.2005 - G. Vitr
Verbesserung der Umformeigenschaften schwer umformbarer Werkstoffe durch vorinitialisierten Wärmeeintrag
 EFB-Sitzung, Dresden
- 14.06.2005 - W. Schulz
Drilling model for μ s-pulses
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 14.06.2005 - F. Schneider
Integrated laser processing - cutting and welding with a combined processing head
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 14.06.2005 - S. Kaieler
Process monitoring and control for laser materials processing - an overview
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 14.06.2005 - F. Schneider
Laser cutting process control with process response evaluation
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 15.06.2005 - R. Wagner
Optical waveguides in fused silica written with spatially shaped femtosecond laser radiation
 CLEO Europe Konferenz, München
- 15.06.2005 - R. Poprawe
Materialbearbeitung und Optische Messtechnik
 Deutsche Börse Spotlights, München
- 15.06.2005 - R. Poprawe
Medizintechnik und Biophotonik
 Deutsche Börse Spotlights, München
- 15.06.2005 - L. Bosse
Production cell for laser joining of microsystems with modular pick & join-tools
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 15.06.2005 - F. Sari
Advances in selective laser radiation bonding of silicon and glass for micro systems
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 15.06.2005 - C. Fuhrmann
Recent results on high power CO₂- and Nd:YAG- laser-arc hybrid welding of thick steel plates
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 15.06.2005 - E. W. Kreutz
Deposition and modification of perovskite films
 3rd International Symposium on Irradiation Induced Phenomena in Chalcogenide, Oxides and Organic Thin Films, Sofia, Belgrad
- 15.06.2005 - E. W. Kreutz
Short-pulse laser radiation - a tool for manufacturing and modification of glasses
 3rd International Symposium on Irradiation Induced Phenomena in Chalcogenide, Oxides and Organic Thin Films, Sofia, Belgrad
- 16.06.2005 - M. Daniels
Polarisation independant isolation of high power laser radiation
 3rd Int. WLT-Conference on Lasers in Manufacturing LIM 2005, München
- 20.06.2005 - P. Jacobs
Laserverfahren in der Medizintechnik
 DIF-Fachkonferenz »Kunststoffe in der Medizintechnik«, Würzburg

- 27.06.2005 - P. Loosen
High-power diode laser - a new tool for industrial manufacturing
Innovative Manufacturing Conference of the Scottish Manufacturing Institute, Edinburgh, Schottland, GB
- 28.06.2005 - F. Sari
Thermal process control for laser radiation bonding of silicon and glass
Konferenz 4M Karlsruhe, Eggenstein-Leopoldshafen
- 28.06.2005 - R. Noll
New frontiers for laser-induced breakdown spectroscopy
Kolloquiumsvortrag ETH Zürich, Zürich, Schweiz
- 29.06.2005 - A. Gasser
Laser cladding for repair of blisks out of Ti and Ni based alloys
Laser&Poudre, Evry Cedex, Frankreich
- 29.06.2005 - A. Gasser
Laser cladding for molds repairing
Laser&Poudre, Evry Cedex, Frankreich
- 04.07.2005 - E. W. Kreutz
Laser in der Materialbearbeitung und andere als optische und elektrische Gefahren
Seminar Arbeitssicherheit, Ostfildern
- 06.07.2005 - E. W. Kreutz
Gefährdung von Augen und Haut durch Laserstrahlung
Seminar Laserstrahlung, Markt Triefenstein-Lengfurt
- 08.07.2005 - P. Abels
Coaxial Process Control - Qualitätssicherung für Laserbearbeitungsverfahren durch bildgebende Prozessüberwachung
Proteca, Aachen
- 20.07.2005 - M. Wehner
Laser technology for better implants
Workshop FhG-ZV partnering Johnson & Johnson, München
- 03.08.2005 - E. W. Kreutz
Einrichten von Laserbereichen und andere als optische Gefahrenpotenziale
Konferenz zur Arbeitssicherheit, Markt Triefenstein-Lengfurt
- 29.08.2005 - J. Holtkamp
Laser applications in micro technology
IFAMPT 2005, Glasgow, Schottland, GB
- 07.09.2005 - H. Balzer
Online depth profiling of zinc coated sheet steel by laser-induced breakdown spectroscopy
EMSLIBS 2005, Fraunhofer ILT, Aachen
- 10.09.2005 - D. Wortmann
Sub-wavelength ripple formation on various materials induced by tightly focused femtosecond laser radiation
Conference on Laserablation COLA05, Banff, Kanada
- 10.09.2005 - A. Horn
Si-K radiation generated by the interaction of femtosecond laser radiation with silicon
Conference on Laserablation COLA05, Banff, Kanada
- 15.09.2005 - D. Petring
Der Kombikopf: Laserschweißen und -schneiden ohne Werkzeugwechsel
1. EMO Anwenderforum Lasertechnik 2005, Hannover
- 15.09.2005 - A. Gasser
Laserstrahl-Auftragschweißen: Reparatur und Modifikation im Werkzeug- und Formenbau
1. EMO Anwenderforum Lasertechnik 2005, Hannover
- 17.09.2005 - E. W. Kreutz
Laser cladding, drilling and shaping as manufacturing, repair and overhaul technologies for rotating machinery
3rd International Symposium on Stability Control of Rotating Machinery, Cleveland, USA
- 20.09.2005 - R. Noll
Laserspektroskopie für die online Analytik
24. Spektrometertagung, Dortmund
- 22.09.2005 - P. Loosen
Grundlagen des Lasers, seine Möglichkeiten - Geschichte und Fragen
PROLAS-Workshop, Aachen
- 23.09.2005 - H.-D. Hoffmann
Laser for materials processing
Sino-German Workshop, Peking, China
- 23.09.2005 - S. Kaieler
Vermessung der Phasengrenze bei der Laserstrahlmaterialbearbeitung
Jahresveranstaltung der Gesellschaft zur Förderung der angewandten Informatik (GFal), Berlin
- 25.09.2005 - G. Ligbado
Coloured marking inside glass by laser radiation
SPIE Europe Symposium »Optics / Photonics in Security & Defence«, Brügge, Belgien
- 27.09.2005 - A. Olowinsky
Verfahrenstechnik und Anforderungen an die Produktgestaltung für das Kunststoffschweißen mit Laser
Technologieseminar »Kunststoffschweißen mit Laser«, Freudenstadt
- 17.10.2005 - R. Poprawe
Partner der Innovatoren
IHK und Industrieclub, Düsseldorf
- 25.10.2005 - A. Gillner
Laserbasierte Techniken für Rapid Tooling und funktionale Oberflächenstrukturierung
Workshop Mikrobearbeitung, Chemnitz
- 25.10.2005 - M. Nießen
Methoden zur Diagnose und Simulation der Laser-Fertigungsverfahren
Firmenpräsentationen aisprocess, Aachen
- 30.10.2005 - D. Petring
The combi-head: truly flexible laser processing by cutting and welding in a single machine with a single tool
24th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, ICALEO 2005, Miami, FL, USA
- 01.11.2005 - R. Poprawe
Development trends of high power diode lasers and resulting perspectives for applications
24th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, ICALEO 2005, Miami, FL, USA
- 01.11.2005 - A. Weisheit
Local laser heat treatment of ultra high strength steels to improve formability
1st International Conference on Super High Strength Steels, Rom, Italien
- 02.11.2005 - R. Poprawe
Fraunhofer ILT - Partner der Innovatoren
Besuch Minister Pinkwart, Fraunhofer ILT, Aachen
- 03.11.2005 - S. Kaieler
Advantages of coaxial high power lighting for visualization, monitoring and control of laser materials processing
24th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, ICALEO 2005, Miami, FL, USA
- 07.11.2005 - A. Gillner
Taylored hole drilling with laser radiation - from process simulation to production integration
Laser drilling workshop, Connecticut Center for Advanced Technologies Inc. (CCAT), Hartford, USA
- 09.11.2005 - A. Gasser
Lasereinsatz im Werkzeug- und Formenbau für Mikroteile - Anwendungspotentiale und Praxisbeispiele
Fachtagung Mikrospritzguss und Mikroformenbau zum Anfassen, Würzburg

