



Abstracts

10. MITTWEIDAER LASERTAGUNG

16./17. November 2017 an der Hochschule Mittweida





Inhaltsverzeichnis

KEYNOTE-VORTRAG

Ultrashort pulse laser processing of glass......1 Stefan Nolte^{1,2}, Klaus Bergner¹, Daniel Flamm³, Malte Kumkar³ ¹ Institute of Applied Physics, Abbe Center of Photonics, Friedrich Schiller University ² Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering ³ TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH **SESSION 1 MIKRO/NANO-LASERBEARBEITUNG 1** Stefan Andree¹, Berit Heidmann^{2,3}, Franziska Ringleb⁴, Katharina Eylers⁴, Jörn Bonse¹, Torsten Boeck⁴, Martina Schmid^{2,3}, Jörg Krüger¹ ¹Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin ²Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Berlin ³Universität Duisburg-Essen und CENIDE, Fakultät für Physik, Duisburg ⁴Leibniz-Institut für Kristallzüchtung, Berlin Michael Lee, IPG Laser Ablation von Stahl mit ultrakurzen Laserpulsen unterschiedlicher Pulsdauer4 Peter Lickschat. Steffen Weißmantel Laserinstitut Hochschule Mittweida Christof Schultz^{1,2}, Felix Schneider^{1,2}, Carola Ferber³, Lukas Kegelmann³, Steffen Meyer ³, Andreas Bartelt¹, Bernd Rech³, Rutger Schlatmann^{1,2}, Steve Albrecht³, Bert Stegemann¹ ¹ HTW Berlin - University of Applied Sciences ² Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, PVcomB ³ Helmholtz-Zentrum Berlin, Institut für Silizium-Photovoltaik Jan Winter*a,b, S. Rappa,b, R. Reiela, M. Schmidtc, Heinz P. Hubera ^a Dept. of Appl. Sci. and Mech., Munich University of Applied Sciences, ^b Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies (SAOT), Friedrich-Alexander-Universität; Erlangen-Nürnberg, ^c Lehrstuhl für Photonische Technologien, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg **SESSION 2** MIKRO/NANO-LASERBEARBEITUNG ORGANISCHER MATERIALIEN Industrialisierung der Lasermaterialbearbeitung in der organischen Photovoltaik7 Jan Rabe, Niels Friedrich-Schilling Heliatek GmbH. Dresden Untersuchungen zu Resonant-Infraroter Laserablation (RIA) an PMMA und BK7 Glas8 durch ultrakurz gepulster Laserstrahlung Eric Punzel, Markus Olbrich, Theo Pflug, Alexander Horn Laserinstitut Hochschule Mittweida Ewa Hild, Klaus Stolberg, Susanna Friedel Jenoptik Laser GmbH, Jena

Universal micromachining platform for the manufacture and marking of microphysiological systems Katja Günther ¹ , Frank Sonntag ² , Andrè Hirsch ³ , Elmar Moritzer ¹ Udo Klotzbach ² , Andrés Fabián Lasagni ^{1, 2} ¹ Technische Universität Dresden, ² Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS, Dresden ³ Kunststofftechnik Paderborn, Universität Paderborn University	10
Segmentierte flexible OLED Beleuchtung und Beschilderung	11
SESSION 3 EHRENKOLLOQUIUM FÜR PROF. DR. RER. NAT. HABIL. GÜNTER REIßE Laser scribing of thin films for future photovoltaic applications Klaus Zimmer¹, Lukas Bayer¹, Martin Ehrhardt, Pierre Lorenz¹, Stefano Pisoni², Stephan Buecheler² ¹ Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e. V., Leipzig ² Laboratory for Thin Films and Photovoltaics, Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Switzerland	12
Schichtdesign von kohlenstoffbasierten Verschleißschutzschichten für definierte Belastungsfälle Hagen Grüttner, Steffen Weißmantel Laserinstitut Hochschule Mittweida	13
KEYNOTE-VORTRAG:	
Werkzeugbau in der Zukunft: Herstellung maßgeschneiderter Werkzeuge mittels	14
SESSION 4 HOCHRATE-LASERVERFAHREN	
Ultrafast Lasers Jump to Macro Applications Martin Griebel, Walter Lutze, Jürgen Weißer, Jan Langebach JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH, Jena	16
High speed and high power laser material processing: New options for applications? Jens Hildenhagen ¹ , Paul Bant ² , Klaus Dickmann ¹ ¹ Laser Center of the University of Applied Sciences Muenster, ² ILT Fineworks BV, Enschede	17
Großflächige und schnelle Funktionalisierung von technischen Oberflächen mittels	18
Schneiden und Abtragen von CFK mit hohen mittleren Leistungen	19
Crack path deviations in thermal laser separation – experiment and simulation	20

Effiziente Laservorbehandlung von Aluminiumfolien für verbesserte Adhäsions21 und Korrosionseigenschaften
Annett Klotzbach ¹ , Jozsef-Sebastian Pap ¹ , Jonas Wiemer ¹ , Malte Burchardt ² , Stefan Dieckhoff ² , Jens Standfuß ¹ ¹ Fraunhofer IWS Dresden, ² Fraunhofer IFAM Bremen
SESSION 5
MIKRO/NANO-LASERBEARBEITUNG 2
Hochgenaue UKP-Laserbearbeitung mit rotierendem Strahl - Lasermikrobohren, -schneiden und drehen
Florian Lendner, Anton Pauli, Dongping Wang GFH GmbH Deggendorf
Fiber lasers with pulse on demand
Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, Slovenia
Coherent combination of high-power ultrafast laser systems
Prozessoptimierte Strahlformung für den UKP-Materialabtrag durch den Einsatz eines deformierbaren Spiegels
Investigation of the thermal and optical performance of a spatial light modulator
with 220W of picosecond laser exposure for materials processing applications G Zhu ¹ , W Perrie ^{1*} , D Whitehead ² , O J Allegre ² , S P Edwardson ¹ and G Dearden ¹ Laser Group, School of Engineering, University of Liverpool Laser Processing Research Centre, School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, The University of Manchester
SESSION 6 SCHWEIßEN / ADDITIVE LASERVERFAHREN
Schweißspritzer adé - Clean Welding by SITEC Uwe Demmler SITEC Industrietechnologie GmbH
Herstellung dreidimensionaler Quarzglaskörper durch das selektive Laserstrahlsintern
Wie sich durch berührungslose Strahlprofilmessungen die Eigenschaften additiver
Prozessoptimierung für die generative Fertigung von Mikro-Wärmeübertragern
SESSION 7 BEARBEITUNG UND ABSCHEIDUNG VON SCHICHTEN
UV microprocessing at macroscopic rate

Optimierung der Suche nach Farbmarkierungen durch Laserbestrahlung,
Verfahren zum Aufbringen silikatischer Schichten mittels Laser in Flüssigphase
PLD-preparation of carbon based multilayered coatings
POSTERSESSION 2017
Development of a laser based procedure for forming of flexible edges and
Die Applikationsvielfalt des scannerbasierten Laser-Remote-Verfahren am Beispiel
Beitrag zur Prozesseffizienz beim Laserauftragschweißen
Experimentelle Untersuchungen zum Bohren von Mikrolöchern
Vergleichende Untersuchungen zum Abtrag von Stahl und Eisen mit
Untersuchung der mechanischen Eigenschaften poröser Strukturen beim Lasermikrosintern 41 Jens Woytkowiak, Robby Ebert, Horst Exner Laserinstitut Hochschule Mittweida
Charakterisierung von Abhängigkeiten der Prozesseigenschaften von Superharten
Vergleich verschiedener physikalischer Modelle zur Beschreibung der
Laserstrahlschweißen mit 10 kW Monomode Faserlaser
Untersuchung der dynamischen Prozesse beim Erwärmen und Abtragen dünner

Verwendung von mit Kamera-Feedback-Loop berechneten Phasengittern auf Spatial Light
Grundlagenuntersuchungen an dielektrischen Materialien mittels ultrakurzer Laserpulse
F2-Lasermikrostrukturierung von Mikro-Fresnel-Linsen
Selektive Laserablation von dünnen Aluminiumschichten auf Quarzglas mit
Comparison between front and rear side ablation of NiC
High precision 3D micro processing of Molybdenum by ultrashort pulse laser ablation
Influence of interface on self-organization process induced by nanosecond IR laser

ULTRASHORT PULSE LASER PROCESSING OF GLASS

Stefan Nolte^{1,2}, Klaus Bergner¹, Daniel Flamm³, Malte Kumkar³

¹Institute of Applied Physics, Abbe Center of Photonics, Friedrich Schiller University,
Albert-Einstein-Strasse 15, 07751 Jena, Germany

²Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering,
Albert-Einstein-Strasse 7, 07745 Jena, Germany

³TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH, Johann-Maus-Straße 2, 71254 Ditzingen, Germany

Ultrashort laser pulses offer a huge potential for precise microstructuring. This holds especially true for transparent materials. When focussing into the bulk material, the intensity in the focal volume can become high enough for nonlinear absorption processes leading to localized energy deposition and permanent structural changes inside the sample without affecting the surface. As this process is highly nonlinear, any optimization requires a detailed analysis and understanding of the laser-matter interaction. Therefore, we applied time-resolved microscopy and tomography to investigate the energy deposition inside the bulk material as well as the subsequent energy relaxation processes. Changing the pulse duration from 200 fs to few ps results in a completely different interaction mechanism. Consequently, not only the interaction volume is different, but also the deposited energy. Thus, different transient temperatures are obtained, leading to either more defect and color center formation or structural damage and stress. We will analyze these processes with a focus on the cutting of glasses as an exemplary application.



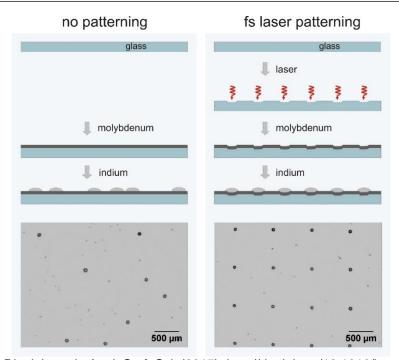
Single-pass cut of 4 mm soda-lime glass

FEMTOSECOND LASER PULSES FOR PHOTOVOLTAIC BOTTOM-UP STRATEGIES

Jörg Krüger

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, D-12205 Berlin

A bottom-up approach to produce arrays of indium islands on a molybdenum layer on glass using 30-fs laser pulses at 790 nm wavelength is presented. These islands can serve as micro-sized precursors for indium compounds such as copper-indium-gallium-diselenide (CIGSe) used in photovoltaics. Molybdenum is the standard back contact material of CIGSe solar cells. Femtosecond laser ablation of glass and a subsequent deposition of a molybdenum film or direct laser processing of the molybdenum film both allow the preferential nucleation and growth of indium islands at the predefined locations in a following indium-based physical vapor deposition (PVD) process. A proper choice of laser and deposition parameters ensures the controlled growth of indium islands exclusively at the laser ablated spots. Based on a statistical analysis, these results are compared to the non-structured molybdenum surface, leading to randomly grown indium islands after PVD.



Adapted from: F. Ringleb et al., Appl. Surf. Sci. (2017), http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.11.135

Advances of high-brightness fiber laser for material processing.

Michael Lee IPG Laser, Siemensstr. 7, D-57299 Burbach

The fiber laser is known as a well-established tool for many material processing applications such as cutting, welding, marking, drilling and cleaning. Especially the cost and performance benefit of IPG's fiber lasers gives a competitive edge to customer's series production. The ongoing challenge of cost reduction leads laser and beam delivery component supplier in the same direction. One efficient approach is to improve process results by using NIR fiber laser as a low cost series product from IPG Laser GmbH. Another option is to increase the throughput by upgrade available laser power without compromises in the beam quality.

Within that presentation we concentrate on advances in high-brightness fiber laser in cw and pulsed operation. Results and benefits in applications as copper welding, high speed foil cutting and large area cleaning will be shown.

As example the copper welding with NIR light sources is seen as a challenge. The high reflectivity leads to issues at the start of process and the low surface tension and viscosity of copper causes a high sensitivity for sputter ejections especially at low and mid welding speeds. Solutions of these challenges are going to be presented.

ABLATION VON STAHL MIT ULTRAKURZEN LASERPULSEN UNTERSCHIEDLICHER PULSDAUER

Peter Lickschat, Steffen Weißmantel Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Grundlagenuntersuchungen werden präsentiert, die sich mit dem Einfluss der Pulsdauer im Bereich von Femto- und Pikosekunden auf den Ablationsprozess von Stahl beschäftigen. Bei den Experimenten wurde polierter Stahl mit ultrakurzen Laserpulsen unterschiedlicher Pulsdauern im Bereich von 200 fs bis 10 ps, unterschiedlicher Anzahl von Pulsen von 1 Puls bis 100 Pulsen und Fluenzen von 0,6 J/cm² bis 15 J/cm² bearbeitet. Für die Interpretation der Ergebnisse wurde zunächst für alle Pulsdauern und Anzahl von Pulsen die Ablationsschwelle bestimmt. Die Ermittlung des Inkubationsfaktors für jede Pulsdauer liefert einen funktionellen Zusammenhang zwischen der Anzahl an Pulsen und der Ablationsschwelle, der sich gut mit den experimentellen Werten deckt. Für die Bestimmung der effektiven Eindringtiefe der Energie wurden die experimentell ermittelten Ablationsvolumina mit einem theoretischen Modell verglichen, in das die im Vorfeld ermittelten Ablationsschwellen einflossen. Es zeigt sich dabei, dass die effektive Eindringtiefe der Energie mit zunehmender Pulsdauer abnimmt, was sich in einem geringeren Ablationsvolumen widerspiegelt.

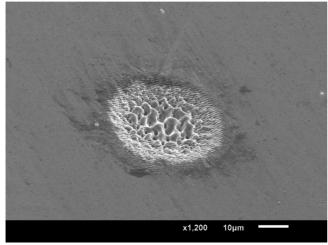


Abbildung 1: Ablationskrater bei der Verwendung von 50 Pulsen mit einer Pulsdauer von 500 fs und einer Fluenz von 4 J/cm².

