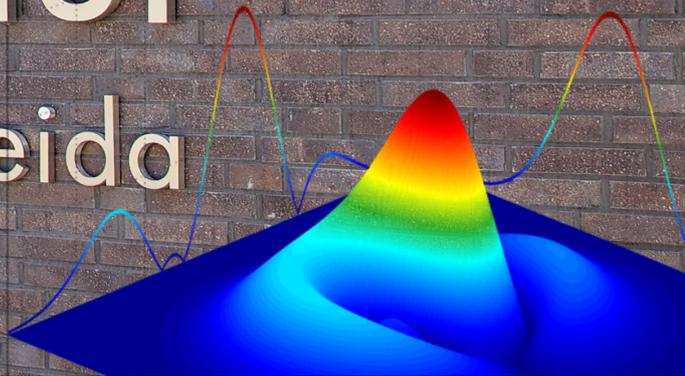




HOCHSCHULE  
MITTWEIDA

# Laserinstitut Hochschule Mittweida

$|E|$  in V/m



Abstracts

## 9. MITTWEIDAER LASERTAGUNG

19./20. November 2015 im Rahmen der 24. IWKM



Laserinstitut  
Hochschule Mittweida



# Inhaltsverzeichnis

---

## NANO/MIKROBEARBEITUNG

<b>Laser-Assisted Materials Processing for the Development and Production of Optimized Lithium-Ion Batteries</b> .....	1
Wilhelm Pflöging <sup>1,2</sup> , Melanie Mangang <sup>1</sup> , Peter Smyrek <sup>1,2</sup> , Johannes Pröll <sup>1,2</sup> <sup>1</sup> Karlsruhe Institute of Technology, <sup>2</sup> Karlsruhe Nano Micro Facility	
<b>Tailored Optical Fields and their Application in Ultrafast Laser-Materials Processing</b> .....	2
Jinglei Ouyang <sup>1</sup> , Yang Jin <sup>1</sup> , Olivier Allegre <sup>2</sup> , Walter Perrie <sup>1</sup> , Geoff Dearden <sup>1</sup> <sup>1</sup> Laser Group, School of Engineering, University of Liverpool <sup>2</sup> School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, The University of Manchester	
<b>Ultrakurzpuls Laserbearbeitung mit resonatorexterner Strahlformung durch deformierbaren Spiegel</b> .....	3
Marco Smarra, Klaus Dickmann Laserzentrum FH Münster	
<b>Lasermikrobearbeitung mit hochrepetierenden Ultrakurzpuls-Lasersystemen</b> .....	4
Jörg Schille, Lutz Schneider, Udo Löschner Laserinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Pulsed Laser Deposition of Multilayers of Nanometer Thick Metallic Films</b> .....	5
Steffen Weißmantel <sup>1</sup> , Johannes Maus <sup>1</sup> , Günter Reißer <sup>2</sup> <sup>1</sup> Laserinstitut Hochschule Mittweida, <sup>2</sup> Laserinstitut Mittelsachsen e.V.	
<b>Scribing of Cigs Thin Films for Integrated Interconnection of Solar Cells</b> .....	6
Martin Ehrhardt <sup>1</sup> , Pierre Lorenz <sup>1</sup> , Lukas Bayer <sup>1</sup> , Alexander Braun <sup>3</sup> , Jmurillo Gutierrez <sup>2</sup> , María del Rocio Arrazola Hermoso <sup>2</sup> , Klaus Zimmer <sup>1</sup> <sup>1</sup> Leibniz Institute of Surface Modification, <sup>2</sup> Abengoa Solar New Technology, <sup>3</sup> Solarion AG	
<b>New Approach for Laser Processing of Transparent Materials</b> .....	7
Michael Werner, Robin Zimny, Michael Grimm 3D-Micromac AG	
<b>Schmelzbadinstabilitäten während des Laserstrahlmikroschweißens von metallischen Folien</b> .....	8
Andreas Patschger <sup>1</sup> , Michael Seiler <sup>1</sup> , Jens Bliedtner <sup>1</sup> <sup>1</sup> Ernst-Abbe-Hochschule Jena, <sup>2</sup> Technische Universität Ilmenau	
<b>Laser Micro-Welding of Optical Materials</b> .....	9
Richard M. Carter, Jianyong Chen, Robert Thomson, Duncan Hand Applied Optics and Photonics Group, Heriot-Watt University, Edinburgh	
<b>Dekorative und funktionale Mikrostrukturen auf Oberflächen mittels Laserbearbeitung</b> .....	10
Christian Kreisel ACSYS Lasertechnik GmbH	
<b>Wavefront and Polarization Structuring for Shaping the Focal Fields of Ultrashort-Pulse Laser Beams</b> .....	11
Yang Jin <sup>1</sup> , Jinglei Ouyang <sup>1</sup> , Walter Perrie <sup>1</sup> , Geoff Dearden <sup>1</sup> , Olivier Allegre <sup>2</sup> <sup>1</sup> Laser Group, School of Engineering, University of Liverpool <sup>2</sup> School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, The University of Manchester	
<b>Meta-Modelling and Visualization of multi-dimensional Data</b> .....	12
Wolfgang Schulz Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD, RWTH Aachen University	
<b>Picosecond Laser Ablation of Materials used in Packaging of Electronic Components</b> .....	13
Robert Ernst <sup>1,2</sup> , Olaf Krimig <sup>2</sup> , Bianca Böttge <sup>1</sup> , Sandy Klengel <sup>1</sup> , Georg Hillrichs <sup>2</sup> <sup>1</sup> Fraunhofer Institute for Mechanics of Materials IWM <sup>2</sup> University of Applied Sciences Merseburg	

## HOCHRATE-LASERBEARBEITUNG

<b>Simulationsgestützte Analyse des Übergangs zwischen Laserstrahlschweißen und -abtragsschneiden</b> .....	14
Andreas Otto <sup>1</sup> , Robby Ebert <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik, TU Wien	
<sup>2</sup> Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida, Deutschland	
<b>Hochleistungs-Remote-Bearbeitung – Applikationen und Systemtechnik</b> .....	15
Jan Hauptmann <sup>1</sup> , Andreas Fürst <sup>2</sup> , Peter Rauscher <sup>1</sup> , Patrick Herwig <sup>1</sup> , Eckhard Beyer <sup>1,2</sup>	
<sup>1</sup> Fraunhofer IWS Dresden, <sup>2</sup> Technische Universität Dresden	
<b>Hochrate Micro Cladding – Oberflächenstrukturen durch schnellen und neuartigen Materialauftrag</b> .....	16
Martin Erler, Robby Ebert, Stefan Gronau, Matthias Horn, Sascha Klötzner, Horst Exner Laserinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Hochrate-Lasermikrobearbeitung</b> .....	17
Udo Löschner, Jörg Schille, Frank Ullmann, André Streek, Lars Hartwig, Sascha Klötzer Laserinstitut Hochschule Mittweida	
<b>3D-Oberflächenstrukturierung von Freiformflächen mit UKP Lasern</b> .....	18
Max Groenendijk Lightmotif B.V.	
<b>High Efficiency Laser Processing in Photovoltaic Industries</b> .....	19
Rico Böhme InnoLas Solutions GmbH	
<b>Polygonscantechnik für die Lasermikrobearbeitung</b> .....	20
André Streek, Sascha Klötzer Laserinstitut Hochschule Mittweida	
<b>New Production Tools for Energy-Efficient Joining Technology</b> .....	21
Klaus Krastel IPG Laser GmbH	
<b>Conventional and Laser Welding a Comparative Study: Mechanical and Corrosion Behavior Materials Welding Effect</b> .....	22
Ahmed .M. El-Aziz <sup>1,2</sup> , Wessam Sharaf <sup>1</sup> , Jan Drechsel <sup>3</sup> , Horst Exner <sup>3</sup>	
<sup>1</sup> German University in Cairo, <sup>2</sup> Department of Physical chemistry, <sup>3</sup> Hochschule Mittweida	
<b>Optimierung der Luftströmungsführung in Bearbeitungskabinen zum Remote-Laserstrahlschweißen</b> .....	23
Madlen Borkmann <sup>1</sup> , Achim Mahrle <sup>1</sup> , Andreas Wetzig <sup>1</sup> , Eckhard Beyer <sup>1,3</sup> , Jürgen Walter <sup>2</sup> , Christian Hennigs <sup>2</sup> , Michael Hustedt <sup>2</sup> , Stefan Kaierle <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik, <sup>2</sup> Laser Zentrum Hannover e.V., <sup>3</sup> TU Dresden	
<b>Innovativer gütegeschalteter CO<sub>2</sub> Hochleistungskurzpulslaser und neue cw CO<sub>2</sub> Laserfamilie</b> .....	24
Ingomar Krahl FEHA LaserTec GmbH	

## POSTERSESSION

<b>Femtosekundenlasermikrostrukturierung mittels Phasenmaskenprojektion unter Verwendung eines Spatial Light Modulators</b> .....	25
Alexander Kratsch, Frank Ehrenberg, Steffen Weißmantel Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Ripple-Bildung mittels Femtosekundenlaserstrahlung auf Oberflächen von Metallen und Hartstoffen</b> .....	26
Andy Engel, Manuel Pfeiffer, Steffen Weißmantel Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Laserdekontamination für den Rückbau kerntechnischer Anlagen</b> .....	27
Anton Philipp Anthofer, Wolfgang Lippmann, Antonio Hurtado Technische Universität Dresden	
<b>Picosecond and Nanosecond Laser Structuring of Cigse Solar Cells</b> .....	28
Christof Schultz <sup>1</sup> , Manuel Schüle <sup>1</sup> , Kamil Stelmaszczyk <sup>1,2</sup> , Moshe Weizman <sup>1</sup> , Christian Wolf <sup>2</sup> , Christian A. Kaufmann <sup>2</sup> , Björn Rau <sup>2</sup> , Rutger Schlatmann <sup>1,2</sup> , Frank Fink <sup>1</sup> , Bert Stegemann <sup>1</sup> <sup>1</sup> PVcomB / HTW Berlin - University of Applied Sciences <sup>2</sup> PVcomB / Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH	
<b>Lasermikrostrukturierung von TA-C mittels KRF-Excimerlaser</b> .....	29
Falko Jahn, Andy Engel, Steffen Weißmantel Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Reibwerterhöhende Funktionalisierung von Oberflächen mittels gepulster Laserstrahlung</b> .....	30
Frank Ullmann <sup>1</sup> , Lutz Schneider <sup>1</sup> , Jörg Schille <sup>1</sup> , Matthias Gräfensteiner <sup>2</sup> , Saskia Schiefer <sup>2</sup> , Marco Gerlach <sup>2</sup> , Erhard Leidich <sup>2</sup> , Horst Exner <sup>1</sup> <sup>1</sup> Lasereinstitut Hochschule Mittweida, <sup>2</sup> Technische Universität Chemnitz	
<b>Untersuchungen zum Übergang vom Laserstrahl-tiefschweißen zum Laserstrahlabtragschneiden bei Verwendung eines Hochleistungsfaserlasers</b> .....	31
F. Ullmann, R. Ebert, L. Hartwig, A. Thurm, T. Werner, U. Löschner, H. Exner Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Fundamental Studies on the Deposition of Nanocrystalline Diamond (n-D) Films by Means of Pulsed Laser Deposition (PLD) in Oxygen Atmosphere</b> .....	32
Hagen Grüttner, Steffen Weißmantel Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Laser Micro Structuring of Different Materials with Very Short Laser Pulses &lt; 35 fs in Comparison to Conventional USP Micromachining</b> .....	33
Hagen Grüttner, Steffen Weißmantel Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Highspeed Laser Ablation Cutting of Metal</b> .....	34
F. Ullmann, L. Hartwig, D. Szczepanski, J. Schille, S. Gronau, T. Knebel, J. Drechsel, R. Ebert, U. Loeschner, H. Exner Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>High-Speed Laser Welding with a 3 KW Single-Mode Fiber Laser</b> .....	35
J. Drechsel, U. Löschner, M. Wagner, J. Barth, J. Schille Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Systementwicklung und Untersuchungen zur Mikrobearbeitung mit femtosekunden Laserimpulsen</b> .....	36
Jürgen Müller, Christian Schindler, Jens Bliedtner Ernst-Abbe-Hochschule Jena	