10.11.2005 - A. Weisheit
Multifunktionale Gradientenwerkstoffe für den Werkzeugbau
 2. WING-Konferenz, Aachen

14.11.2005 - D. Petring
Laserstrahlschneiden und -schweißen: Grundlagen für die Anwendung
 Aachener Laserseminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse für die Materialverarbeitung«, Fraunhofer ILT, Aachen

14.11.2005 - F. Schneider; D. Petring
Aktuelle Fortschritte und on-line Prozessüberwachung beim Laserstrahlschneiden
 Aachener Laserseminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse für die Materialverarbeitung«, Fraunhofer ILT, Aachen

14.11.2005 - C. Benter
Wärmeleitungs- und Tief-schweißen mit Hochleistungs-Diodenlasern
 Aachener Laserseminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse für die Materialverarbeitung«, Fraunhofer ILT, Aachen

14.11.2005 - F. Fuhrmann
Laser-Lichtbogen Hybrid-schweißen: Stand der Technik und aktuelle Fortschritte
 Aachener Laserseminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse für die Materialverarbeitung«, Fraunhofer ILT, Aachen

14.11.2005 - F. Schneider
Flexible Fertigung von Blechbaugruppen: effizient Laserstrahlschweißen und -schneiden mit dem Kombikopf
 Aachener Laserseminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse für die Materialverarbeitung«, Fraunhofer ILT, Aachen

14.11.2005 - R. Poprawe
Werden die Computerchips der Zukunft mit »Aachener Licht« gemacht?
 Lions Club Aachen, Aachen

15.11.2005 - I. Fliegen
Qualitätskontrolle in der Großserienfertigung von Automobilkomponenten
 Aachener Laserseminar »Online-Qualitätssicherung in der Laserfugetechnik und effizientes Laserstrahlschweißen durch Nahtfolge und Nahtinspektion«, Fraunhofer ILT, Aachen

15.11.2005 - P. Abels
Prozessüberwachung für die Materialbearbeitung mit Laserstrahlung
 Aachener Laserseminar »Online-Qualitätssicherung in der Laserfugetechnik und effizientes Laserstrahlschweißen durch Nahtfolge und Nahtinspektion«, Fraunhofer ILT, Aachen

15.11.2005 - C. Johnigk
Entschichten mit Laserstrahlung
 OTTI-Profiforum »Entschichten in der Oberflächentechnik«, Regensburg

16.11.2005 - L. Boeske
Nahtfolge und Nahtinspektion - Grundlagen und Anwendungsbeispiele
 Aachener Laserseminar »Online-Qualitätssicherung in der Laserfugetechnik und effizientes Laserstrahlschweißen durch Nahtfolge und Nahtinspektion«, Fraunhofer ILT, Aachen

16.11.2005 - A. Gillner
Laserabtrag zur Herstellung von Mikrowerkzeugen
 Aachener Laserseminar »Laser im Werkzeug- und Formenbau«, Fraunhofer ILT, Aachen

16.11.2005 - K. Wissenbach
Lasereinsatz in der Werkzeugtechnik - Ein Überblick
 Aachener Laserseminar »Laser im Werkzeug- und Formenbau«, Fraunhofer ILT, Aachen