LASER PATTERNING OF PEROVSKITE SOLAR CELLS

Christof Schultz^{1,2}, Felix Schneider^{1,2}, Carola Ferber³, Lukas Kegelmann³, Steffen Meyer³, Andreas Bartelt¹, Bernd Rech³, Rutger Schlatmann^{1,2}, Steve Albrecht³, Bert Stegemann¹

- 1. HTW Berlin University of Applied Sciences, Wilhelminenhofstr. 75A, D-12459 Berlin,
- 2. Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, PVcomB, Schwarzschildstr. 3, D-12489 Berlin
 - 3. Helmholtz-Zentrum Berlin, Institut für Silizium-Photovoltaik, Kekuléstraße 5, 12489 Berlin

Perovskite solar cells have been rapidly improved over the last years. At small lab-scales efficiencies comparable to crystalline silicon solar cells were achieved. Successful up-scaling to large modules requires monolithical interconnection processes. Here we report on laser scribing processes of the P1, P2 and P3 patterning steps to interconnect perovskite (CH₃NH₃PbI₃) solar cells. Particular emphasis is put on the P2 laser patterning step as it is known to induce detrimental material modifications of the absorber layer mostly at the bottom and in the vicinity of the scribed lines. Suitable process windows were established and optimized by systematic variation of the pulse length (ns, ps), the wavelength (1024 / 532 / 355 nm) and the processing side (glass-/ layer-side). Systematic analysis of the laser-matter interaction, i.e. the selective layer removal, the proper morphology and the electrical functionality, resulted in conditions for successful monolithic serial integration with minimal dead areas.

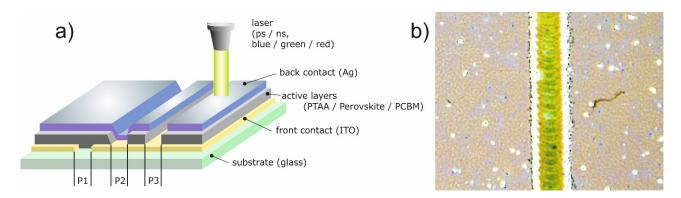


Fig.: (a) Schematic illustration of the laser scribing configuration, (b) optical micrograph of a P2 scribe in perovskite $(CH_3NH_3PbI_3)$ obtained by ns laser ablation at 532 nm.

Early motion of matter observed by ultrafast transient studies of reflectivity and absorption

Jan Winter^{*a,b}, S. Rapp^{a,b}, R. Reiel^a, M. Schmidt^c, <u>Heinz P. Huber^a</u>

^aDept. of Appl. Sci. and Mech., Munich University of Applied Sciences, Lothstr. 34, 80335 Munich, Germany; ^bErlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies (SAOT), Friedrich-Alexander-Universität; Erlangen-Nürnberg, Paul-Gordan-Str. 6, 91052 Erlangen, Germany; ^cLehrstuhl für Photonische Technologien, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Konrad-Zuse-Str. 3-5, 91052 Erlangen, Germany

ABSTRACT

Ultrashort pulsed lasers offer a high potential for precise and efficient material processing. A deep understanding of the fundamental laser-material interaction aspects is of great importance to optimize laser processes for industry. The transient pulse reflectivity in conjunction with the transient absorption decisively influences the laser-material interaction. We present a unique pump-probe ellipsometry measurements allowing the determination of the transient complex refractive index of laser irradiated materials. Measurements were performed on industrial relevant metals (Al, Cu, stainless steel and Molybdenum) at laser fluences near the ablation threshold. A simulation including an accurate description of optical, thermal and thermomechanical properties is predicting the measured refractive index n and extinction coefficient k on copper. A comparison between measured time-resolved optical properties and results of the simulation reveals underlying physical mechanisms in the first 20 ps. The overall transient behavior shows that the mechanical motion of the material is starting already in the first picosecond after the pump pulse, when the electron temperature and thus the heating rate of the lattice are at their maximum. This early motion of matter could be responsible for the main contribution of the ablation efficiency decrease with increasing pulse duration or double pulse delay, which many research groups had previously observed. The here presented results provide a deeper understanding of laser ablation. This knowledge is inevitable for further improving laser ablation efficiency and quality for bulk materials and thin films.

INDUSTRIALISIERUNG DER LASERMATERIALBEARBEITUNG IN DER ORGANISCHEN PHOTOVOLTAIK

Jan Rabe, Niels Friedrich-Schilling Heliatek GmbH, Treidlerstraße 3, D-01139 Dresden

Der Transfer hoher Effizienzen von organischen Solarzellen von Labor in die Produktion ist mit einer Vielzahl an Herausforderungen verbunden. Einige sind das Strukturieren von transparenten Elektroden auf flexiblen Substraten, der organischen Multischichtsysteme und der Rückelektrode. Diese Serienverschaltung und deren kleinstmögliche Auslegung werden bei Heliatek mittels Laserstrukturierung durchgeführt. Die Verwendung dieser Schlüsseltechnologie bietet große Vorteile bei der Gestaltungsfreiheit. Heliatek's Pilotproduktionslinie besteht aus einem vollintegrierten Vakuumbeschichtungssystem, welches alle Laserstrukturierungen beinhaltet. In diesem Beitrag wollen wir die Herausforderung der Lasermaterialbearbeitung an dünnen Schichten, ohne die Schädigung von darunter liegenden Schichten, präsentieren. Es wird gezeigt wie der Transfer von Labor zu Produktion bei Heliatek gelungen ist anhand von Leistungskennwerten der Photovoltaik. Abschließend zeigen wir die Aussicht auf eine Massenproduktion und die damit entstehenden Entwicklungen zukünftiger Lasersystemtechnik.

Tranfering the high efficiencies of organic solar cells reached in the lab to a prodution line is associated with a number of challenges. Some of them is structuring of transparent front eledtrodes on the flexible substrate, of the organic multilayer stack and the rear electrode to get a module with integrated series interconnection. To minimize the area losses, Heliatek uses the approach of laser scribing. Utilizing this technique results in additional advantages concerning layout and design freedom. Heliatek's production line is the world's first fully integrated vacuum roll-to-roll system that includes all process steps for laser patterning the electrodes as well as the organic layers. In this contribution, we challenges connected with structuring very thin layers without damaging the underlying materials. It will be shown how Heliatek manages the lab-to-fab transfer. Finally, we demonstrate that organic solar films can already be processed with high I-V-performance in the current production line including all three laser patterning steps on 300mm wide PET web. Last but not least we will show our next steps for the mass production of organic solar cells and the corresponding laser fabrication tools.



Untersuchungen zu Resonant-Infraroter Laserablation (RIA) an organischen Materialien durch ultrakurz gepulster Laserstrahlung

E. Punzel¹, M. Olbrich¹, T. Pflug¹ und A. Horn¹

¹Laserinstitut Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida, Germany Email: horn4@hs-mittweida.de

Aufgrund des kostengünstigen und umweltfreundlichen Herstellungsprozesses entwickelt sich die organische Elektronik als Alternative zur konventionellen Elektronik. Ein bemerkenswertes Beispiel sind organische Solarzellen, die aufgrund ihrer hohen Flexibilität in Taschen, Kleidung oder jede andere Oberfläche integrierbar sind. Die Mikrostrukturierung mit gepulster UV-Laserstrahlung ermöglicht hohe Ablationsraten, schädigt aber die molekulare Struktur organischer Verbindungen und begrenzt ihre Lebensdauer. Darüber hinaus können Mehrschichtsysteme aufgrund ähnlicher Absorptionseigenschaften verschiedener organischer Materialien schlecht selektiv verarbeitet werden [1].

Resonant-Infrarote Laserablation (RIA) im mittleren IR-Bereich ermöglicht eine direkte Anregung molekularer Schwingungsübergänge [2] als Alternative zur UV-Ablation. Aufgrund der niedrigeren Photonenenergie wird ein übermäßiger Materialschaden vermieden, eine materialspezifische Absorption ermöglicht außerdem eine hohe Schichtselektivität. Der Absorptionskoeffizient α wurde für verschiedene organische Materialien wie PMMA, durch Transmissionsspektroskopie bei verschiedenen Probendicken, bestimmt (Abb. 1). In unserer Untersuchung wird der Materialabtrag in Abhängigkeit zur Wellenlänge (Resonant und Nichtresonant), Anzahl der Pulse pro Struktur (1 bis 10) und der Materialdicke (μ m bis mm) untersucht. Im Vergleich zu früheren Untersuchungen [2] [3] wird RIA-Ablation erstmals bei ultrakurz gepulster Laserstrahlung ($t_P < 50 fs$) realisiert. Ein Schwerpunkt unserer Untersuchungen ist der Wellenlängenbereich 3 μ m $\leq \lambda \leq 6 \mu$ m, in dem die Anregung unterschiedlicher molekularer Schwingungsübergänge von organischen Materialien möglich ist. Die Ablationsgeometrien werden schließlich bei resonanten und nichtresonanten Wellenlängen erzeugt, wobei die Strahlung mit unterschiedlichen Optiken auf die Probe fokussiert wird. Zusätzliche Untersuchungen werden in einer Schutzkammer unter Ausschluss von Wasser und Sauerstoff durchgeführt, um die Bildung von unerwünschten Radikalen während des Ablationsprozesses zu vermeiden.

Die Schwellfluenz für starken Abtrag $F_{Thr,strong}$ und schwachen Abtrag $F_{Thr,gentle}$ werden durch die Methode nach Liu [4] ermittelt, während die Abtragsgeometrien durch Lichtmikroskopie und Konfokalmikroskopie bestimmt werden. Die optischen und mechanischen Eigenschaften innerhalb der Wechselwirkungszone werden durch raumaufgelöster Ellipsometrie und EDX ermittelt und untersucht.

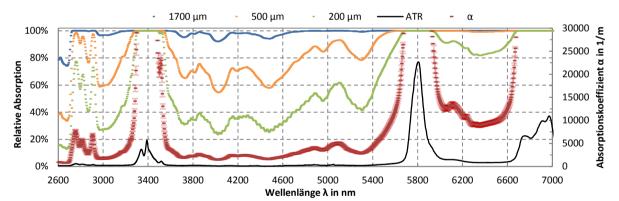
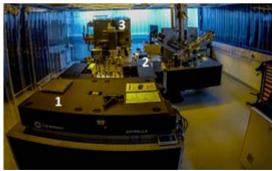


Abb. 1, oben: Absorptionsspektrum von PMMA-Proben unterschiedlicher Probendicke, im mittleren Infrarot, ermittelt durch Transmissions- und ATR-Spektroskopie. Der Absorptionskoeffizient α (rot) wurde aus jeder Transmissionsmessung bestimmt und anschließend gemittelt.

Abb. 2, rechts: Das verwendete Lasersystem (1) ist mit einem optisch-parametrischen Verstärker (2) ausgestattet, der eine Wellenlängenabstimmung vom UV- bis in den mid-IR-Bereich ermöglicht. Die Experimente finden in einer Schutzkammer (3) statt.



- [1] Faber, C; Duchemin, I.; Deutsch, T.; Attaccalite, C.; Olevano, V.; Blase, X., Electron-phonon coupling and charge-transfer excitations in organic systems from many-body perturbation theory", Journal of Material Science 47, 7472-7481 (2012)
- [2] Johnson, Stephen L. "Resonant-infrared laser ablation of polymers: mechanisms and applications", Vanderbilt University, Dissertation (2008)
- [3] Naithani, S.; Grisard, A.; Schaubroeck, D.; Lallier, E.; Van Steenberge, G. "Mid-infrared resonant ablation of PMMA", Journal of Laser Micro Nanoengineering 9/2, 147-152 (2014)
- [4] Liu, J.: Simple technique for measure-ment of pulsed Gaussian-beam spot sizes, In: Optics Letter 7, 196-198 (1982)

LASER-MIKROBEARBEITUNG FÜR MEDIZINTECHNISCHE ANWENDUNGEN

Ewa Hild, Klaus Stolberg, Susanna Friedel Jenoptik Laser GmbH, Göschwitzer Straße 29, 07745 Jena

Die Einsatzgebiete für Lasermaterialbearbeitung in der Medizintechnik sind nahezu allgewärtig. Dabei gibt es bei Anwendung von ultrakurz gepulsten Lasern wie zum Beispiel dem JenLas® femto 16 oder dem JenLas® pico 16 nahezu keine Einschränkung in der Wahl der Materialien. Selbst sehr temperaturempfindliche Werkstoffe wie Polylaktide oder Nitinol oder transparente Werkstoffe wie Glas oder Polymere sind ohne Einbußen der charakteristischen Materialeigenschaften bearbeitbar.

Ausgehend von der Darstellung grundlegender Prinzipien der UKP-Lasermaterialbearbeitung werden im Vortrag angefangen von Filterstrukturen im Mikrometerbereich in Kanülen und Kathetern, über Oberflächenstrukturierungen an Implantaten zur Verbesserung des Einwachsverhaltens sowie zur gezielten Steuerung des Zellwachstums, bis hin zu Markierungen für die Qualitätssicherheit und Rückverfolgbarkeit wie beispielsweise dem Blackmarking (Medical Grade) oder der Innenmarkierung in transparenten Materialien vorgestellt.

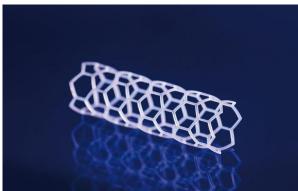


Abbildung 1: biodegradierbarer Polylaktid-Stent; Stegbreite 30µm, 150µm Materialstärke

UNIVERSAL MICROMACHINING PLATFORM FOR THE MANUFACTURE AND MARKING OF MICROPHYSIOLOGICAL SYSTEMS

Katja Günther, <u>Frank Sonntag</u>, Andrè Hirsch, Elmar Moritzer, Udo Klotzbach and Andrés Fabián Lasagni

¹Technische Universität Dresden, George-Baehr-Str.1, 01069 Dresden
²Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS, Winterbergstrasse 28, 01277 Dresden
³Kunststofftechnik Paderborn, Universität Paderborn University, Warburger Straße 100, 33098 Paderborn

Kurzfassung mit maximal 10 Zeilen.

Sie sollte in Deutsch und/oder Englisch erfolgen. Zwischen der englischen und deutschen Kurzfassung bitte eine Zeile (6 pt) frei lassen

Abstract maximum 10 lines. Abstract german and/or english.