<b>Femtosecond Selective Ablation of Thin Ito Fims on Glas Substrate .....</b>	<b>37</b>
Linda Pabst <sup>1</sup> , Walter Perrie <sup>2</sup> , Geoff Dearden <sup>2</sup> , Horst Exner <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Hochschule Mittweida, <sup>2</sup> Laser Group, School of Engineering, University of Liverpool	
<b>Femtosecond Laser Induced Periodic Surface Structures of Ito Thin Film on Glass Substrate .....</b>	<b>38</b>
Linda Pabst <sup>1</sup> , Walter Perrie <sup>2</sup> , Geoff Dearden <sup>2</sup> , Horst Exner <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Hochschule Mittweida	
<sup>2</sup> Laser Group, School of Engineering, University of Liverpool	
<b>Mikrostrukturierung von Quarzglas mittels Femtosekundenlaserstrahlung unterschiedlicher Wellenlängen .....</b>	<b>39</b>
Manuel Pfeiffer, Andy Engel, Steffen Weißmantel	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Superharte ta-C Schichten und Schichtstapel .....</b>	<b>40</b>
René Bertram, Maren Nieher, Manuela Hartwig, Steffen Weißmantel	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Simulation der Temperaturverteilungen in Gold und Platin infolge der Bestrahlung mit ultrakurzen Laserpulsen .....</b>	<b>41</b>
Markus Olbrich, Peter Lickschat, Lutz Schneider, Jörg Schille, Udo Löschner, Steffen Weißmantel, Alexander Horn	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Investigation of laser micro structuring of spintronic stack layers using a highly-repetitive femtosecond laser .....</b>	<b>42</b>
Mathias Mueller, Robby Ebert, Jörg Schille, Horst Exner	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Generierung von Sinterkörpern aus cermetartigem Pulvermaterial mittels Lasermikrosintern .....</b>	<b>43</b>
Matthias Horn, Robby Ebert, Horst Exner	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>CO<sub>2</sub>-Laserglättung von diffraktiven Phasenelementen in Quarzglas .....</b>	<b>44</b>
Michael Pfeifer, Sebastian Büttner, Steffen Weißmantel	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Mikrostrukturierung von Stahl mit Pikosekundenlaserpulsen im Burst-Modus .....</b>	<b>45</b>
Peter Lickschat, Steffen Weißmantel	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Einzelpulsabtrag von Metallschichten mit ultrakurzen Laserpulsen unterschiedlicher Pulsdauer .....</b>	<b>46</b>
Peter Lickschat, Jörg Schille, Markus Olbrich, Lutz Schneider, Alexander Horn, Steffen Weißmantel	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Untersuchungen zur Lasermikrostrukturierung unter Nutzung unkonventioneller Strahlformung .....</b>	<b>47</b>
Isabel Berthold, Markus Olbrich, Robby Ebert, Horst Exner	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Untersuchungen zur hochaufgelösten Innenbearbeitung von Glas .....</b>	<b>48</b>
Isabel Berthold, Jana Kubistova, Robby Ebert, Horst Exner	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Aufbau und Untersuchung einer Verzögerungsstrecke für die Doppelpuls-Laserablation mit ultrakurzen Pulsen .....</b>	<b>49</b>
Sebastian Kraft, Jörg Schille, Lars Hartwig, Lutz Schneider, Udo Löschner, Horst Exner	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Schnelles Laserlöten von Zellverbindern .....</b>	<b>50</b>
Sebastian Weinhold, Robby Ebert, Horst Exner	
Lasereinstitut Hochschule Mittweida	

<b>Strukturierung von Zellverbindern durch Schmelzumlagerung</b> .....	51
Sebastian Weinhold <sup>1</sup> , Robby Ebert <sup>1</sup> , Martin Kutzer <sup>2</sup> , Horst Exner <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Laserinstitut Hochschule Mittweida	
<sup>2</sup> Solarworld Innovations GmbH	
<b>Auftrag von hochfesten Aluminidschichten auf Aluminium-Werkstoffe durch Laserauftragschweißen</b> .....	52
Stefan Gronau <sup>1</sup> , Thomas Scherzberg <sup>2</sup> , Robby Ebert <sup>1</sup> , Gunter Leonhardt <sup>3</sup> , Horst Exner <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Laserinstitut Hochschule Mittweida	
<sup>2</sup> BECKMANN-INSTITUT für Technologieentwicklung e.V.	
<sup>3</sup> ProCon GmbH, Annaberger Straße 240, 09125 Chemnitz	
<b>Erzaufschluss mittels Lasertechnologie</b> .....	53
Stefan Mauersberger, Lutz Schneider, André Streek	
Laserinstitut Hochschule Mittweida	
<b>Finden und Ausnutzen der Dynamikgrenzen von scannenden Strahlformungssystemen</b> .....	54
Thomas Kimme, Hans-Michael Ochlich, Benjamin Quellmalz	
LASERVORM GmbH	
<b>Untersuchungen zur laserinduzierten Erzeugung von Mikrokavitäten in PMMA</b> .....	55
Tina Viertel <sup>1</sup> , Markus Olbrich <sup>1</sup> , Robby Ebert <sup>1</sup> , Jens Bliedtner <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> Laserinstitut Hochschule Mittweida, <sup>2</sup> Ernst-Abbe-Hochschule Jena	

# **LASER-ASSISTED MATERIALS PROCESSING FOR THE DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF OPTIMIZED LITHIUM-ION BATTERIES**

Wilhelm Pfleging<sup>1,2</sup>, Melanie Mangang<sup>1</sup>, Peter Smyrek<sup>1,2</sup>, Johannes Pröll<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karlsruhe Institute of Technology (KIT), IAM-AWP, P.O. Box 3640, 76021 Karlsruhe, Germany

<sup>2</sup> Karlsruhe Nano Micro Facility, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Egg.-Leopoldshafen, Germany

Laser materials processing in manufacturing of Li-ion batteries is a rather new technological approach which enables rapid manufacturing, high reliability and a reduction of production costs. Laser cutting and welding processes for batteries are already available for advanced industrial production. Laser microstructuring of battery materials has a huge impact on battery performance and an up-scaling for industrial production is investigated. Advanced laser generated 3D surface architectures in battery materials improve Li-ion diffusion kinetics. This design concept can be applied for thin film microbatteries as well as for high power thick film Li-ion batteries. Due to optimized laser processing a significant improvement of electrode and separator wetting with liquid electrolyte can be achieved. Both, the improve of Li-ion-diffuison kinetics and the turn of battery materials to superwicking, deliver advanced battery performances. Electrochemical analysis showed that a steep rise of capacity retention at high charging and discharging currents and an improved cell life-time can be obtained in comparison to standard cells with unstructured battery materials.

# TAILORED OPTICAL VECTOR FIELDS AND THEIR APPLICATION IN ULTRAFAST LASER-MATERIALS MICRO-STRUCTURING

Jinglei Ouyang<sup>1</sup>, Olivier Allegre<sup>2</sup>, Yang Jin<sup>1</sup>, Walter Perrie<sup>1</sup> and Geoff Dearden<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) School of Engineering, University of Liverpool, L69 3GH, UK

<sup>2</sup>) School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, The University of Manchester, M13 9PL, UK

Laser beams with a space-variant electric field orientation and amplitude are referred to as vector optical fields and can be created using both Spatial Light Modulators (SLM's) and nano-structured waveplates. Radial and Azimuthal polarisations are extreme examples of these interesting states which have polarisation singularities at their centre. Their superpositions result in electric fields displaying logarithmic spirals. We use ultrafast laser induced periodic surface micro-structuring to elucidate and confirm these and other vector fields when micro-structuring metal surfaces. We will also demonstrate complex real time surface patterning when combining an SLM and nano-structured waveplate. These micro-structures may have useful industrial and medical applications.



Fig.1 Spiral electric field micro-structuring on stainless steel

# ULTRAKURZPULS LASERBEARBEITUNG MIT RESONATOREXTERNER STRAHLFORMUNG DURCH DEFORMIERBAREN SPIEGEL

Marco Smarra, Klaus Dickmann

Laserzentrum FH Münster, Stegerwaldstraße 39, D-48565 Steinfurt

Die Laserbearbeitung mittels ultrakurzer Laserpulse ermöglicht eine präzise Bearbeitung von kleinen Strukturen. Ein Fokus bei der Entwicklung der Strahlquellen ist die Steigerung der Pulsenergien. Da aber längst nicht alle Prozesse effizienter werden, wenn eine höhere Pulsenergie genutzt wird, steigt auch der Bedarf an angepassten Strahlformen. Deformierbare Spiegel füllen dabei eine Lücke aus hoher Flexibilität und hoher Umwandlungseffizienz, gegenüber starren Linsensystemen oder SLMs. Diese Studie zeigt, wie mittels eines deformierbaren Spiegels der Strahl eines Pikosekundenlasers geformt werden kann und wie sich dieser geformte Strahl auf die bestrahlte Oberfläche auswirkt. Eine mögliche Anwendung dieser Technik, ist der Einsatz als Fokuspulsführung. Es werden die Ergebnisse von Ablationsuntersuchungen einer Fokuspulsführung mittels des Spiegels und einer manuellen Fokuspulsführung gegenübergestellt.