16.11.2005 - C. Johnigk, E. Willenborg
Reinigen und Polieren von Werkzeugen mit Laserstrahlung
 Aachener Laserseminar »Laser im Werkzeug- und Formenbau«, Fraunhofer ILT, Aachen

16.11.2005 - A. Weisheit
Reparaturbeschichten von Werkzeugen und Herstellung von Funktionsschichten mit Laserstrahlung
 Aachener Laserseminar »Laser im Werkzeug- und Formenbau«, Fraunhofer ILT, Aachen

17.11.2005 - A. Gillner
Laserstrahlquellen für die Präzisionsbearbeitung
 Aachener Laserseminar »Laserverfahren in der Medizintechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

17.11.2005 - M. Poggel
Laserstrahlfügen medizinischer Kunststoffbauteile Laser und Kunststoff - eine feste Verbindung
 Aachener Laserseminar »Laserverfahren in der Medizintechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

17.11.2005 - M. Wehner
Mikrostrukturierung und Oberflächenfunktionalisierung von Kunststoffbauteilen für die Medizintechnik
 Aachener Laserseminar »Laserverfahren in der Medizintechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

17.11.2005 - A. Gillner
Laserverfahren in der Medizintechnik - Etabliert und trotzdem nicht abgehakt, Ideen für die Zukunft
 Aachener Laserseminar »Laserverfahren in der Medizintechnik«, Fraunhofer ILT, Aachen

17.11.2005 - A. Gasser
Laser cladding for mould applications
 Expolaser 2005, Piacenza, Italien

22.11.2005 - R. Poprawe
Faserlaser für Messtechnik und Materialbearbeitung
 Faserlaserworkshop, Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden

25.11.2005 - T. Mans, C. Wessling
Laser in der Zahnheilkunde
 AGLAC, Fraunhofer ILT / Aditec, Aachen

30.11.2005 - S. Kaieler
Autonome Laserbearbeitung
 Abschlusskolloquium SFB 368 »Autonome Produktionszellen«, WZL RWTH Aachen, Aachen

14.12.2005 - S. Kaieler
Process control in heavy section welding for ship building applications
 IIW Meeting Workgroup Shipbuilding, Hamburg

14.12.2005 - R. Noll
Laser explosives detector - stand-off detection of surface contaminations with explosives residues using laser spectroscopic methods
 NATO Advanced Research Workshop, Pfinztal

11.04. - 15.04.2005

Hannover

Hannover Messe 2005
Internationale Industriemesse
Teilnahme der Abteilung Mikro-
technik des Fraunhofer ILT
am IVAM Gemeinschaftsstand,
ILT-Thema: Laser in der Mikrotechnik.

26.04. - 29.04.2005

Sinsheim

Microsys

2. Kongress-Fachmesse zur Mikro-
systemtechnik und Ultrapräzisions-
fertigung

Teilnahme der Abteilung Mikro-
technik des Fraunhofer ILT,
ILT-Thema: Laser in der Mikrotechnik.

29.04. - 04.05.2005

Köln

INTERZUM

Internationale Fachmesse für
Möbelfertigung und Holzbausbau
Teilnahme der Coopération Laser
Franco-Allemande CLFA,
CLFA-Thema: Laserunterstütztes
Nähen.

13.06. - 16.06.2005

München

**LASER 2005 World of Photonics
and World of Photonics
Congress 2005**

Internationale Fachmesse und
internationaler Kongress
Teilnahme des Fraunhofer ILT am
Fraunhofer Gemeinschaftsstand,
ILT-Themen: maßgeschneiderte
innovative Laserstrahlquellen, inno-
vative Bearbeitungssysteme (Kombi-
kopf für Schneiden & Schweißen,
Scanner für robotergestützte Re-
mote-Bearbeitung), Modellierungs-
und Simulationssoftware für die
Lasermaterialbearbeitung (Schnei-
den & Bohren), Shadow®-Anlage
zum optimalen Fügen von Präzisions-
bauteilen, Wendelbohroptik für
das Präzisionsbohren mit Laser.

12.09. - 17.09.2005

Essen

Schweissen & Schneiden 2005

16. Weltmesse zum Fügen,
Trennen und Beschichten
Teilnahme der Abteilung Trenn- und
Fügeverfahren des Fraunhofer ILT
am Stand der Firma Severt GmbH,
ILT-Thema: Kombikopf in einer
Roboterzelle zum 3-dimensionalen
Schweißen und Schneiden ohne
Werkzeugwechsel.

14.09. - 21.09.2005,

Hannover

EMO Hannover 2005

Weltausstellung der Fertigungs-
technik

Teilnahme der Abteilung Trenn- und
Fügeverfahren des Fraunhofer ILT
am Stand der Rofin Gruppe,
ILT-Thema: Kombikopf fasergekop-
pelt mit einem 3 kW Scheibenlaser
zum robotergeführten Schweißen
und Schneiden ohne Werkzeug-
wechsel.

18.10. - 20.10.2005

Essen

parts2clean

Fachmesse für industrielle
Teilereinigung und Teiletrocknung
Teilnahme der Abteilung Ober-
flächentechnik des Fraunhofer ILT
am Fraunhofer Gemeinschaftsstand,
ILT-Thema: Laserreinigungstechnik.

13.11. - 16.11.2005

Chicago

FABTECH International

Teilnahme der Abteilung Trenn-
und Fügeverfahren des Fraunhofer
ILT am Stand der Visotek Inc.,
ILT-Thema: Kombikopf zum
3-dimensionalen Schweißen und
Schneiden ohne Werkzeugwechsel.

14.11. - 18.11.2005

Paris

EUROPLAST

13^e Salon International des
Plastiques, du Caoutchouc et
des Matériaux Composites
Teilnahme der Coopération Laser
Franco-Allemande CLFA zusammen
mit der Fa. inno-shape GmbH,
einem Spin-off des Fraunhofer ILT,
CLFA-Thema: Anwendungen zum
Kunststoffschweißen und zum
Selective Laser Melting Prozess.