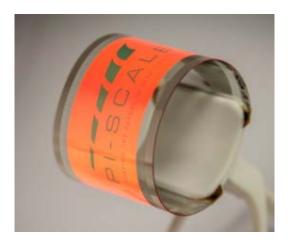
Micro Physiological Systems (MPS), also known as Multi-Organ-Chip or Organ-on-a-Chip are advanced microfluidic systems. For fast and flexible manufacturing and marking of tailor-made MPS a universal micromachining platform has been established which provides the following latest key technologies: laser micro cutting of polymer foils, laser micro- und sub-micro-structuring of polymer foils, 3D printing of polymer components as well as optical inspection and online process control.

SEGMENTIERTE FLEXIBLE OLED BELEUCHTUNG UND BESCHILDERUNG

Christian May, André Philipp, Claudia Keibler Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP; Winterbergstraße 28, D- 01277 Dresden

Die Verbesserung der flexiblen OLED steht derzeit im Fokus der weltweiten Forschungsaktivitäten. Das Paper behandelt die Punkte alternativer Elektroden sowie der Elektrodenstrukturierung zur Darstellung segmentierter OLED-Flächen.

Performance improvement of flexible OLED is currently in the focus of worldwide research activity. In the paper we will stress the point of alternative electrodes as well of electrode patterning to achieve segmented OLED.



Die Verbesserung der flexiblen OLED steht derzeit im Fokus der weltweiten Forschungsaktivitäten. Viele Branchen wie Architektur, Automobil, Luft- und Raumfahrt und Unterhaltungselektronik profitieren von der Beleuchtungs- und Beschilderungslösung auf Basis flexibler OLED. Dünne Substrate aus Polymerfolie, Metallfolie oder ultradünnem Glas wurden für den Einsatz in OLED-Herstellung untersucht und haben jeweils Vor- und Nachteile. OLED-Prototypen auf Polymersubstraten sowie ultradünnem Glas wurden am Fraunhofer FEP realisiert. Wesentliche Entwicklungsthemen sind die Verbesserung der Bauelementestabilität und der Helligkeit. Dazu gehören intensive Arbeiten zur Verkapselung sowie die Entwicklung von gestapelten OLED-Architekturen auf flexiblen Substraten.

Das Paper behandelt die Punkte alternativer Elektroden sowie der Elektrodenstrukturierung zur Darstellung segmentierter OLED-Flächen. Während ITO noch als Standardmaterial für transparente Elektroden verwendet wird, können alternative Materialien wie Silber-Nanodrähte oder Graphen vielversprechende Ergebnisse für eine Integration in flexible Bauelemente aufweisen. Da die möglichen Anwendungen der flexible OLED stark von Designaspekten getrieben werden, besteht ein besonderes Bedürfnis, Segmente innerhalb einer Großflächen-OLED zu haben, die einzeln adressiert werden können. Dies kann durch spezielle Verfahren zur Strukturierung der Basiselektrode erfolgen, ohne ein darunterliegendes Wasserdampfbarrieresystem zu zerstören. Neue Ansätze, neben der Verwendung von konventionellen passiven oder aktiven MatrixBackplanes, werden vorgestellt und diskutiert.

Das Paper wird Ergebnisse aus mehreren internen, industriellen und öffentlich geförderten Projekten, wie z.B. der EU-geförderten Projekte GLADIATOR und PI-SCALE zusammenfassen.

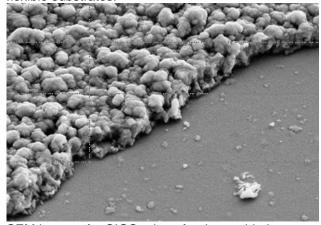
LASER SCRIBING OF THIN FILMS FOR FUTURE PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS

Klaus Zimmer¹, Lukas Bayer¹, Martin Ehrhardt, Pierre Lorenz¹, Stefano Pisoni², Stephan Buecheler²

¹Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e. V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, Germany ²Laboratory for Thin Films and Photovoltaics, Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, Switzerland

Laser scribing has to be developed as one key technology for the fabrication of flexible, large area, high efficiant thin film solar modules that can be competetive to silicon. The presentation focus on the mechanism and the results of laser ablation scribing of selected thin films.

Special emphasis will be paid to laser ablation/scribing of hybridorganic absorber films, copper-indium-gallium-diselinid (CIGS) and Pvon flexible substrates.

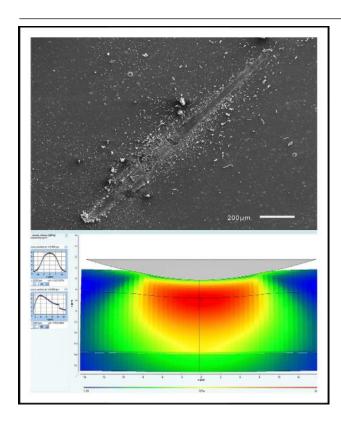


SEM image of a CIGS edge after laser ablation.

SCHICHTDESIGN VON KOHLENSTOFFBASIERTEN VERSCHLEISSSCHUTZSCHICHTEN FÜR DEFINIERTE BELASTUNGSFÄLLE

Hagen Grüttner, Steffen Weißmantel Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Superharte Kohlenstoffschichten, wie beispielsweise ta-C- Schichten mit einer Härte von bis zu 65 GPa, eignen sich hervorragend für den Verschleißschutz unterschiedlichster Materialien und Bauteile. In der Praxis lässt sich jedoch beobachten, dass insbesondere bei der Kombination von superharten Schichten mit vergleichsweise weichen Substratmaterialien (bspw. Kobalt-Chrom-Legierungen) das Potential der Schichten nicht ohne weiteres ausgeschöpft werden kann, da im Belastungsfall nicht nur die Schicht selbst, sondern deren Kombination mit dem Substratmaterial als Gesamtsystem betrachtet werden müssen. Anhand von Simulationen und entsprechenden praktischen Nachweisen soll gezeigt werden, wie sich die Widerstandsfähigkeit des Substrat-Schicht-Systems gegen definierte Belastungen durch ein entsprechendes Schichtdesign erheblich beeinflussen bzw. verbessern lässt.



"Werkzeugbau in der Zukunft: Herstellung maßgeschneiderter Werkzeuge mittels pulver- und drahtbasierter Laserstrahlprozesse"

Michael Schmidt a.b.c. Konstantin Hofmann b, Oliver Hentschel a,c

Institution: a Lehrstuhl für Photonische Technologien, Friedrich-Alexander-Universität

Erlangen-Nürnberg, Konrad-Zuse-Str. 3/5, 91052 Erlangen

^b blz – Bayerisches Laserzentrum GmbH, Konrad-Zuse-Straße 2-6,

91052 Erlangen

^c SAOT – Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies,

Paul-Gordan-Str. 6, 91052 Erlangen

Keywords: Werkzeugbau, Warm- und Kaltmassivumformwerkzeuge, Additive Fertigung, Laserpulverauftragschweißen, drahtbasiertes Laserstrahllegieren, Funktionalisierung von Werkzeugoberflächen

Laserbasierte generative Fertigungsverfahren wie z.B. das Selektive Laserstrahlschmelzen von Metallen aus dem Pulverbett (kurz SLS), das pulverbasierte Laserauftragschweißen und das Laserstrahllegieren bieten enormes Technologie-Potential für neuartige Applikationen Werkzeugbau. In diesem Zusammenhang ist beispielsweise die additive Fertigung maßgeschneiderten Werkzeugen mit an den Belastungsfall angepassten Festigkeiten Verschleißeigenschaften zu nennen. Neben der eigentlichen generativen Fertigung der Werkzeuge eignen sich diese Verfahren, insbesondere das drahtbasierte Laserstrahllegieren, auch zur Funktionalisierung der Werkzeugoberflächen durch eine nachgelagerte Modifikation Legierungszusammensetzung. Ein Beispiel hierfür wäre das definierte Einbringen härtesteigernden bzw. verschleißreduzierenden Legierungselementen in Funktionsoberflächen der Werkzeuge. Im Bereich des Werkzeugbaus werden sowohl das Laserpulverauftragschweißen als auch das drahtbasierte Laserauftragschweißen für Beschichtungs- und Reparaturanwendungen industriell genutzt. Im Gegensatz dazu sind der generative Aufbau kompletter Werkzeuge auf Basis hoch-kohlenstoffhaltiger Werkzeugstähle durch Laserpulverauftragschweißen oder das drahtbasierte Laserstrahllegieren zur gezielten Einstellung der Legierungszusammensetzung in der Oberfläche und damit zur Erhöhung der Verschleißbeständigkeit nach aktuellem Stand der Technik keine industrielletablierten Anwendungen. Aus diesem Grund wurde der von der Bayerischen Forschungsstiftung (Bfs) geförderte Forschungsverbund "For Next Generation Tools (For Next Gen) gestartet. Dieser Forschungsverbund vereint ein Netzwerk aus kompetenten Forschungseinrichtungen, die gemeinsam mit führenden Unternehmen der bayerischen Industrie neue Konzepte und Lösungsansätze für den Einsatz generativer Laserstrahlverfahren im Werkzeug- und Formenbau erforschen und entwickeln. Im Rahmen dieses Forschungsverbundes wurden unter anderem folgende Verfahren und thematische Schwerpunkte untersucht:

Im Rahmen des Teilprojekt "Maßgeschneiderte Massivumformwerkzeuge durch Einsatz des Laserpulverauftragschweißen" des Forschungsverbundes wurde die generative Fertigung von Warmund Kaltmassivumformwerkzeugen untersucht. In diesem Zusammenhang konnte erfolgreich gezeigt werden, dass es prinzipiell möglich ist endkonturnahe Aktivelemente komplexer Geometrie und mit praxisrelevanten mechanischen Eigenschaften mittels LPAS generativ herzustellen. Hierfür wurde die Verarbeitbarkeit hoch-kohlenstoffhaltiger und damit verbunden schwer-schweißbarer Warmund Kaltarbeitsstähle mittels LPAS nachgewiesen. Aufbauend auf diesen Untersuchungen wurden Warmund Kaltmassivumformwerkzeuge aus unterschiedlichen Werkzeugstählen gefertigt, die im Rahmen seriennaher Umformversuche bei den im Projektvorhaben involvierten Industriepartnern getestet und hinsichtlich Ermüdungs- und Verschleißerscheinungen charakterisiert wurden.

Neben den generativen Verfahren zur Herstellung von Werkzeugen wurde im Rahmen des Forschungsverbundes zudem die Herstellung von maßgeschneiderten Oberflächen mittels eines drahtbasierten Laserstrahllegierungsverfahrens entwickelt, um damit gezielt die mechanischen Eigenschaften von Funktionsflächen den Beanspruchungskollektiven anzupassen. Im Detail konnten über eine gezielte Adaption der chemischen Elementzusammensetzung an hochbeanspruchten Bereichen der Werkzeuge die mechanischen Eigenschaften dahingehend verändert werden, sodass eine höhere Verschleißbeständigkeit von Presshärtewerkzeugen im Vergleich zu unmodifizierten Oberflächen resultiert. Zudem konnte mittels einer geeigneten Legierungsstrategie die Schmelzbaddynamik derart beeinflusst werden, dass eine gleichmäßige Verteilung der eingebrachten Legierungselemente im modifizierten Gefüge erzielt werden konnte und somit homogene mechanische Eigenschaften über den Querschnitt des modifizierten Gefüges vorliegen. Hierfür wurde der linearen Vorschubbewegung des Prozesses eine dynamische Oszillation des Laserstrahls überlagert, sodass gezielt eine turbulente Schmelzbadströmung induziert werden konnte.

Ultrafast Lasers Jump to Macro Applications Martin Griebel, Walter Lutze, Jürgen Weißer, Jan Langebach JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH, Konrad-Zuse-Strasse 6, D-07745 Jena

Ultrafast Lasers have been proven for several micro applications, e.g. stent cutting, for many years. Within its development of applications Jenoptik has started to use ultrafast lasers in macro applications in the automotive industry. Jenoptik enhanced his well established sensor controlled laser weakening process for airbag covers to a new level. The patented process enables new materials using this kind of technology. One of the most sensitive cover materials is genuine leather. As a natural product it is extremely inhomogeneous and sensitive for any type of thermal load. The combination of femtosecond pulse ablation and closed loop control by multiple sensor array opens the door to a new quality level of defined weakening.

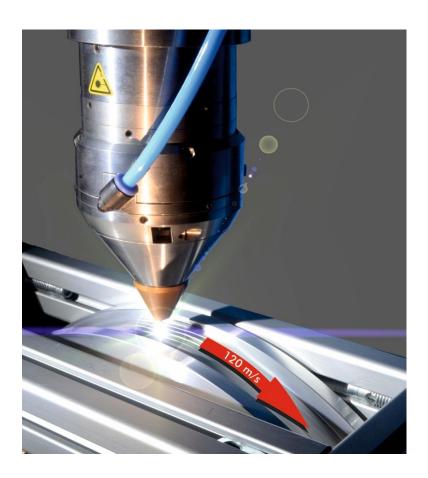
High speed and high power laser material processing: New options for applications?

J. Hildenhagen1, P. Bant2, K. Dickmann1

¹ Laser Center of the University of Applied Sciences Muenster, Stegerwaldstr. 39, 48565 Steinfurt, Germany

² ILT Fineworks BV, 7547 TG Enschede, The Netherlands

The increasing output power and brilliance of laser sources allows faster material processes but need novel handling technologies, e.g. beam guiding systems. Current developments dissolve consisting restrictions during the next years and finally physical properties (e.g. primary thermal conduction and heat capacity) will be the remaining limitations for process speed. First investigations should give an outlook what might be possible in the field of high speed laser material processing when the above listed technical limitations have been overcome. Therefor samples, were mounted on a fast rotating cylinder (circumferential speed up to 120 m/s) and treated with a 30 kW (cw) fiber laser. The applied laser spot diameter of 200 μ m let to an interaction time of 1.7 μ s and intensity of 10^8 W/cm². These specifications are known from pulsed laser systems and enabled distinct surface modification or even ablation by a single laser pulse. The high speed high power setup allows to transfer such laser parameters in a continuous process with comparable raise of application rate and may offer new options laser material processing.