Using ultra-short laser pulses offers the possibility for the generation of precise microstructures. Current investigations focus on high pulse energies. The use of adaptive beam shapes offer the possibilities to use this high pulse energies, because the efficiency of a process is not automatically increasing by a higher pulse energy. Using a deformable mirror allows to combine the features of lenses or SLMs: It can transform the whole incident beam energy with a high flexibility. This study demonstrates the possibilities of beam shaping using a deformable mirror. The generation of different spot geometries and its influence on the ablation results were investigated. A possible field of application is the use as a focus shift. The ablation results of a focus shift realized by a mirror to those by a translation axis were compared.

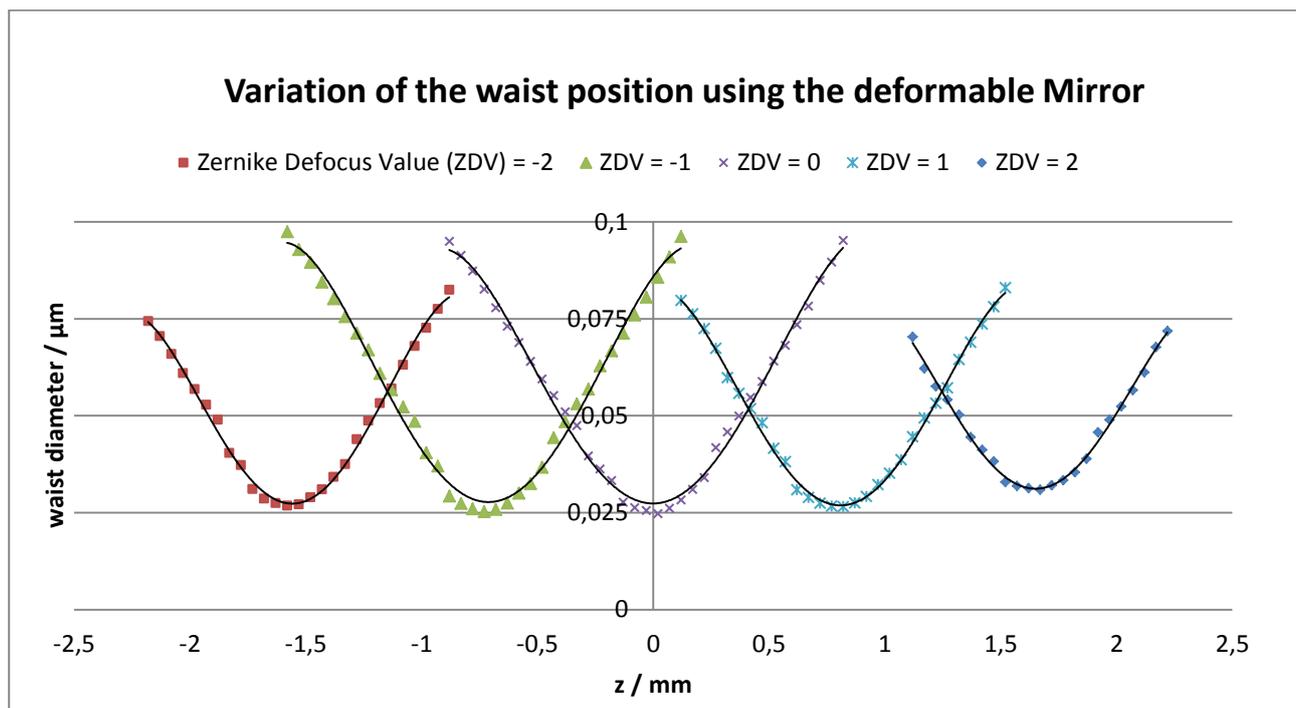


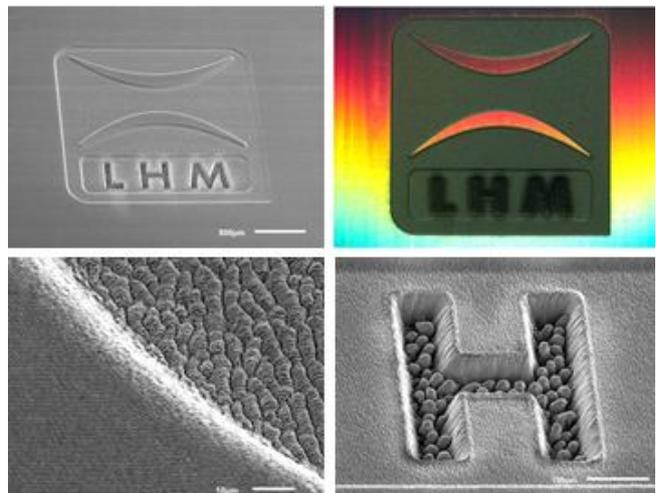
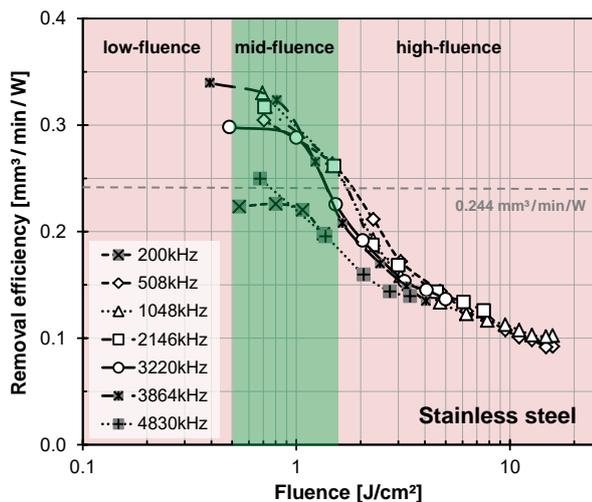
Abbildung 1: Strahlanalyse hinsichtlich der Fokusvariation mittels deformierbaren Spiegel: Eine sphärische Verformung des Spiegels wurde genutzt, um die Fokuslage zu beeinflussen. Durch die Aufnahme der Strahlkaustik wurde die verschobene Strahltaile ermittelt. Die Variation der Fokuslage hat dabei nur einen geringen Einfluss auf den minimal erreichbaren Fokusedurchmesser.

# LASERMIKROBEARBEITUNG MIT HOCHREPETIERENDEN ULTRAKURZPULS-LASERSYSTEMEN

Jörg Schille, Lutz Schneider, Udo Löschner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Die Ultrakurzpuls-Lasertechnologie hat sich aufgrund hervorragender Strahleigenschaften bereits in vielen Bereichen der Mikrobearbeitung etabliert. Mit der Verfügbarkeit von hochrepetierenden Ultrakurzpuls-Laserstrahlquellen hoher mittlerer Leistung steht nun auch für eine Vielzahl industrieller Anwendungen ein leistungsfähiges Werkzeug bereit, das die Vorteile ultrakurzer Pulse hinsichtlich Präzision, Genauigkeit und Effizienz mit dem Anspruch nach kurzen Prozesszeiten vereint. Erste Ergebnisse zur hochrepetierenden Ultrakurzpuls-Laserbearbeitung zeigen aber auch, dass neuartige, für ultrakurze Pulse bisher nicht bekannte Effekte den Bearbeitungsprozess beeinflussen; dazu zählen Wärmeakkumulation oder die Wechselwirkung nachfolgender Pulse an der noch im Laserstrahlwirkbereich befindlichen Materialdampf- bzw. Plasmawolke. Als ein weiteres Phänomen wurden durch Selbstorganisation entstandene periodischen Mikro-/Nanostrukturen beobachtet, deren Form und Größe gezielt durch die gewählten Bearbeitungsparameter beeinflusst werden können. Zum weiteren Verständnis und Aufklärung dieser Mechanismen, aber auch um geeignete Prozessfenster für das Mikroabtragen abzuleiten, wurden in der Vergangenheit am Laserinstitut Hochschule Mittweida verschiedene Ultrakurzpuls-Laserstrahlquellen mit sich ergänzenden Strahleigenschaften untersucht. Anhand der erzielten Ergebnisse werden in dieser Arbeit der Einfluss von Fluenz, Pulswiederholrate, mittlere Laserleistung aber auch von Pulsdauer und Wellenlänge auf die Abtrage, Abtrageeffizienz, erreichbarer Volumenabtrag pro Zeit sowie die Bearbeitungsqualität diskutiert. An ausgewählten Bearbeitungsbeispielen wird dabei das Potenzial hochrepetierender Ultrakurzpuls-Laserstrahlquellen zum schnellen 3D-Abtragen demonstriert. Ein weiteres zukunftsträchtiges Anwendungsfeld erschließt sich dieser innovativen Technologie in der gezielten Oberflächenfunktionalisierung. Dazu werden mikro-/nanoskalige Oberflächentexturen präsentiert, mit denen optische und tribologische Eigenschaften oder das Benetzungsverhalten gezielt beeinflusst werden können.



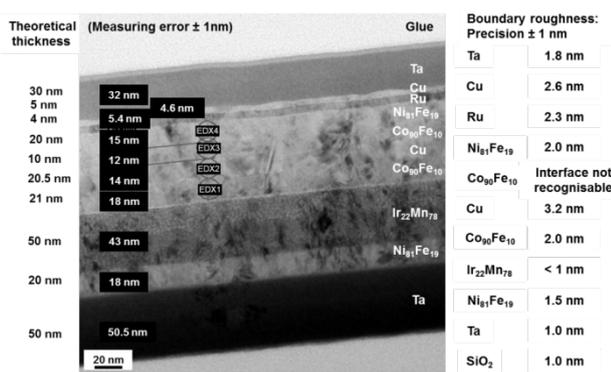
**Abb.1** links: Erreichte Abtrageeffizienz beim Laserabtragen von Edelstahl mit einem Femtosekundenlaser; rechts: Rasterelektronen-Mikroskopie-Aufnahme eines 3D-Abtrages mit unterschiedlicher mikro-/nanoskaliger Oberflächentexturierung sowie deren optischen Wirkung unter Weißlichtbestrahlung.