15.11. - 18.11.2005

München

Productronica

Internationale Fachmesse der
Elektronik-Fertigung
Teilnahme der Abteilung
Mikrotechnik des Fraunhofer ILT,
ILT-Thema: Laser in der Mikrotechnik.



13.01.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Prof. F. Krausz, Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching
»Attosekundenphysik: Ein Blick ins Innere der Atome«

20.01.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Dr. T. Tschentscher, DESY, Hamburg
»X-ray free-electron lasers: New light for new science«

27.01.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Prof. C. Fotakis, IESL, F.O.R.T.H., Heraklion, Griechenland
»Novel aspects of materials processing by ultrafast lasers: From Electronic to biological and art conservation applications«

13.04.2005

Plymouth, Michigan, USA
»Open house CLT«
Ganz im Zeichen der Lasertechnik stand der Tag der offenen Tür im Center for Laser Technology in Plymouth, Michigan. Den Rahmen für das »Open House« bildete der Automotive Laser Applications Workshop ALAW.

Über 100 Besucher aus Forschung, Industrie und Presse konnten sich von den neuesten Entwicklungsergebnissen des Zentrums überzeugen. Die Mitarbeiter des CLT standen den internationalen Fachbesuchern Rede und Antwort. Zu den Live-Vorführungen zählte des robotergeführte Remote Schweißen mit einem 6 kW CO₂-Laser und die Demonstration einer eigens entwickelten Scanoptik. 250 Schweisungen pro Minute sind hiermit realisierbar.

Anwendungen aus der Mikrotechnik deckten die Bereiche Markieren, Schweißen und Härten ab. Ein 25 W-Faserlaser, gekoppelt an ein 2D-Scanning System, demonstrierte eindrucksvoll die Vielfalt der möglichen Farben auf Titan während eines Markierungsdurchganges.

Die Flexibilität von Glasfaser geführten Diodenlasern stand ebenfalls im Mittelpunkt. Mit einem 250 W-Laser wurden in einem Durchgang die Prozesse Plastikfügen, Härten, Biegen und Farbabtragen realisiert. Mit Hilfe eines 100 W sealed CO₂-Lasers wurden am CLT Gläser geschweißt.

Eine weitere Attraktion war die Präsentation des Faserlasers mit flexiblen Pulsparametern. In der Mikrotechnik findet er seine Anwendung in der Ablation, im Bohren und im Schweißen. Eine Computeranimation gab Einblick über die Konstruktion von optischen Systemen.

14.04.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Prof. J. Meyer-ter-Vehn, Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching
»Relativistische Laserplasmen und Teilchenbeschleunigung«

28.04.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Prof. D. N. Payne, Optoelectronics Research Centre, University of Southampton, Southampton, UK
»Fiber and planar waveguide lasers«

29.04.2005, Brüssel

18. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit Führung durch das Europäische Parlament durch den Europa-Parlamentarier Armin Laschet und Besuch des VDI EU-Büros mit Vortrag von Dr. Jörg Niehoff, VDI Büro Brüssel, zum Thema »Interessensvertretung der deutschen Ingenieure in Brüssel« sowie Vortrag von Professor Reinhart Poprawe, Fraunhofer ILT, zum Thema »Photonik zum Nutzen Europas«. Dr. Rainer Zimmermann, Leiter des Referates »Nanoelektronik und Photonik« der Europäischen Kommission, gab den Teilnehmern einen Einblick hinter die Kulissen der EU Behörde mit seinem Vortrag zum Thema »Entscheidungswege und Programmgestaltung in der Europäischen Kommission - ein Buch mit sieben Siegeln?«.

02.05.2005, Aachen

Unihits für Kids
Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Gymnasiums Filder Benden in Moers zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern

09.05.2005, Aachen

Aachener Laser Seminar
»Bohren 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.

10.05. - 11.05.2005, Aachen

Aachener Laser Seminar
»Laserbearbeitung in der Feinwerk- und Mikrotechnik - Fügen und Strukturieren mit Präzision«
Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

12.05. - 13.05.2005, Aachen

Aachener Laser Seminar
»Kunststoffbearbeitung mit Laserstrahlung: eine vielseitige Technologie - Schweißen, Strukturieren, Schneiden, Beschriften«
Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

02.06.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Dr. C. Rullière, CEA/CESTA, Le Barp, Frankreich
»The Laser-Megajoule: Design and progress«

09.06.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Prof. K.-I. Ueda, University of Electro-Communications, Tokyo, Japan
»What is the real potential of ceramic lasers?«

15.06.2005, München

19. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT anlässlich der LASER 2005 mit Podiumsdiskussion zum Thema »Arbeiten und Leben in der Schweiz«
Diskussionsteilnehmer:
- Dipl.-Phys. Georg Endler, TERGON GmbH Ergo Chair Factory, Montet (CH)
- Dr.-Ing. Joachim Kubaink, RUAG Electronics, Bern (CH)
- Dr. Joachim Hertzberg, LASAG AG, Thun (CH)
- Dipl.-Ing. Oliver Hinz, Leister Process Technologies, Kägiswill (CH)
- Dr. Jochen Stollenwerk, ehemals TRUMPF Laser Marking Systems AG, Grüşch (CH)
Moderation: Dipl.-Phys. Axel Bauer, Fraunhofer ILT

23.06.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik

Prof. R. Steiner, Universität Ulm, ILM
»Perspektiven der Laseranwendungen in der diagnostischen und therapeutischen Medizin«

30.06.2005

**Evry, Frankreich
Journée Industrielle
Laser & Poudre**

Die CLFA war 2005 Ausrichter der jährlich stattfindenden Lasertage des französischen Club Laser & Procédés. Vom 8. bis 10. Juni 2005 trafen sich knapp 100 Laserhersteller, -anwender und -forscher Frankreichs an der Ecole des Mines de Paris, um ihre Erfahrungen auszutauschen. Schwerpunktthema war diesmal Laseranwendungen bei dünnen Materialien. Auf einer Podiumsdiskussion zum europäischen Forschungsraum wurden die künftigen Themen im Bereich Photonik mit Experten des französischen Forschungsministeriums, der deutschen Botschaft in Paris, des VDI sowie des europäischen Laserinstituts diskutiert. Die Veranstaltung wurde durch einen Besuch der Produktion des Luftfahrtunternehmens Dassault abgerundet.