GROßFLÄCHIGE UND SCHNELLE FUNKTIONALISIERUNG VON TECHNISCHEN OBERFLÄCHEN MITTELS ULTRAKURZPULS-LASERBEARBEITUNG

L. Schneider, J. Schille, S. Mauersberger, K. Kujawa, Udo Löschner Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Die Gestaltung von Oberflächen mit bio-inspirierten Funktionen bietet vielfältige Lösungsansätze für technische Fragestellungen und steht deshalb zunehmend im Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen. Die Bionik als interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Biologie und Technik beschäftigt sich mit der Abstraktion, Übertragung und Anwendung biologischer Funktionen und Prinzipien auf technische Fragestellungen. Dabei reichen die Strukturanforderungen an bionische Strukturelemente über einen großen Bereich beginnend im Sub-Mikrometerbereich bis hin zu einigen hundert Mikrometern. Für die Herstellung von Oberflächenfunktionalitäten dieser Größenordnung erscheint die Lasertechnologie zunächst als ein sehr flexibles nahezu universelles Strukturierungswerkzeug geradezu prädestiniert; die besondere Herausforderung allerdings ist, bionische (Sub-) Mikrostrukturen schnell und großflächig in industrierelevanten Prozesszeiten herstellen zu können. Dazu bieten die am Laserinstitut Hochschule Mittweida (LHM) seit mehr als einer Dekade betriebenen Forschungsaktivitäten zur Hochrate-Laserbearbeitung mittels leistungsfähiger Laseranlagentechnik exzellente Voraussetzungen.

In diesem Artikel werden die Ergebnisse zu zwei speziellen Anwendungsbeispielen bionischer Mikrostrukturen vorgestellt. Die topographische Veränderung von Reibflächen infolge einer Lasertexturierung, abstrahiert von den Nanometer-Lamellen am Geckofuß, bewirkte die Erhöhung der Haftreibung, womit die Herstellung stark haftender aber reversibler Verbindungen durch eine erhöhte Oberflächenadhäsion möglich wird. Mit Pikosekunden-(ps)- und Femtosekunden-(fs)-Laserquellen generierte Texturen auf Stahloberflächen (S355J0, 42CrMo4) führten in Abhängigkeit vom applizierten Bestrahlungsregime und der damit verbundenen Strukturausbildung zu beträchtlichen Haftreibwerterhöhungen bis auf mehr als das Doppelte im Vergleich zu unstrukturierten Proben, wobei Flächenraten von bis zu 43 cm²/min erzielt wurden.

Ein zweites Anwendungsbeispiel bionischer Strukturen sind sogenannte laser-induzierte periodische Oberflächenstrukturen (LIPSS - Laser Induced Periodical Surface Structures), auch als Ripple-Strukturen bezeichnet, die in ihrer Funktion als Beugungsgitter wirken und so zur Erzeugung von Farbmustern dienen können. Diese durch Selbstorganisation entstehenden Ripple-Formationen, deren Strukturabmessungen geringfügig kleiner als die applizierte Laserwellenlänge sind, können auf technischen Oberflächen mit der am LHM verfügbaren Hochrate-Laseranlagentechnik in angemessen kurzer Prozesszeit homogen auf großen Flächen aufgebracht werden. Für die Untersuchungen kamen sowohl eine fs- als auch eine ps-Laserquelle mit hoher Repetitionsrate zum Einsatz, wobei Flächenraten von mehr als 600 cm²/min demonstriert wurden. Der Einfluss wichtiger Prozessparameter, wie Pulsdauer, Fluenz und Anzahl an Überfahrten auf die Ripple-Ausbildung hinsichtlich Periode, Gleichmäßigkeit und Homogenität ist in dieser Studie detailliert untersucht und sowohl rasterelektronenmikroskopisch als auch mit 2D FFT-Analyse evaluiert worden.

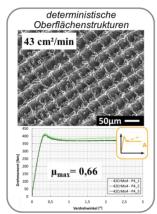




Abb.1: a) Oberflächenfunktionalisierung mit einem Hochleistungs-Pikosekundenlaser zur Steigerung von Haftreibwerten; oben: Rasterelektronen-mikroskopische Aufnahme der entstandenen Oberflächentexturen; unten: aufgenommene Rutschkurve, Haftreibwert μ_{max} , und Reibcharakteristik, Flächenrate 43 cm²/min; b) großflächige Mikrostrukturierung zur Erzeugung eines Beugungskontrastes auf Edelstahl. Größe des Bildes: 140 mm x 140 mm, Flächenrate 633 cm²/min.

SCHNEIDEN UND ABTRAGEN VON CFK MIT HOHEN MITTLEREN LEISTUNGEN

Oliver Suttmann, Sven Blümel, Richard Stähr, Hagen Dittmar, Verena Wippo, Peter Jäschke
Laserzentrum Hannover

Das Besäumen und das Abtragen von faserverstärkten Kunststoffen sind eine Schlüsseltechnologie für die Umsetzung von modernen Leichtbaukonzepten. Um wirtschaftlich konkurrenzfähig zu sein, bedarf es mittlerer Leistungen über einem Kilowatt.

Diese thermisch sensitive Werkstoffklasse mit hoher mittlerer Leistung und gleichzeitig hoher Qualität bedarf einer genauen Abstimmung von Strahlquelle, Handhabungssystemen, Prozessüberwachung und -strategie. Im Rahmen dieses Vortrages werden unterschiedliche Ansätze zur Hochratebearbeitung vorgestellt und verglichen.

CRACK PATH DEVIATIONS IN THERMAL LASER SEPARATION – EXPERIMENT AND SIMULATION

Kai Kaufmann^{1,2}, Julius Roeth¹, Felix Kaule², Stephan Schoenfelder^{2,3}

¹Hochschule Anhalt Köthen University of Applied Sciences, Bernburger Strasse 55, D-06366 Köthen ²Fraunhofer Center for Silicon Photovoltaics CSP, Otto-Eissfeldt-Strasse 12, D-06120 Halle ³Leipzig University of Applied Science, Karl-Liebknecht-Strasse 134, D-04277 Leipzig

Thermal laser separation is used for non-ablative cutting of silicon wafers and solar cells by utilizing thermally induced mechanical stresses. The process yields excellent edge quality due to melt free and residual free cutting. In this work we address effects which lead to deviations of crack paths while cutting asymmetric substrates. For cutting narrow stripes from wafers or solar cells a deviation of the crack path towards the wafer edge is observed. In addition, the crack path deviates from its ideal path near the wafer end. We present a simulation approach to model the laser absorption and cooling as well as the resulting mechanical stresses on crack tips in the material.

Laser absorption and the cooling is treated in a transient way to incorporate the effects of thermal conduction as well a temperature dependent changes of material parameters. Subsequently, a static analysis is done on predefined crack tips to analyze occurring stresses, the stress intensity factors K_I , K_{II} , K_{III} as well as the angle of the most likely crack propagation. The model is used to reproduce effects like crack deviation in asymmetric substrates and near the wafer end. Experimental and simulation results are compared and possible solutions for to overcome the crack deviations are discussed.

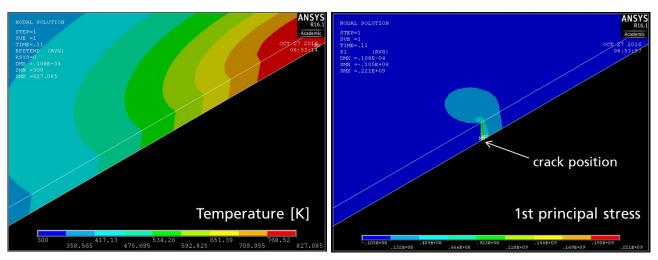


Figure 1, exemplary simulation result: temperature distribution and first principal stress during TLS process

Effiziente Laservorbehandlung von Aluminiumfolien für verbesserte Adhäsions- und Korrosionseigenschaften

Annett Klotzbach¹, Jozsef-Sebastian Pap¹, Jonas Wiemer¹, Malte Burchardt², Stefan Dieckhoff², Jens Standfuß¹

¹ Fraunhofer IWS Dresden, ² Fraunhofer IFAM Bremen

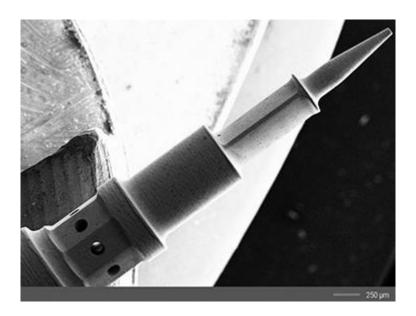
Die Verwendung von Faser-Metall-Laminaten (FML) in der Flugzeugindustrie ermöglicht im Vergleich zu monolithischem Aluminium Gewichtseinsparungen bei gleichzeitiger Verbesserung der Ermüdungseigenschaften. Für die Herstellung der FMLs werden Aluminiumfolien verwendet, welche derzeit nasschemisch vorbehandelt werden. Eine Alternative zu diesen Badprozessen ist der Einsatz von cw-Laserstrahlung zur Strukturierung. Sie ermöglichen eine großflächige und wirtschaftliche Laservorbehandlung mit Flächenraten bis zu 1 m²/min. Der Laserstrukturierprozess führt zu einer guten Oberflächenhaftung des Epoxidharz-Glasgewebes bei gleichzeitig verbesserter Korrosionsbeständigkeit und leistet zusätzlich einen signifikanten Beitrag zum Umweltschutz.

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Luftfahrtforschungsprojektes "AUTOGLARE"(FKZ: 20W1517D) unter der Projektführerschaft von Airbus durchgeführt.

HOCHGENAUE UKP-LASERBEARBEITUNG MIT ROTIERENDEM STRAHL – LASERMIKROBOHREN, -SCHNEIDEN UND -DREHEN

A. Pauli, F. Lendner, D. Wang GFH GmbH, Großwalding 5, D-94469 Deggendorf

Die Firma GFH GmbH hat eine spezielle Bohroptik entwickelt, welches in den Laserstrahl auf eine perfekte Kreisbahn bringt und zudem gezielt anstellt. Resultat ist ein flexibel einstellbares Werkzeug mit einer definierten Geometrie, das mit seiner hohen Drehzahl ein präzises und effizientes Bohren und Schneiden erlaubt. Dieses Einsatzspektrum wurde jetzt um eine zusätzliche Technik erweitert: das Laserdrehen. Dazu wird der rotierende und angestellte Strahl an ein drehendes Werkstück geführt und bringt es in die gewünschte Form. Da weder eine mechanische Kraft noch relevante thermische Einflüsse auf das Material wirken, lassen sich auf diese Weise selbst kleinste Strukturen präzise und mit einer Oberflächenrauheit von Ra < 0,1 µm erzeugen. Gleichzeitig deckt derselbe Laser auch weiterhin alle sonstigen Funktionen wie Schneiden oder Bohren ab, so dass für folgende Bearbeitungsschritte das Werkstück nicht umgespannt werden muss, was den Produktionsdurchsatz erhöht, Kosten spart und das Risiko von Schäden minimiert.



Fiber lasers with pulse on demand

Authors: Rok Petkovsek, Vid Agrez

New laser based production technologies are focused to production of small series of custom-made products what leads to a need for precise and highly adaptable manufacturing systems. Such processes require laser processing systems that will enable fast and precise spatial and temporal energy transfer at high peak powers to the workpiece. This requirement can be fulfilled by new concepts of lasers generating pulses on demand on different time scales. An example of such system is a highly adjustable fiber laser for the laser transfer printing with a completely adjustable pulse length (from ns range to CW), a very wide range of the repetition frequency (upto several 10s of MHz and beyond) and the high average power (several 100s W) to maintain high throughput.

COHERENT COMBINATION OF HIGH-POWER ULTRAFAST LASER SYSTEMS

Tino Eidam, Steffen Hädrich, Florian Just, Marco Kienel, Jens Limpert Active Fiber Systems GmbH, Wildenbruchstr. 15, 07745 Jena, Germany

We present the latest results of coherent combination of ultrafast fiber lasers. This technology allows for the first time to arbitrarily scale both average power and peak power of state-of-the-art femtosecond laser systems. Finally, a compact and robust 6-channel system ideally suited for materials processing is presented.

Today, ultrafast laser systems capable of emitting energetic pulses with durations ranging from a few hundred femtoseconds up to picoseconds have become a versatile tool for a plethora of applications. However, the requirements that these applications impose on the laser systems are demanding. Typically, both the pulse energies and the peak powers should be as large as possible in order to generate fields strong enough to initiate the physical processes of interest. Additionally, the pulse-repetition frequencies and, therewith, the average powers should be maximized to allow for short integration times or for an increase in processing speed. Simultaneously, an excellent beam quality is typically desired to achieve and maintain the necessary intensities over long distances. The combination of all these requirements is a challenging task for any laser architecture.

Although there has been tremendous progress during the recent years, even today's most successful solid-state-laser geometries (thin-disk, slab and fiber), approach more and more some fundamental power-scaling limitations. A solution to such a dilemma, i.e. the scaling of a physical system beyond its fundamental limitations, is parallelization. In terms of ultrafast laser systems this can be achieved via spatially separated amplification and subsequent coherent combination [1].

Here we present the latest results of applying this technology to ultrafast fiber lasers. By maturing coherent combination from laboratory setups to turn-key laser systems, unprecedented power levels become accessible for the first time.

The basic idea is to employ a state-of-the-art chirpedpulse-amplification system, i.e. to start from a femtosecond oscillator, stretch the pulses in time, amplify them and finally compress the pulses back to femtosecond duration. However, the final amplifier now consists of N parallel diode-pumped fiber amplifiers (see Fig. 1). Therefore, the (stretched) pulses to be amplified are split into N spatially separated replicas that are amplified and, subsequently, coherently recombined to one intense pulse. Hence, in the ideal case the achievable average output power and pulse energy can be scaled by a factor of N. All other parameters such as beam quality, spectral or temporal pulse shape and the stability remain unaltered or even improve due to an averaging effect. Finally, the coherent combination approach is especially suited to fiber amplifiers due to their compact design, high single-pass gain and, therefore, straightforward spatial multiplexing.