# PULSED LASER DEPOSITION OF MULTILAYERS OF NANOMETER THICK METALLIC FILM

S. Weissmantel, J. Maus, G. Reisse

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz  
17, D-09648 Mittweida

The aim of the investigations was the preparation of multilayer systems designed for spintronic applications by means of pulsed laser deposition using a KrF excimer laser of 248 nm wavelength for ablation. The dependence of rate and angular distribution of ablated species per pulse on laser parameters was measured for each material. Based on the results, the relative motion of the ablation spot on the target and substrate necessary for the homogeneous deposition of films on 4'' substrates was calculated and experimentally realised. The laser parameters were optimised with regard to minimal surface roughness and droplet density. Multilayers were then prepared and characterised by cross-sectional TEM with respect to exactness of layer thickness and roughness of layer boundaries. In the final part of the talk, a novel UHV deposition system will be presented.



Cross-sectional TEM image of a multilayer with 10-fold thickness and the measured peak-to-valley boundary roughnesses.

# SCRIBING OF CIGS THIN FILMS FOR INTEGRATED INTERCONNECTION OF SOLAR CELLS

G Martin Ehrhardt<sup>1</sup>, Pierre Lorenz<sup>1</sup>, Alexander Braun<sup>3</sup>, Jmurillo Gutierrez<sup>2</sup>, María del Rocio Arrazola Hermoso<sup>2</sup>, and Klaus Zimmer<sup>1</sup>

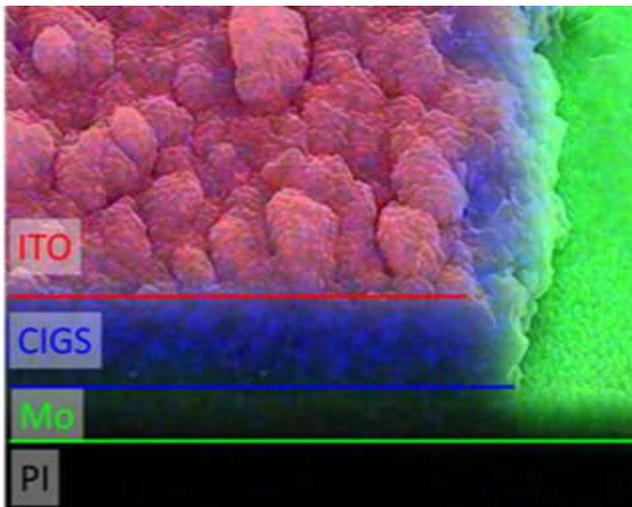
<sup>1</sup> Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e. V., Permoserstraße 15,  
04318 Leipzig, Germany

<sup>2</sup> Abengoa Solar New Technology, Soland Center - Sanlúcar, Spain

<sup>3</sup> Solarion AG, Pereser Höhe 1, 04442 Zwenkau, Germany

Thin-film solar cells (TFSCs) hold still a potential for attaining both high efficiency and low manufacturing costs. In particular, copper-indium-gallium (di)selenide (Cu(InGa)Se<sub>2</sub> (CIGS) enables the fabrication of high-efficient photoelectric devices. However, for the mass production of integrated modules fast, reliable, and high-quality scribing processes with laser are requested. Laser technology is one key technology for the development of technologies to be competitive with the silicon solar modules.

The presentation will give an introduction to the CIGS solar cell technology on flexible substrates and discuss approaches of integrated interconnection with laser scribing technologies. The experimental evaluation of two different laser scribing approaches will be presented that are basing on laser ablation of the thin film or a shock wave-induced delamination mechanism. The morphology of the laser scribes and the interfaces, the electrical properties of the laser scribed films and the mechanisms of the patterning process will be shown and discussed.



SEM/EDX-image of the edge of a laser scribe and the FIB-cross section of a CIGS-solar cell.

# NEW APPROACH FOR LASER PROCESSING OF TRANSPARENT MATERIALS

Michael Werner, Robin Zimny, Michael Grimm  
3D-Micromac AG, Technologie-Campus 8, 09126 Chemnitz, Germany

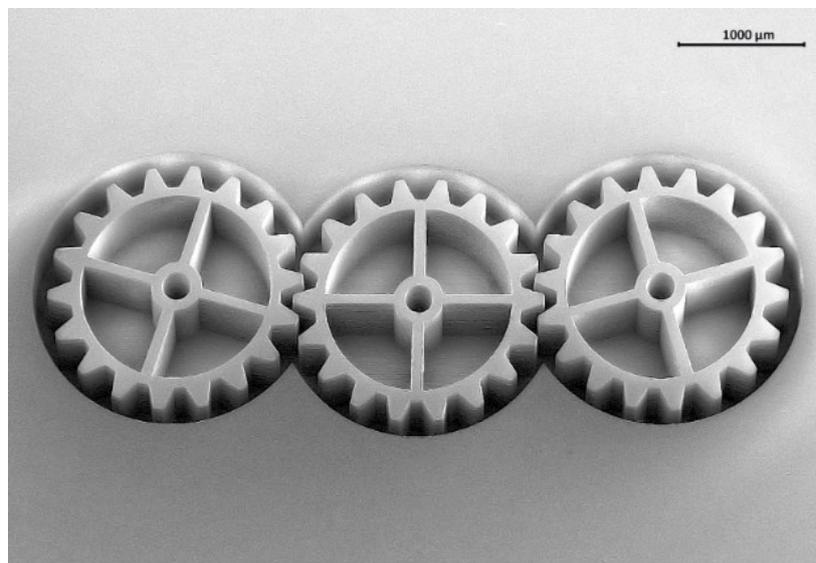
---

## Abstract

The classical way of processing materials using laser ablation with galvanometer scanners or other optical elements limits the possible structures and geometries of features and parts. Holes without taper or other structures such as trenches with rectangular profile are hardly possible to machine.

In this paper 3D-Micromac AG presents a novel laser micromachining method for transparent materials using ultra short pulsed lasers. With this new method the described limits can be overcome. Structures like taper-free or negative taper walls can be achieved with very high aspect ratios. Typical dimensions of those structures are in range of a few 10 microns up to a few 100 microns. This type of structures are interesting as inkjet or other fluidic nozzles, for friction reducing surfaces or as casting moulds for polymer parts for life science and medical applications. Furthermore, laser machined micro parts like micro gears are presented. Such parts are of interest for micro drives, pumps for micro fluidics and other upcoming applications.

---



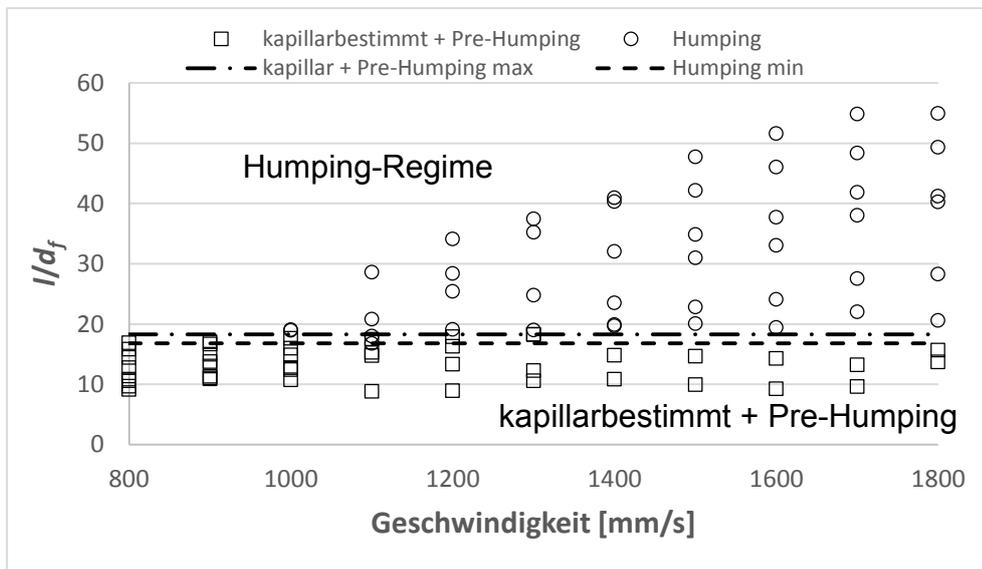
The picture shows a 3D structure made with the new approach as an example.

# SCHMELZBADINSTABILITÄTEN WÄHREND DES LASERSTRAHL-MIKROSCHWEISSENS VON METALLISCHEN FOLIEN

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

Während des Laserstrahl-Mikroschweißens von metallischen Folien zum Aufbau von Vakuum-Isolations-Paneelen oder Wärmetauscherstrukturen können aufgrund des Einsatzes von hochbrillanten Strahlquellen und schnellen Strahlableitungen große Vorschubgeschwindigkeiten erzielt werden. Dabei begrenzt das Auftreten des Humping-Effekts mit unerwünschten Nebeneffekten wie Randkerbenbildung und Nahtimperfectionen bei einer kritischen Vorschubgeschwindigkeit die Produktivität. Gegenstand dieser Arbeit ist die Charakterisierung der Abhängigkeit der kritischen Geschwindigkeit von Leistung, Materialstärke, Fokusbildung und Werkstoffeigenschaften. Mithilfe der Hochgeschwindigkeitsvideografie und Mikroschliffen können die genannten Abhängigkeiten auf Basis der Rayleigh-Plateau-Instabilität eines zerfallenden Flüssigkeitsstrahls bestimmt und durch das Verhältnis von Schweißbadlänge zum Fokusbildungsdurchmesser klassifiziert werden. Dadurch ist es möglich, ein Zerfallskriterium für die Schmelzbadinstabilitäten im Mikroschweißen zu definieren.

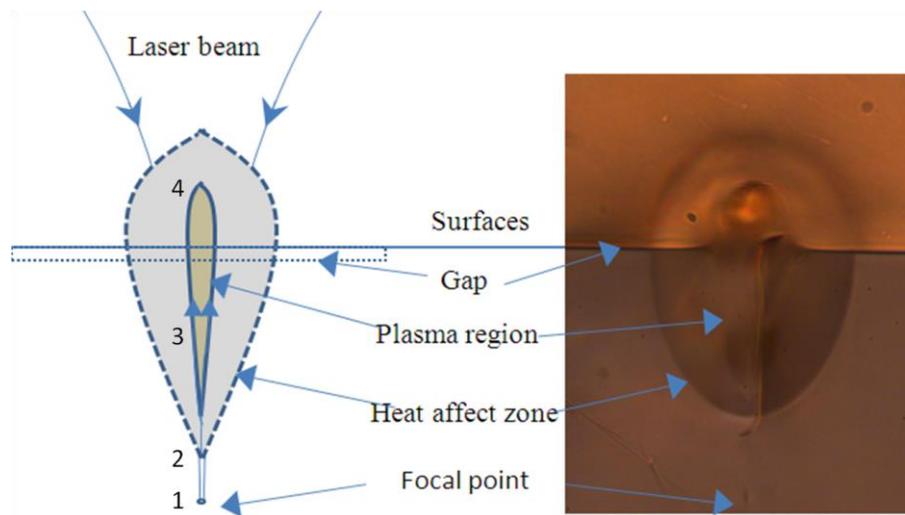
Kurzfassung mit maximal 10 Zeilen.