**06.09. - 09.09.2005, Aachen,
Euro-Mediterranean Symposium
on Laser-Induced Breakdown
Spectroscopy - EMSLIBS 2005**

Die EMSLIBS 2005 - eine im zweijährigen Abstand stattfindende, internationale Tagung zum Thema Laser-Emissionspektrometrie (engl. laser-induced breakdown spectroscopy, abgekürzt LIBS) - fand im Jahr 2005 zum dritten Mal und erstmalig in Deutschland am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT statt. Schwerpunkte der Tagung waren LIBS-Applikationen für den industriellen Einsatz und für Sicherheitsanwendungen. Zu Beginn der Konferenz fand eine Einführungsveranstaltung für Interessierte aus Forschung und Industrie statt und erfreute sich mit ca. 100 Teilnehmern eines regen Zuspruchs.

In drei Übersichtsvorträgen wurden die Grundlagen der Physik von LIBS-Plasmen, die für LIBS-Experimente notwendige Ausrüstung und Anwendungsmöglichkeiten von LIBS behandelt. An den drei darauf folgenden Tagen fand die eigentliche Tagung mit ca. 140 Teilnehmern statt. Aktuelle Forschungsergebnisse und LIBS-Anwendungen wurden in neun Vortragsblöcken und einer Postersitzung vorgestellt und diskutiert.

Insgesamt wurden 46 Vorträge - davon 9 eingeladene - und 61 Poster präsentiert. Eröffnet wurde die Konferenz von Dr. Dieter Sommer, dem Leiter der chemischen Laboratorien der ThyssenKrupp Stahl AG. Zwei Sitzungen behandelten schwerpunktmäßig LIBS für industrielle Anwendungen, wie z. B. die Online-Analyse von Metallschmelzen oder die Sortierung von Aluminiumschrott und Mineralien. Weitere Sitzungen behandelten grundlegende Aspekte von LIBS, wie z. B. LIBS mit fs-Lasern, Doppelpulsen oder Kombinationstechniken.

Ein weiterer Schwerpunkt waren LIBS-Applikationen für Sicherheitsanwendungen wie die Sprengstoffdetektion - auch über große Distanzen - und die Identifikation von Landminen. Ein Highlight der Veranstaltung war der Besuch der LIBS-Aluminiumschrottsortieranlage des ILTs, die in den Gebäuden der RWTH Aachen für den Probetrieb aufgebaut ist.

Parallel zur Konferenz fand eine Industrieausstellung statt, an der 20 Firmen teilnahmen. Insgesamt nahmen an allen Veranstaltungen zusammen etwa 180 Teilnehmer teil, was gegenüber der EMSLIBS 2003 fast einer Verdopplung der Teilnehmerzahl entspricht und das zunehmende Interesse an LIBS in Industrie und Forschung unterstreicht.

Finanziell unterstützt wurde die EMSLIBS 2005 von einer Reihe von Sponsoren und folgenden Institutionen: DFG, ARL-ERO, NATO und FHG.

In der Zeitschrift »Analytical and Bioanalytical Chemistry« vom Springer Verlag werden im Frühjahr 2006 Tagungsbeiträge erscheinen, die im peer review Verfahren begutachtet werden.

Weitere Informationen unter:
<http://www.ilt.fraunhofer.de/emslibs2005/>

20.10.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Dr. N. Lichtenstein, Bookham Technology plc., Zürich, Schweiz
»High brightness laser diodes«

20.10.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Prof. D. Bohn, RWTH Aachen, Institut für Gas- und Dampfturbinen
»Innovative Technologien für ein GuD-Kraftwerk mit einem Wirkungsgrad über 65 %«

21.10.2005, Aachen

20. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit Vorträgen von Dr. Konstantin Boucke, Fraunhofer ILT, über »Aktuelle Entwicklungen in der Abteilung Laserkomponenten des Fraunhofer ILT« und Dipl.-Ing. Volker Krause, Laserline Gesellschaft für Entwicklung und Vertrieb von Diodenlasern GmbH, Mülheim, zum Thema »Laserline - Diodenlaser für die Fertigungstechnologie«. Anschließend fand eine Besichtigung der Fa. CEROBEAR GmbH in Herzogenrath statt.

03.11.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik

Prof. I. Miyamoto, Osaka University, Japan
»Recent status of laser materials processing in Japan«

10.11.2005

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Prof. D. R. Hall, Heriot Watt University, Edinburgh, UK
»Planar waveguide architecture for high average power solid state lasers«

14.11.2005, Aachen

Aachener Laser Seminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse für die Metallverarbeitung«

Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

15.11. - 16.11.2005, Aachen

Aachener Laser Seminar »Online-Prozessüberwachung in der Laserfügetechnik« und »Effizientes Laserstrahlschweißen durch Nahtfolge und Nahtinspektion«

Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

16.11.2005, Aachen

Aachener Laser Seminar »Laser im Werkzeug- und Formenbau«

Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.
Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

17.11.2005, 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.