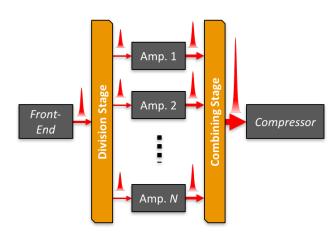


Fig. 1: Schematic drawing of an ultrafast laser system employing an N-channel coherently combined main amplifier.

There are several possibilities to stabilize such an active interferometer. The most successful so far is polarization combining and control the path-length difference via measuring the state of polarization with Hänsch-Couillaud detectors [2]. The stabilization can be easily achieved by generating a feedback signal and using piezo-mounted mirrors in *N*-1 interferometer arms.

We report further on scaling properties and the integration of coherent combination in a state-of-the-art high-power ultrafast fiber laser used for materials processing (Fig. 1).



Fig. 1: kW-class ultrafast fiber laser employing 8 parallel amplification channels.

References

[1] Limpert, J., Klenke, A., Kienel, M., Breitkopf, S., Eidam, T., Hädrich, S., Jauregui, C, & Tünnermann, A. (2014). Performance scaling of ultrafast laser systems by coherent addition of femtosecond pulses, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 20(5), 268-277.

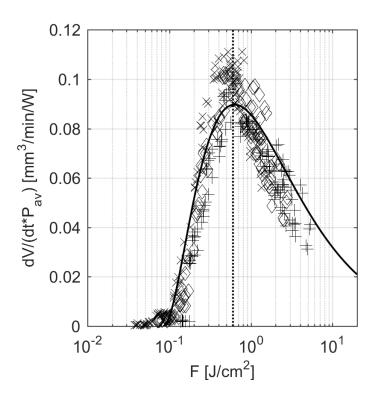
[2] T. W. Hänsch and B. Couillaud, "Laser frequency stabilization by polarization spectroscopy of a reflecting reference cavity", Opt. Commun. 35 (3), 441 (1980).

PROZESSOPTIMIERTE STRAHLFORMUNG FÜR DEN UKP-MATERIALABTRAG DURCH DEN EINSATZ EINES DEFORMIERBAREN SPIEGELS

Marco Smarra, Klaus Dickmann Laserzentrum Fachhochschule Münster, Stegerwaldstr. 39, D-48565 Steinfurt

Der Einsatz ultrakurzer Laserpulse für den Materialabtrag ermöglicht nicht nur sehr kleine und präzise Strukturen mit geringem thermischen Einfluss zu erstellen, vielmehr kann durch den Einsatz hoher mittlerer Leistungen das ablatierte Volumen pro Zeit gesteigert werden. Dabei konnte gezeigt werden, dass es eine materialabhängige optimale Ablationsfluenz gibt. Steigt die Fluenz über dieses Optimum, sinkt die Ablationseffizienz. Um den optimalen Arbeitspunkt zu erreichen, müssen hohe Pulsenergien auf eine größere Fläche verteilt werden. Diese Studie zeigt, dass mit Hilfe eines deformierbaren Spiegels die Strahlfläche auf dem Werkstück angepasst und somit die optimale Ablationsfluenz erreicht werden kann. Der verwendete Spiegel besteht aus 35 individuell steuerbaren, piezoelektrischen Segmenten und kann den einfallenden Strahl aufgrund seiner geschlossenen Oberfläche nahezu verlustfrei beeinflussen. Auf diese Weise können bspw. elliptische und nahezu rechteckige Strahlquerschnitte mit Aspektverhältnissen von mehr als 1:10 erstellt werden. An verschiedenen Testmustern konnte das Verfahren erfolgreich demonstriert werden.

Using ultrashort laserpulses is not limitted to the generation of small and precise strucutres with low thermal influences. In fact by using high average powers, the ablation rate can be increased. It was demonstrated, that the ablation efficiency shows a local optimal ablation fluence depending on material properties. Fluences above this optimum decrease the efficiency. To achieve the optimal fluence for high pulse energies, the irradiated area needs to be increased. This study demonstrates that the optimal fluence can be accomplished by various beam shapes. These beam shapes are procued by influencing the laser beam using a deformable mirror. This mirror contains 35 individual controllable piezo-electric segments. It influences the incident laser beam without intensity losses due to a closed mirror surface. With this technique elliptical beam shapes with aspect ratios of more than 1:10 can be achieved. A variety of sample structures are demonstrated successfully.



INVESTIGATION OF THE THERMAL AND OPTICAL PERFORMANCE OF A SPATIAL LIGHT MODULATOR (SLM) WITH 220W OF PICOSECOND LASER EXPOSURE FOR MATERIALS PROCESSING APPLICATIONS

Walter Perrie, ¹ David Whitehead², Guangyu Zhu¹, Olivier Allegre² Stuart Edwardson¹ and Geoff Dearden¹

¹Laser Group, School of Engineering, Brownlow Street, University of Liverpool, L69 3GQ, UK ²Laser Processing Research Centre, School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, The University of Manchester, Manchester M13 9PL, UK

The performance of a cooled SLM has been measured with laser powers P > 200W at 1064nm. SLM chip temperature rose by only 5°C at 220W, measured with a thermal imaging camera. Phase response approached 2π radians with average power P =140W while at 200W, phase response reached just over π radians. Using this knowledge, efficient high speed, multi-beam picosecond laser surface ablation and patterning was demonstrated on polished metal surfaces with average power P \leq 250W.

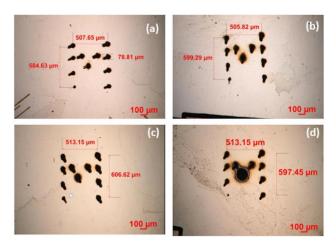


Figure 1. Optical images of surface patterning (letter "M") on polished brass plate with increasing laser powers, (a) 90W, 30ms, (b)120W, 30ms, (c)160W, 10ms, (d) 250W, 10ms. First order diffraction efficiency ~70% up to 160W exposure while this reduced at 250W, consistent with reduced phase response.

Schweißspritzer adé -Clean Welding by SITEC

Dipl.-Ing. Uwe Demmler SITEC Industrietechnologie GmbH, Bornaer Straße 192, 09114 Chemnitz

Mit "Clean Welding by SITEC", dem Laserschweißen im Unterdruck, treten im Vergleich zu konventionell lasergeschweißten Bauteilen nahezu keine Schweißspritzer an der Werkstückoberfläche auf. Dies erspart aufwendige Nacharbeit. Schlanke und parallele Schweißnähte sichern außerdem eine qualitativ hochwertige Schweißverbindung mit geringem Verzug. Gleichzeitig werden höhere Einschweißtiefen bei gleicher Laserleistung oder im Umkehrschluss gleiche Einschweißtiefen mit bis zu 50% geringerer Laserleistung erreicht. Clean welding eignet sich insbesondere für rotationssymetrische Bauteile, die vorrangig im Powertrain zum Einsatz kommen.

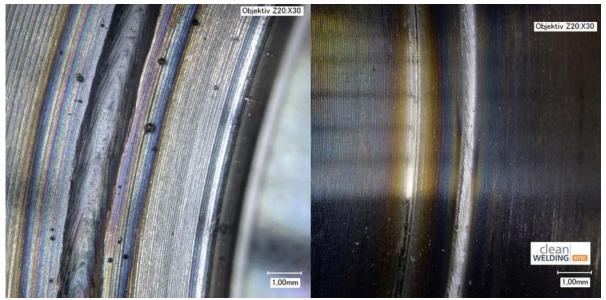


Bild: Vergleich Laserschweißen konventionell (links) und im Unterdruck (rechts)

Goodbye weld spatter – clean welding by SITEC

Dipl.-Ing. Uwe Demmler SITEC Industrietechnologie GmbH, Bornaer Straße 192, 09114 Chemnitz

Components produced using "clean welding by SITEC", a process of laser welding under negative pressure, exhibit virtually no weld spatter on the workpiece surface in contrast to conventionally laser-welded components. This avoids costly rework. Slender, parallel welding seams also ensure high-quality weld joints with low distortion. At the same time, operators can achieve greater penetration depths with the same laser power or, conversely, equal penetration depths with up to 50% less laser power. Clean welding is particularly well suited to the production of rotationally symmetrical components, which are primarily used in powertrains.

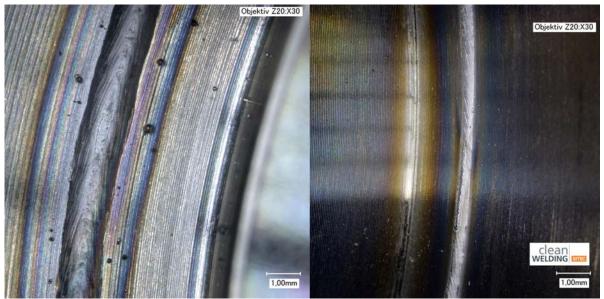


Image: Comparison of conventional laser welding (left) and laser welding under negative pressure (right)

HERSTELLUNG DREIDIMENSIONALER QUARZGLASKÖRPER DURCH DAS SELEKTIVE LASERSTRAHLSINTERN

Anne-Marie Schwager, Jens Bliedtner, Armin Bruder, Kerstin Götze, Jan Dellith*
Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, D-07745 Jena
*Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Albert-Einstein-Straße 9, D-07745 Jena

Für die effiziente Herstellung von komplexen silikatischen Formteilen wird das selektive Laserstrahlsintern als alternatives Fertigungsverfahren zur konventionellen Fertigung untersucht. Verwendet werden synthetische und natürliche Quarzglaspulver, welche einen Partikeldurchmesser im Bereich von 19...78 μm aufweisen. Bauteildichten von 65 % und Oberflächenrauheiten von Ra = 32,21 μm sind erreichbar. Durch eine anschließende Temperaturdrucksinterung entsteht ein glasiger und opaker Formkörper. Die Bauteildichte wird auf 96 % gesteigert, bei einer gleichzeitigen Schrumpfung von 16 %. Für die Verwendung als Glasfaserpreform, ist eine Mantelflächenpolitur der verglasten Formkörper notwendig. Durch eine Laserstrahlpolitur können mit Ra = 10,4 nm Oberflächenrauheiten erreicht werden, welche den üblichen Rauheitswerten von optischen Bauelementen entsprechen. Das selektive Laserstrahlsintern eignet sich als ein alternatives Herstellungsverfahren zum isostatische Pressen von Glaspulvermaterialien und bietet einen hohen Innovationsgrad, bei einem gleichzeitig hohen Forschungsbedarf.

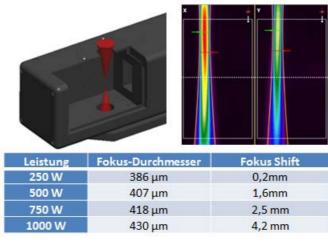


WIE SICH DURCH BERÜHRUNGSLOSE STRAHLPROFILMESSUNGEN DIE EIGENSCHAFTEN ADDITIVER FERTIGUNGSANLAGEN OPTIMIEREN LASSEN

Markus Revermann Ophir Spiricon Europe GmbH, Guerickeweg 7, D-64219 Darmstadt

Gerade in der Additiven Fertigung entscheidet das Zusammenspiel aller optischen Komponenten über die Einhaltung der Produktspezifikationen. Reproduzierbare Ergebnisse liefern die Anlagen im Selective Laser Manufacturing nur dann, wenn die Systemparameter genau beschrieben und überprüft werden können. Klassische Messmethoden der Lasermesstechnik stoßen dabei häufig an ihre Grenzen: Schon kleinste Verunreinigungen oder beginnender Verschleiß eines Messgeräts verfälschen die Ergebnisse. Den Strahl absorbierende Messsysteme beeinflussen den Laserstrahl und beeinträchtigen die Reproduzierbarkeit der Messungen. Eine neuartige Messtechnologie, die die Strahlkaustik des Laserstrahls berührungslos ermittelt, ohne den Strahl zu beeinflussen und ohne dass es vom Strahl beeinflusst wird, liefert dauerhaft belastbare Messergebnisse. Schlüsselparameter wie z.B. der Fokusshift des Lasers lassen sich damit unabhängig von der Höhe der Laserleistung darstellen. Der Vortrag beschreibt die Funktionsweise der Technologie, die auf der Messung der Rayleigh-Streuung basiert, beleuchtet die Vorteile gegenüber klassischen Messmethoden und zeigt Beispiele aus der Praxis.

Additive manufacturing machines only deliver reproducible results if the overall performance of all optical components can exactly be defined and controlled. In selective laser manufacturing processes traditional laser measurement techniques reach their limits. Dirt or wearing of the measurement system quickly falsify the measurement. A new contactless technology measures the beam caustic without influencing the beam and without the beam being influenced by the measurement device and delivers reliable measurement information. The focal shift of the laser as well as other essential laser beam parameters can be shown even at very high beam power (no limitation due the contactless measurement. The presentation explains the function of the measurement technology that is based on the Rayleigh scattering, explains the advantages compared to traditional measurement techniques and shows practical examples.



PROZESSOPTIMIERUNG FÜR DIE GENERATIVE FERTIGUNG VON MIKRO-WÄRMEÜBERTRAGERN

Martin Erler, Stefan Gronau

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Für Wärmeübertrager werden nach aktuellem Stand der Technik Plattenwärmeübertrager und Rohrbündelapparate eingesetzt, welche Kompaktheiten von 500 m² Wärmeübertragerfläche pro m³ erreichen. Durch das am Laserinstitut Hochschule Mittweida bereits seit 2001 angewendete generative Fertigen von Metallbauteilen mit Strukturauflösungen bis zu 35 µm soll die Masse von Wärmeübertragern erheblich reduziert und eine Kompaktheit von bis zu 10.000 m²/m³ erreicht werden. Bereits in einem Vorlaufprojekt mit dem ILK Dresden konnte die generelle geometrische Erzeugbarkeit der erforderlichen Mikrostrukturen nachgewiesen werden. Der erste Demonstrator wies jedoch Defizite in der absoluten Dichtheit auf und die Fertigungszeit war noch relativ hoch. In vorliegender Veröffentlichung sollen dahingehende Problemlösungen und Prozessoptimierungen vorgestellt werden. Der geplante Demonstrator des Mikro-Wärmeübertragers soll bei erfolgreicher Umsetzung eine Leistung von etwa 5 - 10 kW bei einem Übertragervolumen von 1 cm³ übertragen, was eine enorme Steigerung der Leistungsdichte darstellt.