## LASER MICRO-WELDING OF OPTICAL MATERIALS

Richard Carter, Jaiyong Chen, Robert Thomson, Duncan Hand  
Heriot-Watt University, Edinburgh EH14 4AS UK

Micro manufacturing is often limited by the capacity to effectively join components together in a reliable fashion. Conventional methods based on interlayers (glue, solder, frit etc.) often involve uncertainty in the final joined position or strength, or age badly due to creep and/or out-gassing. There is therefore a clear requirement for a joining technique without the need for interlayers. One advantage of using an ultrafast laser pulse lies in the ability to precisely control the location of the absorption region within transparent materials. When such a pulse is focused inside a transparent material non-linear absorption will occur at the focus. This creates a small heat affected zone (typically on the order of 10-100 $\mu\text{m}$ ) which can be highly localized to the material join. By melting, or micro plasma generation, the material can be joined together and any gaps filled. When welding an opaque material to a transparent material the absorption is instead linear, and occurs at the material interface. While this increases the heat affected zone slightly it also reduces the required precision in placing the interface at the focal plane. In this paper we present recent results on welding of glass to glass, and also glass to metals, including an investigation of the fit-up requirements that must be satisfied.



**Fig. 1:** Diagram of welding seam of two surfaces (the picture shows borosilicate glass with N-BK7, 1.51 W, 2 mm s<sup>-1</sup>).

# DEKORATIVE UND FUNKTIONALE MIKROSTRUKTUREN AUF OBERFLÄCHEN MITTELS LASERBEARBEITUNG

Christian Kreisel

ACSYS Lasertechnik GmbH, Leipziger Str. 37, D-09648 Mittweida

Die ACSYS Lasertechnik GmbH bietet neben innovativen Laserbearbeitungsanlagen ein laserbasiertes Verfahren, welches Strukturmerkmale auf Oberflächen zufällig aber reproduzierbar aufbringen kann. Diese Strukturmerkmale, im einfachsten Fall Punkte oder Linien, können sowohl den Nutzen der reinen Dekoration sowie die Verschlüsselung und Einbringung von Informationen auf der Oberfläche haben als auch gezielt die Wechselwerkeigenschaften der Oberfläche mit anderen Materialien und Bauteilen beeinflussen. So ist es beispielsweise möglich bei spanenden Werkzeugen das Abgleiten des Spans auf der Spanfläche zu beeinflussen. In einem Forschungsprojekt mit dem FB Maschinenbau der HSMW konnten bei strukturierten Drehwerkzeugen eine signifikante Reduzierung der am Werkzeug herrschenden Kräfte nachgewiesen werden. Erhöhung der Standzeit, Verringerung des Materialeinsatzes und die daraus resultierende Kosten- und Ressourceneffizienz sowie die Personalisierung der eigenen Produkte sind die Vorteile des Verfahrens.

In addition to its innovative machines for laser material processing ACSYS Lasertechnik GmbH provides a laser based method to apply structural features to surfaces in a completely randomized but reproducible way. These structural features, in simplest case dots or lines, may have the use of decoration or coding of information on the surface. They also can change the interaction properties of the surface to other materials or components. In machining processes for example it is possible to change the glance of metal flakes from the tool surface. A research project in collaboration with the faculty of mechanical engineering at the University of Mittweida proved a significant reduction of the acting forces at turning tools. Increase of life, decrease of used materials and the resulting efficiency of costs and resources as well as the branding of products are the big advantages of this method.



Quelle: ACSYS Lasertechnik GmbH; 2015

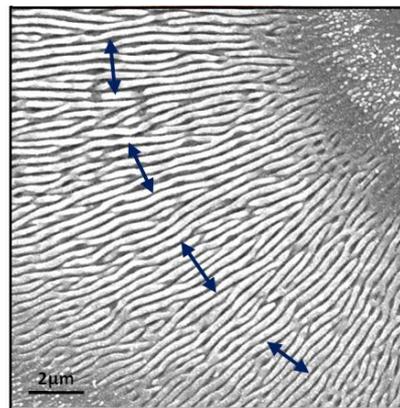
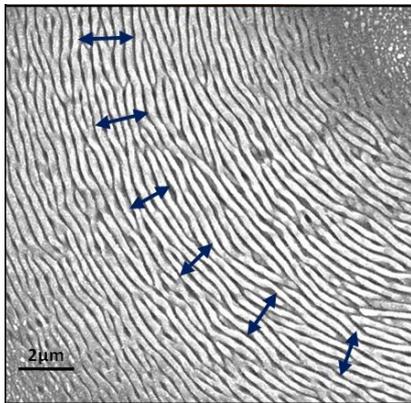
# WAVEFRONT AND POLARIZATION STRUCTURING FOR SHAPING THE FOCAL FIELDS OF ULTRASHORT-PULSE LASER BEAMS

Y Jin<sup>1</sup>, J Ouyang<sup>1</sup>, W Perrie<sup>1</sup>, G Dearden<sup>1</sup> and O J Allegre<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Laser Group, School of Engineering, University of Liverpool, L69 3GQ, UK

<sup>2</sup> School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, The University of Manchester, M13 9PL, UK

This paper investigates how structuring both the wavefronts and polarization can be used to shape the focal fields of ultrashort-pulse laser beams. Two Spatial Light Modulators in series are integrated within an industrial picosecond-pulse laser system and used to structure the beam vector fields, so as to produce a radial or azimuthal polarization with planar or vortex phase wavefronts, as well as induce Computer Generated Holograms (CGH). A detailed analysis of the focused vector fields is presented. Gentle surface ablation of highly polished metal samples is used to imprint Laser Induced Periodic Surface Structures (LIPSS) within the ablated areas. Thanks to their polarization dependent properties, LIPSS provide a direct means to visualize the polarization vectors in the focal region and highlight how shaping the wavefronts allows to control the focal fields of radially and azimuthally polarized beams. For the first time, simultaneous ablation with diffractive parallel beams polarized radially and azimuthally is demonstrated.



## 9. Mittweidaer Laser Congress (MLT) in the context of the 24th International Conference Mittweida (IWKM)

### Meta-Modellierung und Darstellung Höherdimensionaler Daten Meta-Modelling and Visualization of multi-dimensional Data

Wolfgang Schulz

#### Abstract

In production industries, parameter identification, sensitivity analysis and multi-dimensional visualization are currently highly prioritized steps in the planning process for achieving optimal designs and getting the operator as well as the developer more skilled. Fast and Frugal reduced models, namely avoiding unnecessary complexity, generate millions of simulation results very fast and thereby enables Meta-Modelling, namely continuous multi-dimensional relations between parameters and the criteria. Sensitivity analysis and visualization can help in identifying the most-influential parameters and quantify their contribution to the model output, further reduces the complexity of the Meta-Model, and enhance the understanding of the solution structure. Typically, this requires a large number of simulations, which can be both very expensive and time consuming when the simulation models are numerically complex and the number of parameter inputs increases. There are three main constituent parts in this work. The first part is to substitute the numerical, physical model by an accurate reduced model, to provide data for and finally generate the so-called Meta-Model interpolating the original data. The second part includes a multi-dimensional visualization approach for the visual exploration of Meta-Models. In the third part, the Meta-Model is used to provide the two global sensitivity measures: i) the Elementary Effect for screening the parameters, and ii) the variance decomposition method for calculating the Morse-Smale Complex as well as the Sobol indices that quantify extremal pathes in parameter space and main as well as interaction effects. The application of the proposed approach is illustrated with an industrial application with the goal of optimizing a drilling process with respect to criteria characterizing the hole shape.

## PICOSECOND LASER ABLATION OF MATERIALS USED IN PACKAGING OF ELECTRONIC COMPONENTS

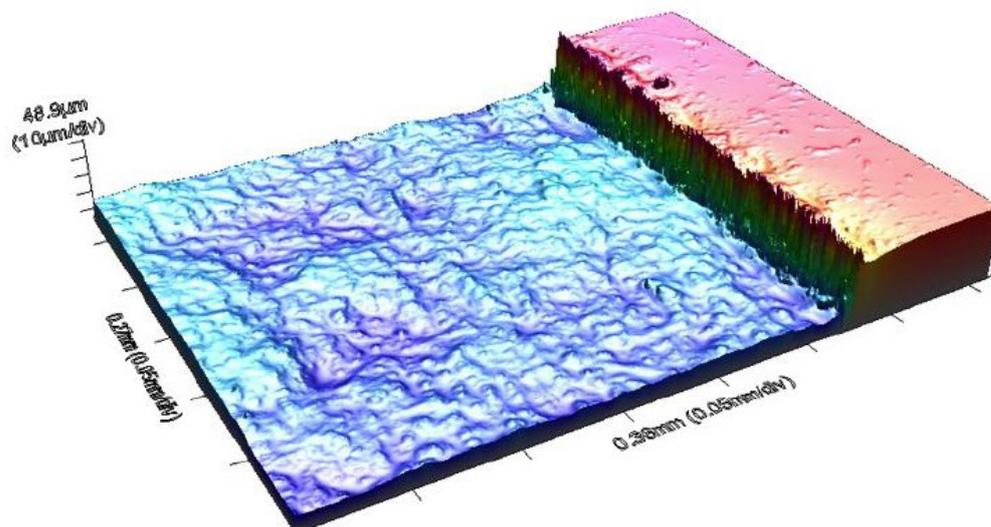
Robert Ernst<sup>1,2</sup>, Olaf Krimig<sup>2</sup>, Bianca Böttge<sup>1</sup>, Sandy Klengel<sup>1</sup>, Georg Hillrichs<sup>2</sup>

1: Fraunhofer Institute for Mechanics of Materials IWM, Walter Hülse-Straße 1, D-06120 Halle

2: University of Applied Sciences Merseburg, Eberhard-Leibnitz-Straße 2, D-06217 Merseburg

Failure Analysis of integrated electronic devices or microsystems often requires the selective removal of molding materials. Established mechanical methods or chemical removing are limited due to new particle filled packaging materials or gel coatings. Standard routines are normally damaging embedded structures like Cu and Al wire bonds which have to be avoided. Conventional laser ablation of packaging materials uses mainly nanosecond lasers. These laser types have a risk for influencing the microstructure of metals and their intermetallics caused by heat. From many other laser micro processing applications it is known that heat affected zones can be reduced by using ps- or fs-laser pulses. Also the size of the ablated volume can be controlled more precisely. However, the knowledge of ablation thresholds of the electronic and packaging materials for ultrashort laser pulses is important for the control of the decapsulation process. In our study we determined several ablation thresholds for ps laser decapsulation with 355 nm and 1064 nm wavelength and discuss the potential of ps-decapsulation for molding materials in electronic packaging.