17.11.2005
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Dr. R. Wünsch,
Forschungszentrum Rossendorf
»Der Rossendorfer Freie-Elektronen Laser an der Strahlungsquelle ELBE«

24.11.2005, Aachen
Unihits für Kids
Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Franz-Meyers-Gymnasiums in Mönchengladbach zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern

01.12.2005
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Prof. T. Elsässer,
Forschungsverbund Berlin e. V.
»Vom fernen Infrarot bis in den Röntgenbereich - Erzeugung und Anwendung ultrakurzer Lichtimpulse«

08.12.2005
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Dr. A. Voß, Universität Stuttgart, Institut für Strahlwerkzeuge
»Der Scheibenlaser: Stand der Technik und Perspektiven«

16.12.2005, Aachen
Unihits für Kids
Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Otto-Hahn-Gymnasiums in Monheim am Rhein zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern

22.12.2005, Aachen
21. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit Vorträgen von Dipl.-Ing. Gerhard Backes, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT, über»Aktivitäten des Lehrstuhls für Lasertechnik im Bereich der Oberflächentechnik« und Dr. Christoph Over, inno-shape GmbH, Aachen zum Thema »inno-shape GmbH - innovative Dienstleistungen zum Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing«. Anschließend fand eine Besichtigung der Fa. inno-shape GmbH statt.



**»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 Institutes und eine Kundenreferenzliste.

»Angebot und Ansprechpartner 2006/7« (deutsch/englisch)

Diese Broschüre vermittelt einen Überblick über das aktuelle Dienstleistungsangebot sowie die Ansprechpartner des Institutes. Die einzelnen Abteilungen des Fraunhofer ILT werden mit ihren Arbeitsschwerpunkten vorgestellt.

Jahresbericht 2005 (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'04

Im technischen Tagungsband des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'04 (28. bis 30.04.2004) berichten 34 Laserhersteller und Anwender über neueste Entwicklungen und technologische Trends aus den Branchen optische Industrie, Automobilindustrie, metallverarbeitende Industrie, Werkzeug- und Formenbau, Elektrotechnik und Elektronik sowie Kunststoff- und Glasindustrie. Die Fallbeispiele aus der Praxis beleuchten die unterschiedlichen Laserverfahren wie Lasermesstechnik, Lasermikrotechnik, Laserstrahlschweißen und -schneiden sowie Laseroberflächentechnik.

Tagungsband des Laser-Business-Tages des AKL'04

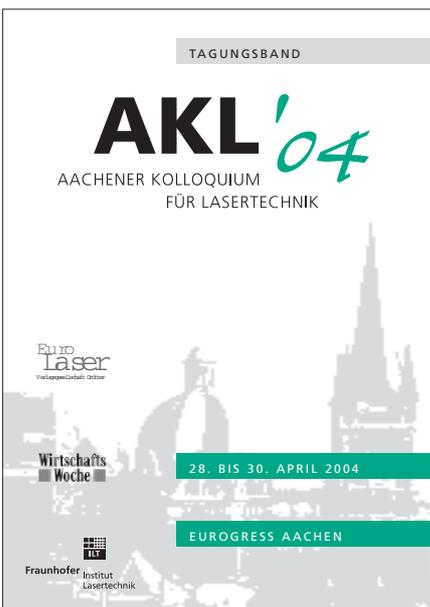
Der Tagungsband des Laser-Business-Tages, der am 28.04.04 in Aachen mit zehn Experten aus den Bereichen Finanzwesen, Technologiemarketing, Patentwesen und Unternehmensberatung stattfindet, richtet sich an Führungskräfte expandierender Technologiefirmen sowie an Unternehmensgründer. Einerseits wird ein prägnanter Überblick über Chancen und Trends der Lasertechnik in der Fertigungstechnik, in der Kommunikationstechnik und in der Medizintechnik vermittelt. Andererseits werden Aspekte, die Unternehmen in den unterschiedlichen Phasen des Wachstums begegnen, aus finanztechnischer, patentrechtlicher und marketingspezifischer Sicht beleuchtet.

Programm des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'06

03 - 05. Mai 2006. Das Programm zum AKL'06 kann unter 0241/ 8906 -109 bzw. Fax -121 oder per Internet unter www.ilt.fraunhofer.de/akl06 angefordert werden.

»Hochleistungsdiodelnaser«

Der Fachprospekt erläutert die unterschiedlichen Aktivitäten des Fraunhofer ILT in der Entwicklung von Hochleistungsdiodelnlasern. Hierzu zählen die Auslegung spezieller Bauelemente zur Kühlung der Laser, die Konfektionierung der Diodelnlaserbarren, die Charakterisierung in Burn-In-Plätzen, das optische Design und die Entwicklung kompletter Diodelnlasermodule.



»LASIM® - Lasersimulator für die Ausbildung«

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über die Vorteile des Einsatzes von Multimedia-Software in der Ausbildung von Laserfachkräften und Studenten. Er stellt insbesondere den Einsatzbereich, die Programminhalte und die Systemanforderungen der Software LASIM® vor. Diese wurde am Fraunhofer ILT für die Ausbildung zum Laserstrahlschweißen und -schneiden entwickelt. LASIM® ist auf einer CD-Rom mit entsprechender Programmanleitung über das Fraunhofer ILT zu beziehen.

»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 Aufrauhen, das Strukturieren und Aktivieren, das Rekristallisieren, das Glühen sowie das Feinperlitisieren.

»Lasertechnik für den Verschleiß- und Korrosionsschutz«

Verschleiß- und Korrosionsschutz kann durch unterschiedliche Laserverfahren erzeugt werden. Der Fachprospekt gibt einen Einblick in Verfahren wie martensitisches Randschichthärten, Umschmelzen, Auftragschweißen, Legieren und Dispergieren.