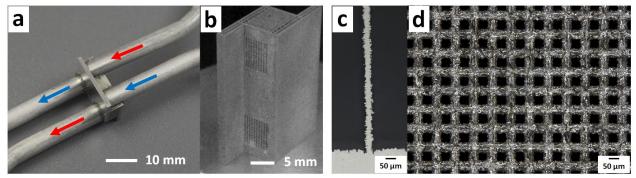


Abb. 1: Mikro-Wärmeübertrager-Demonstrator aus Vorlaufprojekt mit angeschweißten Anschlussleitungen (a) und nach der Pulverentfernung auf der Bauplattform stehend (b).

Aktuelle Teststrukturen wie Beispielweise eine Mikrowand mit 40 µm Wandstärke (c) und ein Gitter mit 45 µm Kanalbreite bei einer Bauhöhe von 20 mm (d).

UV MICROPROCESSING AT MACROSCOPIC RATE

Ralph Delmdahl¹, Heiner Eckermann²
Coherent Laser Systems GmbH & Co. KG, Hans-Böckler-Str. 12, D-37079 Göttingen
Coherent Shared Services BV, Dieselstraße 5B, D-64807 Dieburg

Surface processing with advanced laser technologies is the enabling and often performance determining manufacturing step in many high tech markets and applications. The success formula for any technology is bridging the gap between depositing, structuring or modifying a surface and achieving industrial processing rates, yield and throughput. Most important for process reproducibility, next to shortest possible ablation wavelength, is a stable behavior of consecutive laser pulses as well as the homogeneity of the on-sample laser fluency. These requirements constitute the superiority of excimer lasers as pulsed UV laser sources when it comes to precision and reproducibility in surface treatment and micromachining. Recent progress in excimer laser design and UV optical performance will be introduced enabling fast, high-precision UV manufacturing in cost-sensitive applications. We will focus on the latest laser surface processing trends and technologies from a range of relevant industries.

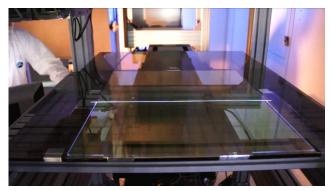


Fig: Line Beam Processing of Display Panel

Pavels Narica, Pavels Cacivkins

Akademie für Technologie Rezekne, Atbrīvošanas aleja 115, LV4601, Rēzekne, Lettland Kurzfassung

Optimierung der Suche nach Farbmarkierungen durch Laserbestrahlung, die unterschiedlichen Umwelteinflüssen unterliegen

Das Papier befasst sich mit einer neuen Methode der Suche nach Lasermarkierungsfarben sowie deren Interaktion mit der Umwelt. Die Folgen der Wechselwirkung der Markierung und der Umgebung hängen von mehreren Faktoren:

- 1. Morphologie der markierten Oberfläche;
- 2. Dicke der dünnen Oxidschicht auf der Oberfläche des Metalls;
- 3. Oxidationsgrad der Oxidschicht;
- 4. Physikalisch-chemischen Eigenschaften der Umgebung.

Die Farbmarkierungen benötigen einen weiteren Schutz bei Kontakt mit aggressiven Umwelteinflüssen.



Farbmarkierung vor (a) und nach (b) der Umweltbeeinflussung

Verfahren zum Aufbringen silikatischer Schichten mittels Laser in Flüssigphase

Jörg Leuthäußer, Petra Nowakowski, Michael T: Herz

INNOVENT e.V., Prüssingstraße 27B, 07745 Jena Mail: JL@innovent-jena.de

Im Beitrag wird ein Silikatisierungsprinzip zur Vorbehandlung unterschiedlicher Materialien vor dem Kleben oder Beschichten vorgestellt, welches mittels Energieeintrag durch Laserstrahlung in Flüssigphase arbeitet. Im bestrahlten Bereich kommt es zur reaktiven Abscheidung hochwirksamer haftvermittelnder Schichten.

Der Lösungsansatz geht dabei von flüssigen (vorzugsweise wässrigen o. semiwässrigen) silikatischen Präkursorlösungen aus, in welche das zu behandelnde Bauteil gebracht und der Laserstrahlung ausgesetzt wird.

Neben dem grundsätzlichen Verfahrensablauf werden Beispiele für die Wirksamkeit der "Lasersilikatisierung" zur Gewinnung belastungsstabiler Klebeverbunde vorgestellt sowie Möglichkeiten und Grenzen beim Einsatz dieser Methode diskutiert.

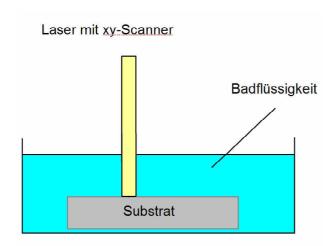


Abbildung 1: Schematische Anordnung der Laserbehandlung im Präkursorbad

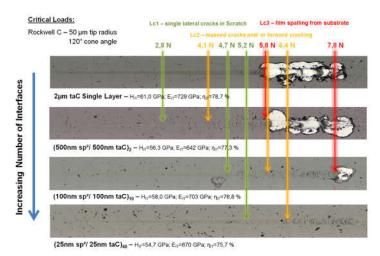
PLD-PREPARATION OF CARBON BASED MULTILAYERED COATINGS

René Bertram

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Results obtained in the analysis of single layer and multilayered carbon stacks produced by PLD at low temperature will be presented. The mechanical properties like hardness and elasticity were determined for carbon single layer deposited at various laser pulse fluences by means of nano indentation. A wide variety of mechanical properties can easily be adjusted by adapting the process parameters.

In addition, it will be shown that the architecture of various pure carbon films strongly affects the coatings toughness. Scratch test measurements showed that the cohesive break down of such layer systems can be hindered by refining the stack periodicity. This is along with no losses in hardness or elasticity if the stack architecture is suitable, as determined in nano indentation analyses. So, the produced coating systems combine a very good adhesion on several metal and hard metal substrates, very high hardness and elasticity accompanied with low abrasive wear and high crack and spalling resistivity



DEVELOPMENT OF A LASER BASED PROCEDURE FOR FORMING OF FLEXIBLE EDGED AND CAVITIES OF ALUMOSILICATE FLAT GLASS

Alexandra Dreher, Prof. Dr.-Ing. Jens Bliedtner, Dr. Andrea Barz Ernst-Abbe-University of Applied Sciences, Jena, Germany

The local heat input in very short process times is one of the important advantages of glass processing by laser radiation. This recent technology is based on partial heating whereby it is necessary to preheat the whole substrate because of the high thermal coefficient and the low thermal shock resistance. The laser scanning system deflects the material-specific CO_2 laser radiation onto the bending zone, thus the induced energy heats up the material and the viscosity decreases. The most promising results are from the variation of the pressure and the path length of rolling of the bending tool and the laser performance. On the basis of these effects, a specific furnace including three heating chambers was developed. In conjunction with the laser radiation, it is possible to generate flexible forms of edges and cavities. Currently, the achieved results of the radius (5 mm) have a deviation of \pm 0.2 mm. It is also possible to generate different cavities by using local vacuum deep drawing. Laser forming of cover glasses allows flexible forms of edges and cavities for the high expectations of the entertainment and automotive industry.



DIE APPLIKATIONSVIELFALT DES SCANNERBASIERTEN LASER-REMOTE-VERFAHREN AM BEISPIEL EINER TITANBOX FÜR DEN HERMETISCHEN TRANSPORT VON IMPLANTATEN

Andreas Hopf, Michael Güpner, Andreas Patschger, Jens Bliedtner Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, D-07745 Jena

Die Scannertechnologie stammt aus den Bearbeitungsbereichen des Lasermarkierens und -beschriftens. Durch die Weiterentwicklung von Lasersystemen und den damit verbundenen höheren Strahlqualitäten bei größeren Leistungen ist die scannerbasierte Lasermaterialbearbeitung auch für andere Industriezweige interessant geworden. So soll am Beispiel einer medizinischen Transportbox das Anwendungspotenzial der Scannertechnologien aufgezeigt werden.



BEITRAG ZUR PROZESSEFFIZIENZ BEIM LASERAUFTRAGSCHWEIßEN

Michael Güpner, Jens Bliedtner Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, D-07745 Jena

Das Laserauftragschweißen ermöglicht den alternativen Aufbau von Werkzeugen durch das gezielte, lokalbegrenzte Auftragen funktionaler Schichten im Bereich der Wirkzone des Werkzeugs. Der Schichtauftrag kann dabei auf einem kostengünstigen, gutschweißbaren Substratwerkstoff erfolgen. Das Laserauftragschweißen ist von dem für thermische Bearbeitungsverfahren charakteristischen Bauteilverzug geprägt. Mit abnehmender Materialstärke sinkt der Widerstand des Bauteils gegen thermisch induzierten Verzug. Demzufolge verlangt speziell das gezielte, laserstrahlbasierte Beschichten von Bauteilen mit reduzierter Materialstärke nach einer thermisch angepassten und effizienten Prozessführung. Im Rahmen der Veröffentlichung wurde der Ansatz zur Reduzierung des Energieeintrages durch die Steigerung der Vorschubgeschwindigkeit verfolgt. Ferner wurde die Abhängigkeit des Bauteilverzuges von der Bearbeitungsstrategie untersucht.



EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUM BOHREN VON MIKROLÖCHERN MIT ULTRAKURZPULSLASERSTRAHLUNG

Andreas Gruner, Jörg Schille, Udo Löschner Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

In dieser Studie werden Ergebnisse zum Perkussionsbohren von Mikrolöchern in Edelstahl vorgestellt. In den Untersuchungen wurde eine Femtosekunden-Laserquelle eingesetzt, die bei einer Wellenlänge von 1030 nm 220fs kurze Pulse emittiert, wobei die Strahlfleckgröße 31 µm betrug. Wichtige prozessbeeinflussende Parameter, wie Pulsenergie, Pulsrepetitionsrate sowie die Pulsanzahl wurden in einem weiten Bereich variiert und ihre Auswirkung sowohl auf die Bohrungsgeometrie mit den Kriterien Bohrungsdurchmesser, Rundheit und Wandwinkel als auch auf die Bohrlochqualität im Hinblick auf thermische Veränderungen und Schmelzablagerungen evaluiert. Zu Beginn wurde die notwendige Pulsanzahl zum Durchbohren verschiedener Materialstärken im Bereich von 25 µm bis 1 mm ermittelt. Dabei stellte sich heraus, dass die Ausbildung der Mikrobohrungen stark vom Polarisationszustand der Laserstrahlung beeinflusst wird. Weiterführende Untersuchungen erfolgten deshalb mit zirkular polarisierter Laserstrahlung. Letztendlich wurden optimale Parameterbereiche identifiziert, die höchstmögliche Bohrungsqualität bei hoher Bohrgeschwindigkeit ermöglichen.

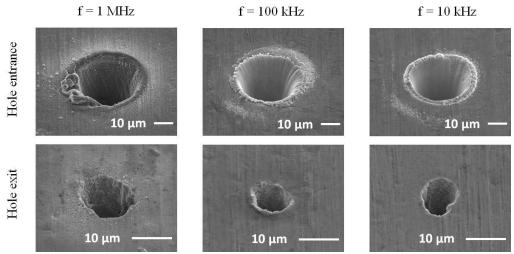


Abb.1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Bohrungsein- und -austritten bei verschiedenen Pulsrepetitionsraten, Parameter: Fluenz $H_{max} = 2.1 \text{ J/cm}^2$, Materialdicke t = 0.1 mm, Pulsanzahl N = 2000.

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ZUM ABTRAG VON STAHL UND EISEN MIT PIKOSEKUNDENLASERPULSEN IM BURST-MODUS

Daniel Metzner, Peter Lickschat, Steffen Weißmantel Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Es werden Ergebnisse präsentiert, die sich mit der Bearbeitung von Stahl bzw. Eisen mit Pikosekundenlaserpulsen im Burst-Modus beschäftigen. In vorangegangenen Untersuchungen zeigten sich bei der Bearbeitung von Stahl im Burst-Modus unterschiedliche Effekte, die es genauer zu untersuchen gilt. Aus diesem Grund wurden identische Versuche auf Reinsteisen und Stahl durchgeführt, um zu klären, ob sich Eisen identisch wie Stahl abtragen lässt. Die Motivation dahinter ist, dass versucht werden soll, auftretende Phänomene bei der Burst-Bearbeitung mit Hilfe von Simulationen zu erklären. Die Simulationen sollen dabei anhand des Werkstoffes Eisen erfolgen, da hierfür die benötigten Materialparameter verfügbar sind. Es zeigte sich bei den durchgeführten Versuchen, dass bei der Bearbeitung von Eisen bzw. Stahl nur geringfügige Unterschiede auftreten. Es konnte sowohl ein reduziertes Ablationsvolumen bei wenigen Pulsen im Burst als auch ein erhöhtes Ablationsvolumen bei mehreren Pulsen im Burst ermittelt werden. REM-Aufnahmen der Ablationsbereiche zeigen nahezu identische Ablationsstrukturen bei beiden Materialien.

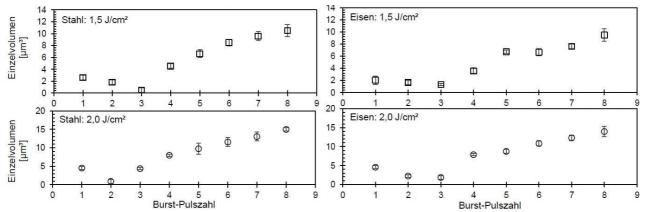


Abbildung 1: Ablationsvolumen des jeweiligen Pulses im Burst bei der Bearbeitung von Stahl bzw. Eisen.

Untersuchung der mechanischen Eigenschaften poröser Lasermikrosinterstrukturen

Jens Woytkowiak, Robby Ebert, Horst Exner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Der 3D-Druck ermöglicht Bauteilfertigung mit höchster Geometriefreiheit. Damit lassen sich auch Bauteile mit angepassten funktionellen Strukturen realisieren. In den Untersuchungen wurden poröse Testkörper durch Variationen von Pulsenergie und Pulsabstand hergestellt und die Bruchspannung mittels Biegeversuch ermittelt. Für die Durchführung der Messung an kleinen Bauteilen wurde ein Verfahren entwickelt mit dem die Proben bei der Präparation nur geringen Belastungen ausgesetzt werden.