Für die Fehleranalyse von integrierten elektronischen Bauteilen oder Mikrosystemen müssen oft die Vergussmassen selektiv entfernt werden. Etablierte mechanische oder chemische Methoden stoßen bei modernen Moldmaterialien oder Gelschichten an ihre Grenzen und führen häufig zu Beschädigungen eingebetteter Strukturen wie Cu- oder Al-Bonddrähte, die vermieden werden müssen. Konventionelle Laserabtragung wird vor allem mit Nanosekundenlasern durchgeführt. Die Verwendung solcher Laser bringt das Risiko der Veränderung der Mikrostruktur der Metalle oder der intermetallischen Phasen durch Wärmeeintrag mit sich. Von anderen Bearbeitungsprozessen ist bekannt, dass die Wärmeeinflusszone durch Verwendung von ps- oder fs-Laserpulsen reduziert werden kann. Außerdem kann das pro Laserpuls abgetragene Volumen besser kontrolliert werden. Die Kenntnis der ps-Ablationsschwellen ist nötig, um die Freilegung der Strukturen kontrolliert durchführen zu können. Wir haben einige Ablationsschwellen für die ps-Laser Dekapsulation mit 355 nm und 1064 nm bestimmt und diskutieren das Potenzial dieser Dekapsulationsmethode.



Picosecond laser ablation (355 nm) of a silicone gel coating layer down to a defined depth

# SIMULATIONSGESTÜTZTE ANALYSE DES ÜBERGANGS ZWISCHEN LASERSTRAHLSCHWEIßEN UND - ABTRAGSSCHNEIDEN

Andreas Otto<sup>1</sup>, Robby Ebert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik, Getreidemarkt 9, A-1060 Wien

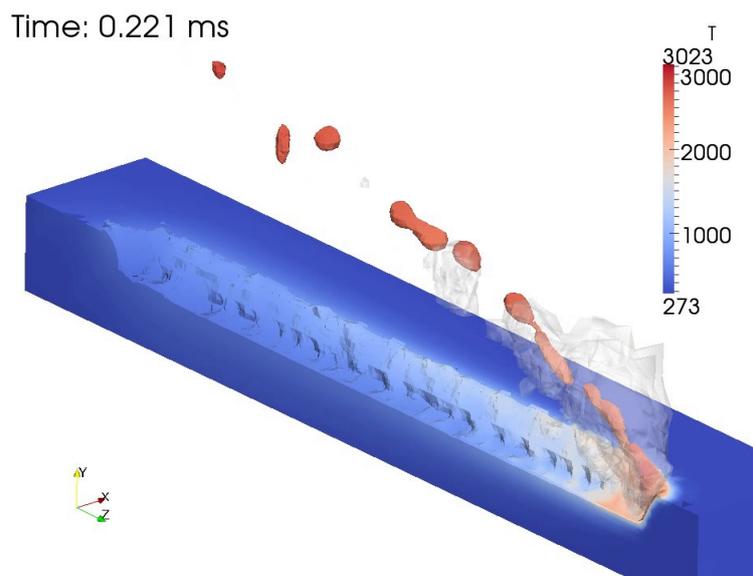
<sup>2</sup>Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Das Laserstrahlabtragsschneiden ist ein Remote-Schneidverfahren, bei dem die Schmelze im Bereich der Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl und Werkstück aufgrund der laserinduzierten Verdampfung so stark beschleunigt wird, dass sie ohne zusätzliche Gasströmung aus dem Werkstück herausgeschleudert wird. Dieser Prozess findet bei hohen Laserstrahlintensitäten und Vorschubgeschwindigkeiten statt. Wird eine bestimmte minimale Vorschubgeschwindigkeit unterschritten, verbleibt die Schmelze im Werkstück und der Prozess geht in einen Tiefschweißprozess über.

Im vorliegenden Beitrag werden die zugrundeliegenden fluiddynamischen Mechanismen mit Hilfe eines multiphysikalischen Simulationsmodells analysiert. Zudem werden die Simulationsergebnisse mit experimentellen Ergebnissen sowohl qualitativ als auch quantitativ verglichen.

Laser ablation cutting is a remote cutting process where the melt in the interaction zone between laser and work piece is strongly accelerated due to laser-induced evaporation. Thus the melt is ejected without an additional gas jet. This process takes place at high laser intensities coupled with high feed rates. Below a certain minimal feed rate the melt remains within the work piece and the process transitions into deep penetration welding.

Within this contribution the underlying fluid dynamical mechanisms will be analysed by means of a multi-physical simulation model. Additionally simulation results and experimental results will be compared both qualitatively and quantitatively.



Simulation des Laserstrahlabtragsschneidens  
Simulation of laser ablation cutting

## HOCHLEISTUNGS-REMOTE-BEARTEITUNG – APPLIKATIONEN UND SYSTEMTECHNIK

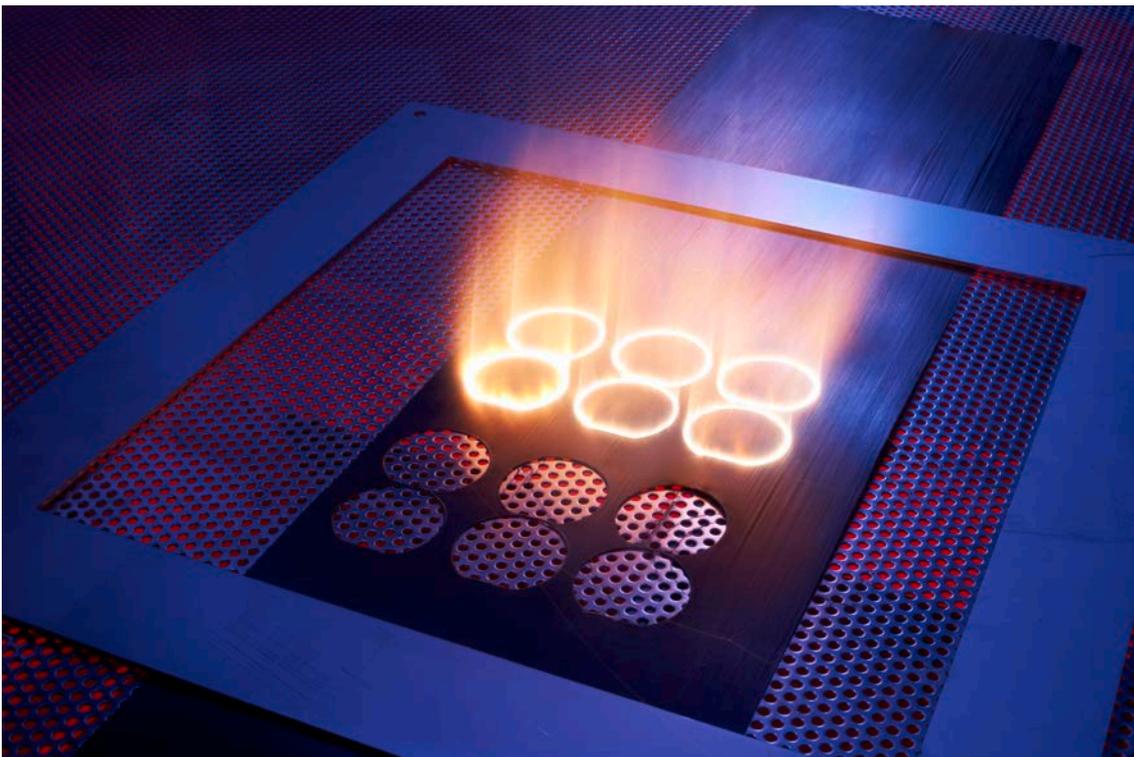
Jan Hauptmann<sup>1</sup>, Andreas Fürst<sup>2</sup>, Peter Rauscher<sup>1</sup>, Patrick Herwig<sup>1</sup>, Eckhard Beyer<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fraunhofer IWS Dresden, Winterbergstraße 28, 01277 Dresden

<sup>2</sup>Technische Universität Dresden, Mommsenstraße 9, 01069 Dresden

Die Verfügbarkeit von Hochleistungsfestkörperlasern hoher Brillanz eröffnet auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung neue Möglichkeiten. Bisher nicht schweißbare Werkstoffkombinationen können gefügt werden. Die Qualität des Laserschnittes kann verbessert werden. Die Produktivität insbesondere trennender Verfahren wird signifikant erhöht. Die Präsentation gibt einen Überblick aktueller Entwicklungen am Fraunhofer IWS auf dem Gebiet der Remotebearbeitung mit cw-Hochleistungslasern. Anhand ausgewählter Anwendungen wird das Zusammenwirken von Entwicklungen der Systemtechnik und sich daraus ergebender neuer Möglichkeiten der Lasermaterialbearbeitung aufgezeigt. Die hochfrequente Strahloszillation bzw. -formung im Kilohertzbereich findet Anwendung beim Fügen und Trennen von Metallen. Bearbeitungsgeschwindigkeiten von einigen m/s bis hin zu 300 m/s werden beim Trennen von Faserverbundwerkstoffen und zur Wärmebehandlung genutzt. Neue Konzepte zur hochfrequenten Strahlableitung werden heutige Limitierungen aufheben.

The availability of brilliant high power solid state laser sources opens up new possibilities in the field of laser material processing. So far not weldable material combinations are now joinable. The quality of laser cuts can be improved. The productivity of cutting technologies can be boosted. The presentation will give an overview of actual developments at the fraunhofer IWS in the field of remote processing with cw-high power lasers. By means of dedicated application the interaction of systems development and hence new possibilities of laser material processing will be pointed out. The high frequency beam oscillation resp. shaping in the kilo hertz range will be utilized for joining and cutting of metals. Processing speeds of some m/s up to 300 m/s are used for cutting of fiber reinforced materials and for heat treatment. New concepts for high frequency beam deflection will remove existing limitations in future.