»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 für Metallbauteile«

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 laserunterstützte 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«

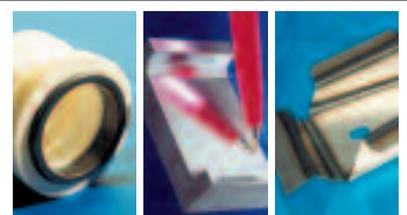
Der Fachprospekt veranschaulicht die systemtechnischen Lösungen, die das Fraunhofer ILT ihren Kunden anbietet. Die Systemtechnik befasst sich am Fraunhofer ILT mit der Planung, Entwicklung und Installation von kompletten Laseranlagen sowie von Prozessüberwachungs- und Regelungssystemen. Machbarkeitsstudien, 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.



Hochleistungs-Diodenlaser



Lasertechnik für die Oberflächenmodifikation und das Umformen



»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 Laserstrahlbenden 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.

»Werkstoffanalyse und Verwechslungsprüfung mit Laserstrahlung«

Der Fachprospekt stellt die am Fraunhofer ILT entwickelten Verfahren und Systeme zur Analyse der Zusammensetzung von Werkstoffen mit Laserstrahlung vor. Die Eingangsprüfung von unterschiedlichen Materialien, die Verwechslungsprüfung, das Sortieren von Werkstoffen, sowie die Online-Analyse von Schmelzen sind Aufgaben, die mit dem Laser schnell und zuverlässig erledigt werden können.

»Oberflächen- und Schichtanalyse«

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über die am Fraunhofer ILT und am Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen vorhandenen Messmethoden zur Oberflächenanalyse. Hierzu zählen verschiedene Spektroskopieverfahren, die Ellipsometrie und metallographische Messmethoden.

Lasertechnik an der RWTH Aachen Studieninfo 2004/2005

Diese Broschüre richtet sich an Studenten der Ingenieurwissenschaften Maschinenbau und Elektrotechnik als auch an Physikstudenten und gibt einen Überblick über das Lehrangebot 2004/2005 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«

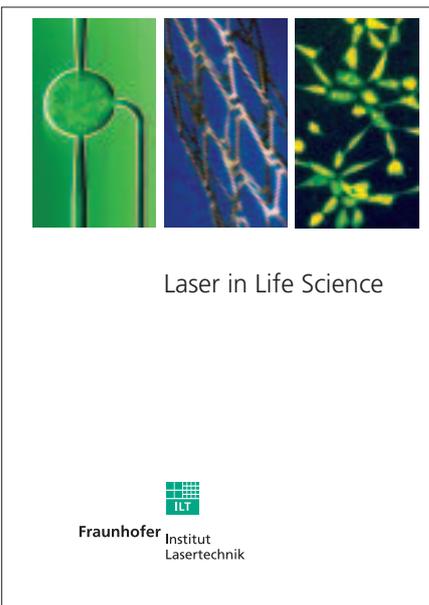
Kompetenznetze.de ist eine Initiative des BMBF und wird als Instrument für internationales Standortmarketing durch Präsentation der kompetentesten Technologie-Netze in Deutschland genutzt. Die Internet Plattform www.kompetenznetze.de, in der auch das Aachener Netzwerk PhotonAix e. V. vertreten ist, bietet 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.



»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 (0)6221/345 -0
Fax: ++49 (0)6221/345 -4229
SDC-bookorder@springer-sbm.com
www.springer.de



Videofilm »Laser - das besondere Licht für die Materialbearbeitung« (deutsch/englisch)

Dieser Lehrfilm ist 1997 von der Bergischen Universität Wuppertal in Zusammenarbeit mit dem VDI-Technologiezentrum Düsseldorf, dem Fraunhofer ILT und weiteren Laserzentren und -firmen produziert und im Jahr 2000 neu aufgelegt worden. Er liefert einen Überblick über alle wichtigen Laserbearbeitungsverfahren und ist speziell zur Intensivierung der Lehre an Hochschulen, Fachhochschulen, Berufsakademien und zur innerbetrieblichen Schulung konzipiert. Dies trifft insbesondere auf fertigungstechnische Studiengänge und Ausbildungsbereiche zu. Der Videofilm hat eine Dauer von 42 Minuten und ist in Deutsch und Englisch bei der Bergischen Universität Wuppertal, Fachbereich D, Abteilung Maschinenbau erhältlich.

Ansprechpartner

Prof. Helmut Richter
Telefon: 0202/439 -2042
richterh@uni-wuppertal.de



CD-Rom »Lasertechnik« (deutsch)

Die CD-Rom ist eine Sammlung von Grafiken, Bildern und Videos der Vorlesungen Lasertechnik I + II von Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe M.A. und wurde 2003 in neuer überarbeiteter Version produziert.

Sie wurde vom Lehrstuhl für Lasertechnik LLT in der Fakultät Maschinenwesen der RWTH Aachen in enger Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT erstellt.

Inhalt sind die Grundlagen der Lasertechnik sowie die physikalischen und technischen Prozesse für moderne Fertigungsverfahren. Darüber hinaus wird an zahlreichen Beispielen zu Lasern und industriellen Anwendungen der heutige Stand der wirtschaftlichen Nutzung demonstriert.

Die Darstellungen können einzeln über das mitgelieferte Programm Acrobat Reader 5.0 auf handelsüblichen PCs aufgerufen werden. Systemvoraussetzungen sind: Microsoft Windows 95 OSR 2.0, Windows 98 SE, Windows Millennium Edition, Windows NT 4.0 mit Service Pack, Windows 2000, Windows XP und MacOSX (64 MB Ram Arbeitsspeicher sowie 30 MB freier Festplattenspeicher).

Das Ausdrucken und Verwerten der unveränderten Grafiken und Bilder ist ausschließlich zu Lehrzwecken gestattet.