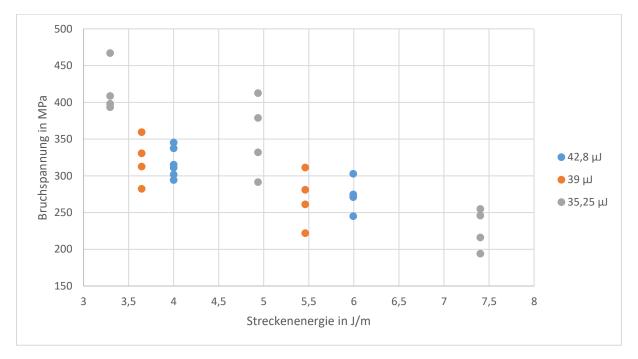


Abb.: Bruchspannung in Anhängigkeit von der Streckenenergie beim Lasermikrosintern, Parameter Pulsenergie

Veröffentlichung ist für eine Posteression bestimmt!

CHARAKTERISIERUNG VON ABHÄNGIGKEITEN DER PROZESSEIGENSCHAFTEN VON SUPERHARTEN TA-C SCHICHTEN IN BEZUG AUF HÄRTE-, RAMAN- UND UV- VIS- UNTERSUCHUNGEN

Maren Nieher, Manuela Hartwig, Steffen Weißmantel Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Die am Laserinstitut der Hochschule Mittweida langjährige Forschung zu superharten ta-C Schichten, konnte bereits bis zur Industriereife geführt werden. Um eine effiziente Methode der Charakterisierung der ta-C Schichten, sowohl superhart als auch stärker sp²- gebunden, zu erhalten, wurden verschiedene Messmethoden angewandt und miteinander verglichen. Es soll aufgezeigt werden, mit welchen Methoden eine sinnvolle Charakterisierung erfolgen kann und in wieweit Methoden kombiniert werden können.



Vergleich verschiedener physikalischer Modelle zur Beschreibung der polarisationsabhängigen Reflektometrie und Ellipsometrie

M. Olbrich¹, M. Frank¹, T. Pflug¹, and A. Horn¹

¹Laserinstitut Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences Mittweida, Schillerstraße 10, 09648 Mittweida, Deutschland Email: molbrich@hs-mittweida.de

Die Materialbearbeitung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung ist für die Erzeugung von hochpräzisen Strukturen mit guter Qualität sehr wichtig und findet z. B. in der Solarindustrie oder der 3D-Strukturierung mit hoher Genauigkeit der abgetragenen Strukturtiefen und Qualität der Strukturkanten [1]. Bei der Bestrahlung von Metallen werden experimentell in Abhängigkeit von der Fluenz der Laserstrahlung zwei unterschiedliche Ablationsregime beobachtet, das sogenannte gentle- und strong-Abtragsregime [2]. Trotz der Forschungen der letzten Jahre ist der Ablationsprozess an sich nicht vollständig verstanden und die gewünschten Prozessparameter in den genannten Anwendungen werden hauptsächlich empirisch gefunden. Die ultraschnelle Pump-Probe-Messmethode [3] in Kombination mit numerischer Modellierung stellt die ideale Methode dar, um die unzureichenden Kenntnisse über den Ablationsprozess zu verbessern. In dieser Arbeit wird die klassische Ellipsometrie mit Pump-Probe-Aufbau kombiniert, wodurch der komplexe Brechungsindex und eine evtl. vorhandene Schichtdicke einer Materialoberfläche orts-, zeit- und spektroskopisch aufgelöst dargestellt werden können. Der konstruierte Pump-Probe-Aufbau ermöglicht zusätzlich ultraschnelle polarisationsabhängige Reflektometrie, Schattenphotographie und Brewster-Winkel-Mikroskopie. Zusätzlich werden theoretische Untersuchungen durchgeführt, um die experimentellen Daten korrekt interpretieren zu können. Wegen der großen Vielzahl der verfügbaren physikalischen Theorien und deren Abhängigkeit vom verwendeten Material und der Fluenz der Strahlung ist die Auswahl eines geeigneten Modells sehr herausfordernd. Deswegen werden in dieser Arbeit verschiedene Modelle zur Berechnung der Temperaturverteilung im Material mit verschiedenen Ansätzen für die thermophysikalischen Parameter [4-10] (Tab. 1) miteinander und mit den Ergebnissen der zeitaufgelösten Experimente verglichen. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass kein verwendetes Modell die experimentellen Ergebnisse ausreichend gut beschreibt (Abb. 1). Im Gegensatz dazu sagten frühere einfache Berechnungen der Temperaturverteilung die Abhängigkeit der Schwellfluenz für Ablation von der Pulsdauer der Laserstrahlung sehr gut voraus [9]. Um eine bessere Übereinstimmung mit den Experimenten zu erhalten, werden weitere Untersuchungen unter Berücksichtigung der thermischen Elastizität des Materials [11] sowie hydrodynamischer Ansätze [12] zur Darstellung der Dynamik des Ablationsprozesses durchgeführt.

Tab. 1. Übersicht der Modelle zur Berechnung der thermophysikalischen (C_e , k_e) und optischen (ε) Parameter

	а	b	с	d	e	f	g
Volumenwärmekapazität C _e	[6]	[4]	[6]	[6]	[6]	[6]	[6]
Thermische Leitfähigkeit $k_{\rm e}$	[10]	[10]	[8]	[5]	[9]	[9]	[5]
Dielektrische Funktion ε	[7]	[7]	[7]	[7]	[7]	[9]	[9]

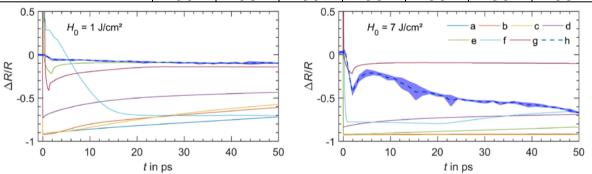


Abb. 1. Vergleich der numerisch erhaltenen relativen Reflektivitätsänderungen verschiedener Modelle (a-f) und den experimentell ermittelten relativen Reflektivitätsänderungen (h) für die Fluenzen H_0 von 1 J/cm² (links) and 7 J/cm² (rechts); die Schwellfluenz für gentle-Abtrag beträgt $H_{thr,gentle} = 1.22$ J/cm²

- [1] K. Sugioka, Ultrafast Laser Processing: From Micro- to Nanoscale: From Micro- to Nanoscale (CRC Press, Hoboken, 2013)
- [2] M. Olbrich, E. Punzel, R. Roesch, R. Oettking, B. Muhsin, H. Hoppe, A. Horn, Appl. Phys. A 122 (2016)
- [3] A. Horn, *Ultra-fast material metrology* (Wiley-VCH, Weinheim, 2009)
- [4] J.K. Chen, D.Y. Tzou, J.E. Beraun, International Journal of Heat and Mass Transfer 49, 307 (2006)
- [5] C.A. Dold, Picosecond laser processing of diamond cutting edges (2013)
- [6] Z. Lin, L.V. Zhigilei, V. Celli, Phys. Rev. B 77 (2008)
- [7] Y. Ren, J.K. Chen, Y. Zhang, J. Huang, Appl. Phys. Lett. 98, 191105 (2011)
- [8] X.Y. Wang, D.M. Riffe, Y.-S. Lee, M.C. Downer, Phys. Rev. B **50**, 8016 (1994)
- [9] M. Olbrich, E. Punzel, P. Lickschat, S. Weißmantel, A. Horn, Physics Procedia 83, 93 (2016)
- [10] S.I. Anisimov, B. Rethfeld, in Nonresonant Laser-Matter Interaction, ed. by V.I. Konov, M.N. Libenson (SPIE, 1997), p. 192
- [11] J.K. Chen, J.E. Beraun, C.L. Tham, J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 4, 650 (2002)
- [12] A.V. Mazhukin, V.I. Mazhukin, M.M. Demin, Applied Surface Science 257, 5443 (2011)

LASERSTRAHLSCHWEIßEN MIT 10 KW MONOMODE FASERLASER

Jan Drechsel⁾¹, Udo Löschner⁾¹, Kevin Hanelt⁾¹, Markus Revermann⁾²
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

⁾² OPHIR Spiricon Europe GmbH, Guerickeweg 7, 64291 Darmstad

Monomode Laser bieten die beste Strahlqualität unter den Laserstrahlquellen. Für die Untersuchungen stand ein 10~kW Monomode Faserlaser, einer der derzeit leistungsstärksten industriell verfügbaren Laserstrahlquellen dieser Güte zur Verfügung. Gegenstand der Untersuchungen war die Charakterisierung der Laserstrahlquelle sowie Schweißversuche zum Blindschweißen an Edelstahl- und Aluminium-Werkstoffen. Die Laserstrahlquelle verfügte über eine ermittelte Strahlqualität von $M^2=2$ in der Messebene und zeigte einen Fokusshift von 2~mm innerhalb von 15~sec. Das Blindnahtschweißen am Werkstoff AlSi12~mm wurde im Bereich bis 10~mmin. realisiert. Dabei konnte eine maximale Einschweißtiefe von bis zu $t_{sn}=19~mm$ ermittelt werden.

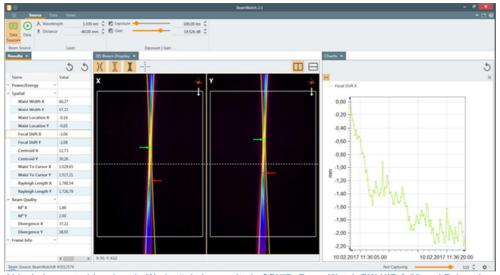


Abb. 1 Laserstrahlanalyse in Werkstückebene mittels OPHIR: Beam Watch BW-NIR-2-55 und Fokussieroptik: OL YW50 F500 HQ



Abb. 2 Nahtoberraupen der Blindschweißungen an ALSi12 bei P_L = 10 kW und Fokuslage -6 (Optik F500 Fa. Precitec) mit v_s = 33 .. 167 mm/s (2 .. 10 m/min)

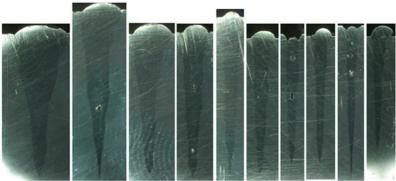


Abb. 3 Querschliffe der entsprechenden Blindschweißungen zu Abb. 2 mit vs = 2/2,5/3/4/5/6/7/8/9/10 m/min

Untersuchung der dynamischen Prozesse bei Erwärmen und Abtragen dünner Goldschichten nach Anregung mit ultrakurz gepulster Strahlung

T. Pflug¹, M. Olbrich¹, M. Frank¹, E. Punzel¹, and A. Horn¹

¹Laserinstitut Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences Mittweida, Schillerstraße 10, 09648 Mittweida, Deutschland Email: tpflug1@hs-mittweida.de

Um die dynamischen Prozesse bei der Materialbearbeitung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung besser verstehen zu können, ist eine Messung mit großer zeitlicher Auflösung der prozesscharakterisierenden physikalischen Größen notwendig. Dafür wird die zeitliche und örtliche Veränderung des komplexen Brechungsindexes \tilde{n} bei Bestrahlung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung gemessen, indem ein Ellipsometer mit einem Pump-Probe-Aufbau (Abb. 1) kombiniert wird. Diese Arbeit beschreibt die Konstruktion und die Kalibrierung dieses Pump-Probe-Aufbaus, mit dem orts-, zeit- und spektroskopisch aufgelöste Brewster-Winkel-Mikroskopie, Reflektometrie, Ellipsometrie und Schattenphotographie möglich ist. Dadurch wird die zeitaufgelöste Messung der Brechzahl n, des Extinktionskoeffizienten k und der Schichtdicke d einer Materialoberfläche während des Ablationsprozesses ermöglicht [1]. Die verwendete Laserstrahlung (1) wird dabei in Pumpstrahlung (800 nm, 35 fs) und Probestrahlung (515 nm, 150 fs) geteilt. Der optische Weg der Pumpstrahlung kann zeitlich um 13,3 fs bis zu 6 ns mit einer Verzögerungsstrecke (3) verschoben werden.

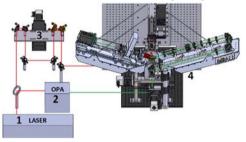


Abb. 1. Pump-Probe-Ellipsometer; 1) Laserstrahlungsquelle emittiert Pumpstrahlung mit $\lambda = 800$ nm; 2) Optisch parametrischer Verstärker emittiert Probestrahlung mit $\lambda = 515$ nm; 3) Verzögerungsstrecke variiert optischen Weg der pumpstrahlung; 4) Ellipsometer

Zur Validierung des konstruierten Ellipsometers werden die gemessenen optischen Eigenschaften verschiedener Dielektrika, Halbleiter und Metalle mit den Messergebnissen eines kommerziellen Ellipsometers (nanofilm_ep4, Accurion Inc.) verglichen. Die Abweichung ist dabei kleiner 10 %. Erste Messungen der Änderung des komplexen Brechungsindexes von Gold (unbeschichteter Goldspiegel, $R_a < 3$ nm) bei der Wechselwirkung mit Pumpstrahlung unterhalb der Abtragsschwelle für gentle-Abtrag ($H_{th,gen} = 1.22 \text{ J/cm}^2$) werden in einem Zeitbereich von 30 ps und einer zeitlichen Auflösung von 1,5 ps durchgeführt (Abb. 2). Der Zeitpunkt der ersten Änderung von Brechzahl und Extinktionskoeffizient wird als t = 0 ps definiert. Dabei ist ein abrupter Anstieg der Brechzahl und des Extinktionskoeffizienten innerhalb des ersten Messwertes nach t = 0 ps zu erkennen. Ursache dafür könnte eine sich ausbreitende Schmelze sein [2]. Nach dem abrupten Anstieg steigt die Brechzahl im betrachteten Zeitbereich kontinuierlich an. Der Extinktionskoeffizient sinkt bis etwa t = 5 ps und bleibt danach in etwa konstant. Eine Relaxation des komplexen Brechungsindexes findet im betrachteten Zeitbereich von 30 ps nicht statt. Die physikalischen Vorgänge während der Bestrahlung mit ultrakurzgepulster Laserstrahlung sollen mit einem Modell beschrieben werden. Dafür wird die Dispersion des komplexen Brechungsindexes von Substrat und einer sich eventuell ausbreitenden Schmelze mit mehreren Oszillatoren über das Drude-Lorentz-Modell und das Modell des effektiven Mediums berechnet [1].