# HOCHRATE MICRO CLADDING – OBERFLÄCHENSTRUKTUREN DURCH SCHNELLEN UND NEUARTIGEN MATERIALAUFTRAG

M. Erler, R. Ebert, S. Gronau, M. Horn, S. Klötzer, H. Exner,  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Micro Cladding, wie es am Laserinstitut Hochschule Mittweida (LHM) realisiert wird, nutzt eine neuartige Form des Materialauftrages. Im Gegensatz zum klassischen Laser-Auftragschweißen im Mikrobereich [1, 2] werden hierbei gezielt Mikro-Kavitäten in die zu generierende Struktur eingebracht. In der Bestrahlungspause füllen sich die Kavitäten mit Pulver, wodurch die Baurate signifikant gesteigert werden kann [3, 4]. Zur Realisierung von hohen Volumenbauraten kamen ein kurzgepulster Faserlaser hoher Leistung sowie alternativ ein schnell modulierter cw-Faserlaser in Kombination mit einer schnellen Strahlableitung zum Einsatz. Damit konnten für den Mikrobereich sehr hohe Volumenbauraten von größer 3.500 mm<sup>3</sup>/h erzielt werden. Die minimalen Strukturauflösungen lagen trotzdem noch bei 40 µm. Die untersuchten Parameterabhängigkeiten des Verfahrens werden aufgezeigt und diskutiert. Erste Oberflächenstrukturen werden gezeigt. Des Weiteren wird eine neue Methode zur schnellen Flächenbeschichtung mit Schichtdicken im Mikrometerbereich vorgestellt.

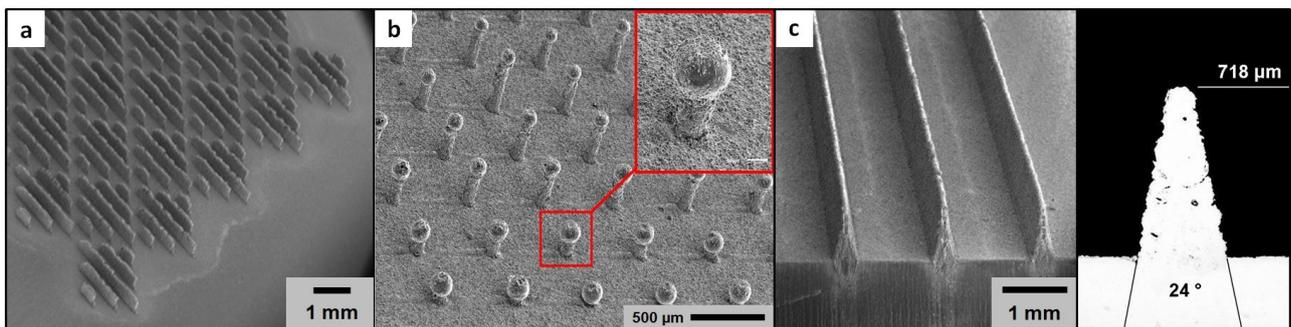


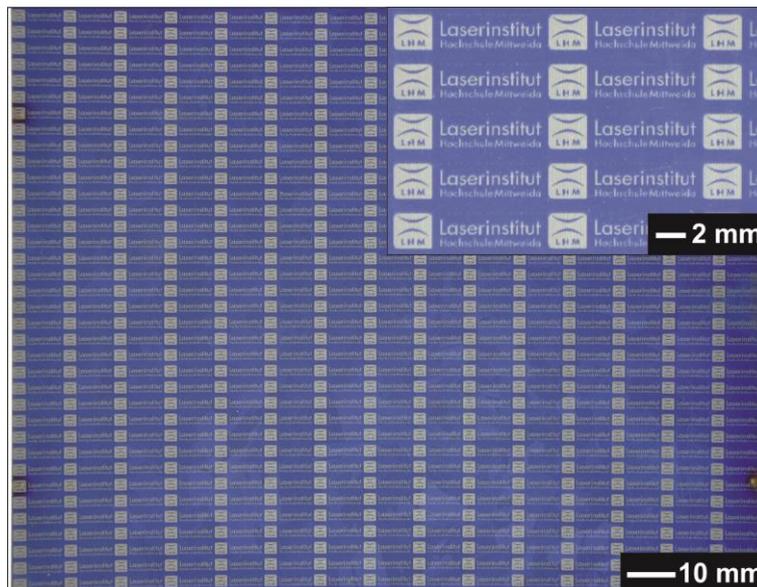
Abb. 1: REM-Aufnahmen von erzeugten Oberflächenstrukturen mit Hochrate Micro Cladding: (a) Nachbildung einer Haifischhautstruktur; (b) Mikro-Türme mit umgeschmolzener Spitze zur Erzeugung von Hinterschneidungen; (c) Mikro-Wände mit schneidförmigen Wandquerschnitt.

- [1] Weidlich, Nils, et al. "Metallische Funktionsbauteile im Mikromaßstab durch einstufiges Laserstrahlmikroauftragschweißen." *Schweißen und Schneiden* 61.9 (2009): 545.
- [2] Brückner, F., Nowotny, S., Riede, M., Kubisch, F., Leyens, C., & Beyer, E. (2013). *Surface Functionalization by High-precision Laser Cladding*. *Laser Technik Journal*, 10(1), 29-31.
- [3] Erler, Martin: *Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Verfahren Micro Cladding*; Masterarbeit 2011; Hochschule Mittweida; Fakultät Mathematik, Naturwissenschaften, Informatik
- [4] M. Erler, R. Ebert, S. Klötzer, H. Exner: *Erhöhung der Baurate beim Micro Cladding durch gezielte Mikrostrukturierung*, 22th International Scientific Conference Mittweida, Oktober 24-25, Scientific Reports Nr. 2, 50-53 (2012).

## HOCHRATE-MIROBEARBEITUNG

Udo Loeschner, Joerg Schille, Frank Ullmann, André Streek, Lars Hartwig, Sascha Klötzer  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Jüngst verfügbare brillante Strahlquellen mit hohen Leistungen und exzellenter Strahlqualität wie im kontinuierlichen Betrieb arbeitende Monomode-Faserlaser als auch hochrepetierende Ultrakurzpulsquellen hoher mittlerer Laserleistung ermöglichen eine beträchtliche Steigerung der Effizienz von Laserprozessen in der Mikrobearbeitung. Solche Hochrateprozesse sind durch hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten, hohe Flächenraten oder hohe Volumenabtragraten gekennzeichnet. Die Kombination der Laserquellen mit leistungsfähigen Strahlablesystemen wie schnelle Galvanometerscanner oder ultraschnelle Polygonspiegelscanner führt zu einer effektiven Umsetzung der hohen Laserstrahlleistungen im Bearbeitungsprozess. Mit dieser Anlagentechnik werden derzeit eine ganze Reihe zukunftssträchtiger Technologieansätze erforscht wie beispielsweise das schnelle großflächige Texturieren von Materialoberflächen oder der selektive präzise Abtrag dünner Schichten. Mit Polygonspiegelscanner und hochrepetierenden Pikosekunden-Laserpulsen wurden Flächenraten von  $0,76 \text{ m}^2/\text{min}$  erreicht. Das Hochrate-Bohren und der Hochrate-Materialabtrag in der Mikrobearbeitung sind ebenfalls Gegenstand dieser Studie. Bis zu 100000 Löcher in der Sekunde bohrte ein extrem schnell geschalteter monomodiger Faserlaser mit einer Laserleistung von  $2,4 \text{ kW}$  in Edelstahl. Materialabträge von bis zu  $15 \text{ mm}^3/\text{min}$  wurden mit hochrepetierenden Pikosekunden-Laserpulsen hoher mittlerer Laserleistung von  $187 \text{ W}$  in Edelstahl erzielt. Durch sinkende Prozesskosten werden diese Hochrate-Laser-Mikrobearbeitungstechnologien zukünftig stärker mit konventionellen Mikrobearbeitungsverfahren konkurrieren und ein breites Feld industrieller Anwendungen erobern.



**Abb.1:** schneller selektiver Abtrag einer SiN-Schicht von einem 6“ Siliziumwafer mithilfe eines eigenentwickelten im Pixelmode betriebenen Polygonspiegelscanners (Parameter: Laserleistung  $P_{cw} = 400 \text{ W}$ , Scangeschwindigkeit  $v_{sc} = 200 \text{ m/s}$ , Linienabstand  $d_h = 30 \text{ }\mu\text{m}$ , Flächenrate  $A_p = 840 \text{ cm}^2/\text{min}$ ).

# **3D-OBERFLÄCHENSTRUKTURIERUNG VON FREIFORMFLÄCHEN MIT UKP LASERN**

**Max Groenendijk**

Lightmotif B.V., Pantheon 12, 7521 PR Enschede, The Netherlands

Ultrakurzpulslaser haben sich in den vergangenen Jahren als ausgezeichnete Werkzeuge zur Strukturierung von Oberflächen erwiesen, mit denen einzigartige Mikro- und Nanostrukturen auf diversen Werkstoffen erstellt werden können. Derzeit werden verschiedene Anwendungen erforscht, bei denen es um eine Verbesserung der funktionalen Eigenschaften von Oberflächen geht. Die Umsetzung dieser vielversprechenden Anwendungen in der Industrie erfordert oftmals dass die feinen Strukturen auch auf 3D-Freifformoberflächen angebracht werden können.

Diese Präsentation zeigt die Maschinenteknik die Lightmotif entwickelt um diese Aufgabe zu meistern, und erläutert anhand von einigen Beispielen welche Applikationen hiermit ermöglicht werden. Eine hochgenaue 5-Achs Maschine und die zugehörige Control-Software werden vorgestellt, die speziell entwickelt wurden um große und schwere Bauteile wie zum Beispiel Spritzgussformen zu strukturieren. Anhand von einigen Applikationsbeispielen wird gezeigt wie diese Technik eingesetzt werden kann um komplexe Produkte mit neuen funktionalen Oberflächen zu erstellen.

# HIGH EFFICIENCY LASER PROCESSING IN PHOTOVOLTAIC INDUSTRIES

Rico Böhme

InnoLas Solutions GmbH, Pionierstraße 6, 82152 Krailling

During the last decade, laser micro technologies is becoming an more and more important process step for industrial production. But to meet the requirements for a 24/7 production in an industrial environment in, e.g., photovoltaic or microelectronics, the whole setup of process, laser, optics, sample handling, and software have to be optimized perfectly to find the best compromise between quality and quantity.

This presentation will give an overview about actual demands on laser micro processing from the photovoltaic industry. In detail, the upcoming of laser processes in photovoltaic will be discussed regarding actual applications and with respect to high rate processing.