Weitere Informationen und Bestellzettel zur CD-Rom »Lasertechnik« erhalten Sie über den Arbeitskreis Lasertechnik e.V., Steinbachstraße 15, 52074 Aachen.

Ansprechpartnerin

Diana Heinrichs
Telefon: 0241/8906 -122
Fax: 0241/8906 -112
diana.heinrichs@ilt.fraunhofer.de

Multimedia-Software LASIM® (deutsch/englisch)

LASIM® ist ein Multimedia-Lernprogramm für die Ausbildung im Bereich des Laserstrahlschneidens und -schweißens. Die Kombination von Text, Bild, Ton und Animation in Form von Multimedia-Software eröffnet neue Horizonte in der Ausbildung von Laseranwendern. Im theoretischen Teil der Lehrgänge werden komplizierte Prozesse und Verfahrensmodelle anschaulich dargestellt. Dies trägt zu einem besseren Verständnis des Lehrstoffes bei. Im praktischen Teil der Ausbildung können zahlreiche Versuche durch Simulationen ersetzt werden. Der Anwender kann per Multimedia selbstständig die Verfahrensparameter einstellen, ohne Störungen am realen Lasersystem zu verursachen.

Durch das Einrichten mehrerer Computerarbeitsplätze kann der personelle Betreuungsaufwand auf ein wirtschaftlich vertretbares Maß reduziert werden. Darüber hinaus eignen sich Multimedia-Programme für das Selbststudium. Der Laseranwender kann jederzeit Versuche an einer virtuellen Anlage durchführen.

Die Multimedia-Technik ergänzt in idealer Weise die praktische Ausbildung am realen Lasersystem. In der Anfangsphase werden die Übungen zum Verständnis der grundlegenden Zusammenhänge am Computer durchgeführt.

In der darauf folgenden Phase kann der Anwender seine erworbenen Kenntnisse zur Lösung konkreter Probleme am realen Lasersystem einsetzen.

Die Vorteile des Einsatzes von Multimedia-Software zur Ausbildung von Fachkräften und Studenten liegen auf der Hand:

- Visualisierung komplexer Zusammenhänge und Verfahrensabläufe
- Simulation eines realen Laserarbeitsplatzes
- Durchführung von Versuchen an virtuellen Anlagen mit Ergebnisauswertung
- unbegrenzte Verfügbarkeit und risikolose Fehlbedienung
- geringer Betreuungsaufwand und Eignung zum Selbststudium
- interaktive theoretische und praktische Übungen zur Festigung des Lehrstoffes

Die Software LASIM® ist in Deutsch und Englisch über das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT erhältlich. Aktuelle Informationen und Bestellzettel zu LASIM® können über die Internet-Seiten www.ilt.fraunhofer.de abgerufen werden.

Ansprechpartner

Dr. Dirk Petring
Telefon: 0241/8906 -210
Fax: 0241/8906 -121
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Absender

Name, Vorname

Firma

Abteilung

Straße

PLZ/Ort

Telefon

Fax

E-mail

bitte faxen an:
Fraunhofer ILT
Stefanie Flock
Fax: +49 (0) 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 mit Hilfe des vorliegenden ausgefüllten Abschnitts anfordern.

- Broschüre: »Partner der Innovatoren«**
 - deutsch
 - englisch
- Broschüre: »Angebot und Ansprechpartner 2006/7« (deutsch/englisch)**
- Jahresbericht 2005**
(englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- Jahresbericht 2004**
(englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- Jahresbericht 2003**
(englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- Jahresbericht 2002**
(englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- Tagungsband** des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'04
- Tagungsband** des Laser-Business-Tages des AKL'04
- Tagungsband** des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'06
- Tagungsband** des Technologie Business Tages TBT'06
- Fachprospekt »Hochleistungsdiodenlaser«**
 - Fachprospekt »LASIM®- Lasersimulator für die Ausbildung«**
 - deutsch
 - englisch
- Fachprospekt »Lasertechnik für die Oberflächenmodifikation und das Umformen«**
- Fachprospekt »Lasertechnik für den Verschleiß- und Korrosionsschutz«**
- Fachprospekt »Laserstrahlauftrag-schweißen«**
- Fachprospekt »Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing für Metallbauteile«**
- 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 »Werkstoffanalyse und Verwechslungsprüfung mit Laserstrahlung«**
 - deutsch
 - englisch
- Fachprospekt »Oberflächen- und Schichtanalyse«**
- Studieninfo 2004/2005 »Lasertechnik an der RWTH Aachen«**
- Informationsbroschüre »Kompetenznetze.de« (deutsch/englisch)**
- Informationsbroschüre »European Laser Institute ELI« (englisch)**
- CD-Rom »Lasertechnik«**
- Fachbuch »Lasertechnik für die Fertigung«**
 - Multimedia-Software LASIM®**
 - deutsch
 - englisch

Redaktion

Dipl.-Phys. Axel Bauer (verantw.)
Stefanie Flock

Gestaltung und Produktion

Dipl.-Des. Andrea Croll

Druck

Druckspektrum
Hirche-Kurth GbR, Aachen

Papier

Dieser Jahresbericht wurde auf umweltfreundlichem, da chlor- und säurefrei gebleichtem Papier gedruckt.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Axel Bauer
Telefon: +49 (0) 241 / 8906 -194
Fax: +49 (0) 241 / 8906 -121
axel.bauer@ilt.fraunhofer.de

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung der Redaktion.

© Fraunhofer-Institut
für Lasertechnik ILT, Aachen 2006

**Fraunhofer-Institut
für Lasertechnik ILT**

Steinbachstraße 15
52074 Aachen
Telefon: +49 (0) 241 / 8906 -0
Fax: +49 (0) 241 / 8906 -121

info@ilt.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de