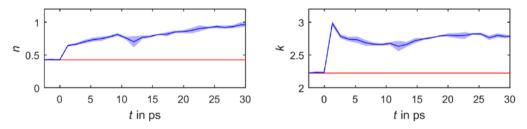


Abb. 2. Brechzahl n (links) und Extinktionskoeffizient k (rechts) von Au als Funktion der Zeit bei der Wellenlänge 515 nm der probestrahlung bei Bestrahlung mit ultrakurzgepulster Pumpstrahlung mit 800 nm Wellenlänge bei einer Fluenz von 60 % der $H_{th,gen}$ (rote Linien stellen n und k von Gold bei Raumtemperatur dar)

^[1] H. Fujiwara, "Spectroscopic Ellipsometry", (John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, Uk, 2007)

^[2] M. Schmid, S. Zehnder, P. Schwaller, B. Neuenschwander, M. Held, U. Hunziker, and J. Zürcher, "Measuring optical properties on rough and liquid metal surfaces", ALT 12 Advanced Laser Technologies 2-6 (2012)

Verwendung von mit Kamera-Feedback-Loop berechneten Phasengitten auf Spatial Light Modulatoren zur parallelen Mikrostrukturierung mittels Femtosekundenlaser

Alexander Kratsch, Steffen Weißmantel, Frank Ehrenberg, Andy Engel Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Abstract: Es wird eine Berechnungsmethode für Phasengitter bzw. Strahlteiler basierend auf einem iterativen Fourier Transformationsalgorithmus (IFTA) vorgestellt. Die Leistungsanteile in den einzelnen Teilstrahlen werden über einen Kamera-Feedback-Loop gesteuert, womit eine Ausgangsverteilung erzeugt wird, die besser an die gewünschten Zielverteilungen angepasst ist als bei ausschließlich virtueller Berechnung. Dabei wird in kauf genommen, dass sich die Berechnungsdauer demgegenüber vergrößert. Anschließend werden vergleichend einige Strukturierungsbeispiele bei Verwendung von Femtosekundenlaserstrahlung gezeigt. Diese wurden an der Auflösungsgrenze des Verwendeten Objektives durchgeführt.

Abstract: We are going to present an iterative Fourier transformation algorithm (IFTA) based computation method for Phase retrieval of beamsplitter elements. The power distribution between the separate beamlets will be controlled via a camera feedback loop in order to create an output distribution which is more closely fitted to the desired distribution than by solely virtual computation. It is taken into account that the computation time will rise by doing so. Furthermore we will show some micro structuring examples with femtosecond laser beams utilizing this algorithm. All experiments will be conducted with imaging close to the resolution limit.

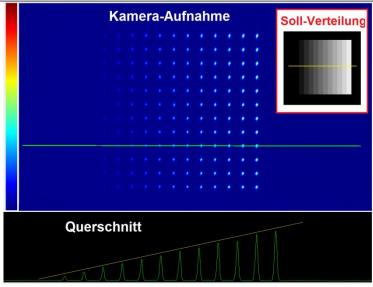
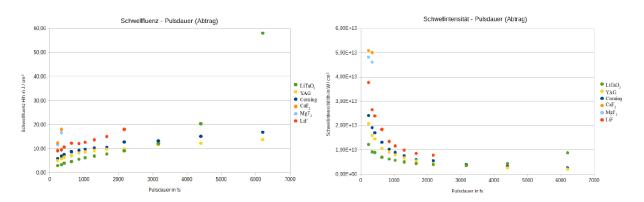


Abbildung 1: 12x12 Grauwertbalken-Strahlteiler

GRUNDLAGENUNTERSUCHUNGEN AN DIELEKTRISCHEN MATERIALIEN MITTELS ULTRAKURZER LASERPULSE

Manuel Pfeiffer, Fabian Knebel, Steffen Weißmantel Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Es werden Ergebnisse der Grundlagenuntersuchungen an dielektrischen Materialien (Quarzglas Corning 7980 KrF-Grade, Calciumfluorid, Magnesiumfluorid, Lithiumfluorid, Yttrium-Aluminium-Granat, Lithiumtantalat) durch Bestrahlung mittels Ultrakurzpuls-Laserstrahlung mit unterschiedlichen Pulsdauern präsentiert. Für die Untersuchungen wurde eine Femtosekundenlaseranlage mit einem integrierten Pharos FS-Lasersystem 15-1000-PP (Wellenlänge 1028 nm, Repetitionsrate 200 kHz, maximale Laserstrahlleistung 15 W, Pulsdauer 220 fs - 10 ps) genutzt. Ziel der durchgeführten Untersuchungen war die Bestimmung grundlegender Abtragsparameter in Abhängigkeit von den applizierten Laserstrahlparametern und die daraus resultierende Bestimmung der Schwellfluenz- und Schwellintensitätswerte für die verwendeten unterschiedlicher Pulsdauern.



▲ Diagramme: Überblick über die Abtragsschwellfluenz (links) und -intensität (rechts) der untersuchten Materialien in Abhängigkeit von der Pulsdauer.

F2-LASERMIKROSTRUKTURIERUNG VON MIKRO-FRESNEL-LINSEN

Michael Pfeifer¹, Sebastian Büttner¹, Ruiyong Zhang², Murat Serbay², Steffen Weißmantel¹

¹Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida ² FCI Deutschland GmbH, Holzhauser Str. 175, D-13509 Berlin

Mikrooptiken gewinnen zunehmend an Bedeutung für die Lösung technischer Probleme. So wurden in den vergangenen Jahren immer mehr Verfahren entwickelt und weiterentwickelt, um Optiken mit Abmessungen im Bereich weniger Mikrometer zu fertigen. Eines dieser Verfahren ist die Fluorlasermikrobearbeitung, welche die direkte Strukturierung von Mikro-Fresnel-Linsen in Glas, aber insbesondere auch in wide band gap Materialien und Quarzglas ermöglicht. Hierfür wurde das Maskenprojektionsverfahren durch Konstruktion und Bau eines speziellen Maskenwechsel- und -handlingsystems für die Verwendung rotierender Masken weiterentwickelt. Dieses Verfahren ermöglicht die Herstellung von Linsen mit nahezu optimal sphärisch gekrümmter Oberfläche und guter Oberflächenqualität. Da die Masken und nicht das Substrat gedreht werden, besteht auch die Möglichkeit, große Substrate, z.B. Wafer, zu strukturieren. Demonstriert werden ausgewählte Linsen mit verschiedener Anzahl an Fresnelzonen in Schott D263T mit Oberflächenrauheiten von $S_{\rm q} < 100$ nm.

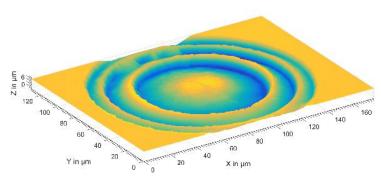


Bild 1: Konfokalmikroskopaufnahme einer Mikro-Fresnel-Linse in Schott D263T (Laserpulsfluenz: 1 J/cm², Pulsüberlappungsgrad: 0,984).

SELEKTIVE LASERABLATION VON DÜNNEN ALUMINIUMSCHICHTEN AUF QUARZGLAS MIT ULTRAKURZGEPULSTER-LASERSTRAHLUNG

Tina Viertel, Linda Pabst, Robby Ebert, Horst Exner Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Dünne Schichten werden in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen wie Optik, Optoelektronik und Mikroelektronik eingesetzt. Ultrakurzgepulste Laserablation ermöglicht, aufgrund der reduzierten thermischen Effekte, die gezielte Entfernung von Schichten mit hoher Auflösung. Die selektive Laserablation von Aluminiumschichten auf Quarzglas wurde unter Verwendung von ultrakurzgepulster Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 1028 nm und 100 kHz Repetitionsrate untersucht. Es wurde unter Variation von Fluenz, Schichtdicke (10 – 50 nm), Pulsanzahl (1 – 1000) und Pulsdauer (200 fs – 10 ps) die Ablation von Aluminium auf Quarzglas analysiert. Es wurden sowohl die Ablationsschwellen sowie die Inkubationskoeffizienten ermittelt. Der Inkubationskoeffzient liefert Aussage über die Abhängigkeit der Ablationsschwelle von der Pulsanzahl.

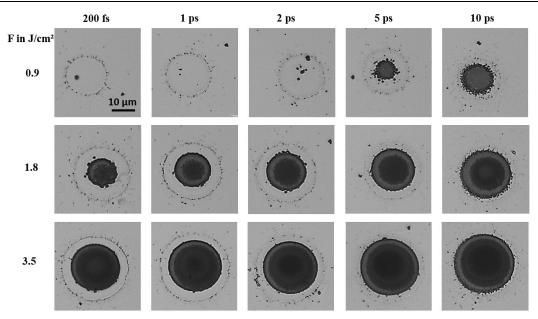
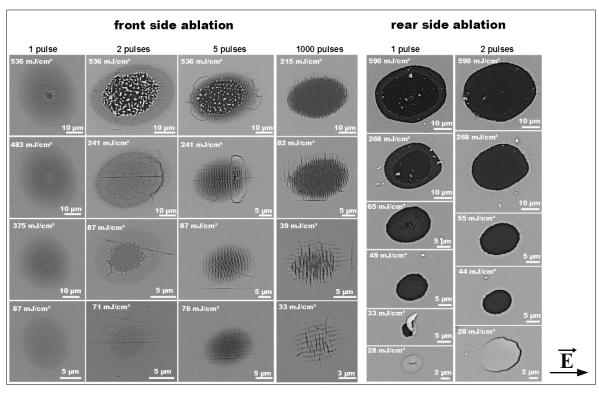


Abbildung 1: Ablationsmorphologie unter Einzelpuls-Bestrahlung für verschiedene Fluenzen, Pulsdauern und eine Schichtdicke von 50 nm

COMPARISON BETWEEN FRONT AND REAR SIDE ABLATION OF NICR THIN FILMS ON TRANSPARENT SUBSTRATE USING FEMTOSECON LASER RADIATION

Linda Pabst, Robby Ebert, Horst Exner Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

By processing thin films on transparent substrates two processing strategies can be applied which reveal different material removal processes. On the one hand the direct ablation of the thin film by irradiation from the film side and on the other hand by irradiation from the transparent substrate side, where the ablation occurs in an enclosed space at the substrate film interface. Therefore, the selective ablation of Nickel-Chromium-alloy films on glass substrate in comparison of front and rear side irradiation was investigated using femtosecond laser pulses. As a result, different irradiation morphologies were observed, dependent from the processing strategy and irradiation parameters. For front side irradiation a higher pulse number was necessary to fully ablate the film and the edge of the ablation was covered with melt residuum and undesirable structures, reducing the processing quality. Rear side ablation had the advantages of negligibly small heat affected zone and high machining precision, however, due to the ablation process cracks appeared at the edge of the ablation area. The processing form the substrate side revealed much better structuring results compared to film side ablation.

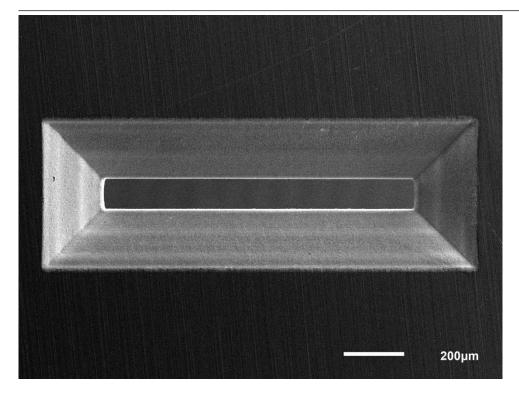


SEM images of ablation morphologies by front side ablation (left) and rear side ablation (right) at diffent pulse numbers and fluences

HIGH PRECISION 3D MICRO PROCESSING OF TUNGSTEN BY ULTRASHORT PULSE LASER ABLATION

Mathias Müller, Robby Ebert, Horst Exner Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

This paper presents results obtained in high-precision ultrashort pulse laser processing of tungsten she1et metal. In the study, essential research on the ablation behavior of tungsten as well as the influence of different processing strategies on machining results was conducted. For this, a high-PRF (pulse repetition frequency) femtosecond laser (λ = 1030 nm, $\tau_{\rm H}$ = 180 fs, $f_{\rm p}$ = 1 MHz) was used in conjunction with a galvanometer scan system. By raster scanning of the laser beam across the tungsten surface and by in-situ control of the cavity depth, precise aperture cuts were produced. The quality of the machining results were evaluated by SEM micrographs. Machining samples will be presented to demonstrate the feasibility of the high-PRF ultrashort pulse laser technology in high-precision micro fabrication.



Aperture cut produced in tungsten sheet metall, thickness 200 µm, width 100 µm, length 1 mm

INFLUENCE OF INTERFACE ON SELF-ORGANIZATION PROCESS INDUCED BY NANOSECOND IR LASER IRRADIATION OF CHROMIUM FILM ON FUSED SILICA

Igor Zagoranskiy¹, Frank Frost¹, Pierre Lorenz¹, Martin Ehrhardt^{1,2}, Klaus Zimmer¹
Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, Germany
Advanced Launching Co-innovation Center, Nanjing University of Science and Technology,#200
XiaoLingWei,210094 Nanjing, Jiangsu, People's Republic of China

The laser-induced self-organized processes are suitable for the fabrication of sub-micron and nanopatterns at large areas. During laser irradiation thin metal film starts to dewet due to Plateau-Rayleigh instability. Nowadays the impact of interface to the dewetting process is not completely researched. For this purposes carbon atoms were locally implanted in 3 inch wafer of fused silica. After that sample was sputtered by 15 nm chromium and irradiated by IR fibre laser with wavelength of 1064 nm.