The opening of the passivation coating for the state-of-the-art PERC solar cells by a laser lift-off process represents the new mainstream for laser machines. Process-site, rear ohmic contacts with a local back surface field (BSF) need to be formed by controlling the interaction of the laser beam and the Si material at highest process speed while a specific and innovative dash line pattern layout is required to push the efficiency of the solar cells up to 21.5%. In parallel, the laser machine has to handle more than 3400 wafer per hour with up to 30m scribe length per wafer to become cost efficient for solar industry.



# POLYGONSCANTECHNIK FÜR DIE LASERMIKROBEARBEITUNG

André Streek, Sascha Klötzer

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

## Abstract

Höher, schneller, weiter gilt durch die rasante Entwicklung der Laserquellen auch in zunehmenden Maße für die Lasermikrobearbeitung. Die Scantechnik, welche die präzise und wiederholbare Ablenkung und Positionierung des Laserstrahls für die Mikrobearbeitung vollführen muss, hinkt dieser rasanten Entwicklung hinterher. Aus diesem Grund entwickelt das Laserinstitut der Hochschule Mittweida zweidimensional arbeitende Polygonscanner als vielversprechende Alternative zu den bisherig eingesetzten Strahlableitensystemen. In den vergangenen Jahren wurden mehrere Versuchsmuster auf ihre Einsetzbarkeit für die Mikrobearbeitung aufgebaut, getestet und bewertet. Die vorliegende Arbeit präsentiert die aktuellen Ergebnisse dieser Entwicklungen vor allem im Hinblick auf die Anforderungen einer hochpräzisen und wiederholgenauen Lasermikromaterialbearbeitung. Unterschiedliche Bearbeitungsergebnisse erzeugt mittels schneller Polygonscantechnik werden präsentiert und analysiert.



## **New Production Tools for Energy-Efficient Joining Technology**

**Dr. Klaus Krastel**

IPG Laser GmbH, Siemensstr. 7, D-57299 Burbach

The high-volume production environment in the automotive industry is one specific example where resistance spot welding and laser welding are well-established technologies. Both technologies have pros and cons. For laser welding, especially in the case of laser remote welding, the main advantage is the significant cycle-time reduction due to almost complete elimination of idle times and the advantages of laser-welded seams. For resistance spot welding, one of the pros compared to laser welding is the integrated clamping technology, which comes nearly for free.

Both advantages can be combined in a fast laser-welding production tool that provides robust, process-secure, integrated clamping of components: the Laser-Seam-Steppers in various designs (LSS1, LSS2, LSS3 and LSS5) from IPG Laser GmbH.

The new tool is a Class 1 laser device under specific restrictions, meaning it can be used on production lines without the need for additional laser-safety mechanisms. This is a distinct advantage over traditional laser welding, which typically takes place behind safety enclosures, adding cost and consuming valuable space.

Modern laser welding has been used in auto body plants and in the production of sheet metal components with the following advantages:

- Higher process speed (shorter cycle times).
- Increased component strength via longer seams and resulting higher torsional stiffness.
- Effort and cost comparable to today's resistance-welding systems.
- Realization of higher job safety requirements with reduced costs.

Other new laser designs with new beam shaping like the "Triplefocus" or "Multifocus" for brazing and welding have shown big benefits in higher processingspeed (+30%), higher strength (+30%) and much better behavior against corrosion at same power level than standard lasers.

## CONVENTIONAL AND LASER WELDING A COMPARATIVE STUDY: MECHANICAL AND CORROSION BEHAVIOR MATERIALS WELDING EFFECT

Ahmed .M. El-Aziz\*<sup>1,2</sup>, Wessam Sharaf<sup>1</sup>, Jan Drechsel<sup>3</sup>, Horest Exner<sup>3</sup>

<sup>1</sup>German University in Cairo, Materials Science Department, 11835 New Cairo, Egypt

<sup>2</sup>Department of Electrochemistry and Corrosion, National Research Center, 12622 Cairo, Egypt

<sup>3</sup>Hochschule Mittweida (FH), Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida, Germany

A wide variety of welding processes are available and used to join metals in today technologies. These processes as classified by the American Welding society (AWS) may be performed by different methods like arc welding, resistance welding, gas welding, gas metal arc welding, gas tungsten arc welding, sub-merged arc welding, energy beam welding and laser beam welding. The characteristics of the microstructures through weld zones and the size and the extent of heat-affected zones (HAZ) will primary depend on: (1) the type of metals being joined, (2) the heat treatability of the material and welding velocity, (3) the classes of welding or joining processes used. The microstructure changes arising from welding will significantly affect the mechanical and the corrosion behavior of the welded metals. A review of recent literature indicated a lack of consensus among researchers, regarding the best method of welding. In view of contradictory opinions regarding efficiency of different welding techniques, the present study has been undertaken to evaluate the mechanical and corrosion behavior using different welding techniques, laser welding and conventional welding. Two case studies are presenting in this study:

Case (I) gas metal arc welding, gas tungsten arc welding for stainless steel 316L

Case (II) Yb:YAG continuous fiber laser for hot stamped 22MnB5/Usibor 1500

The welding parameters, materials microstructure, hardness and corrosion behavior are discussed and explained in this work aiming to evaluate the efficacy of laser and conventional welding.

# OPTIMIERUNG DER LUFTSTRÖMUNGSFÜHRUNG IN BEARBEITUNGSKABINEN ZUM REMOTE-LASERSTRAHLSCHWEIßEN

Madlen Borkmann<sup>a</sup>, Achim Mahrle<sup>a</sup>, Andreas Wetzig<sup>a</sup>, Eckhard Beyer<sup>a</sup>,  
Jürgen Walter<sup>b</sup>, Christian Hennigs<sup>b</sup>, Michael Hustedt<sup>b</sup>, Stefan Kaieler<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik, Winterbergstraße 28, 01277 Dresden

<sup>b</sup> Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, 30419 Hannover

Beim Remote-Laserstrahlschweißen metallischer Komponenten erweisen sich die infolge von Materialverdampfungen entstehenden Prozessemissionen mit einem typischerweise hohen Anteil an feinen und ultrafeinen Partikeln als problematisch für die erzielbare Fertigungsqualität. Für die in jüngster Zeit verstärkt eingesetzten Laserwellenlängen im Nahinfrarotbereich kommt es neben einer gewissen Absorption vor allem zu einer Streuung der Laserstrahlung und damit zu einer Reduzierung der am Werkstück wirksamen Strahlintensität, wodurch aufgrund prozessinhärenter Fluktuationen unregelmäßige Schweißnähte mit variablen Einschweißiefen bzw. im Extremfall Fehlschweißungen infolge von Prozessabbrüchen beobachtet werden. Empirisch konnte bereits nachgewiesen werden, dass eine Prozessstabilisierung durch global und lokal angeordnete Zu- und Abluftvorrichtungen erreicht werden kann. Ziel der hier vorgestellten Arbeiten ist es mit Hilfe von experimentellen und numerischen Methoden eine Effizienzsteigerung bestehender Anlagenkonzepte hinsichtlich Wirksamkeit sowie Gas- und Energieverbrauch zu erreichen.

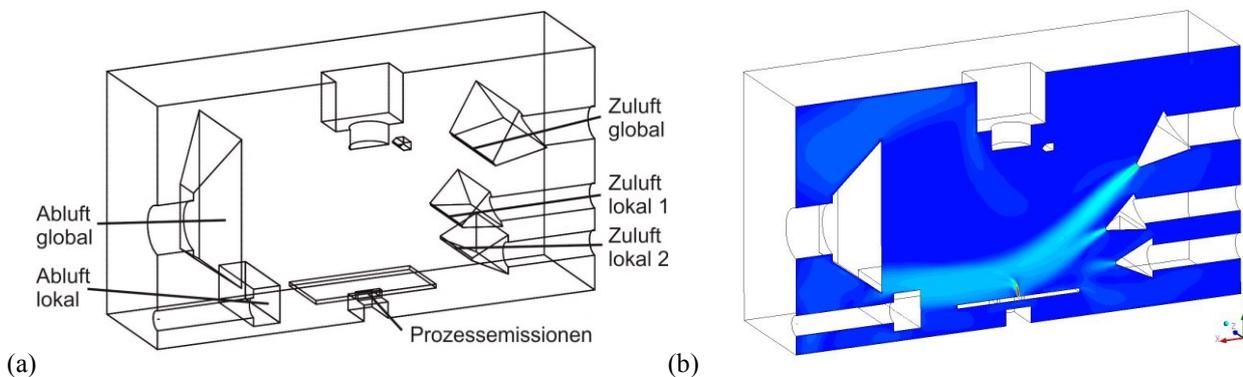


Abb.: (a) Geometrisches Modell der für die Versuche aufgebauten Bearbeitungskammer mit Zu- und Abluftkomponenten unter Ausnutzung der Symmetrieebene (b) Beispiel für ein Berechnungsergebnis für die Strömungsgeschwindigkeit in der Symmetrieebene

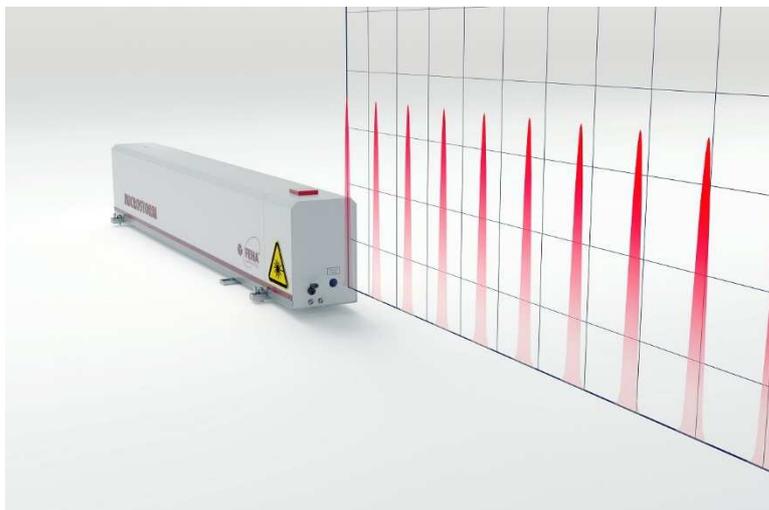
## Innovativer gütegeschalteter CO<sub>2</sub> Hochleistungskurzpuls laser und neue cw CO<sub>2</sub> Laserfamilie

Dr. Ingomar Krahl

FEHA LaserTec GmbH, Guardianstraße 16, 06766 Bitterfeld OT Thalheim

**MICROSTORM™** - ein gütegeschalteter CO<sub>2</sub> Hochleistungs- Kurzpuls laser mit ausgezeichneten Strahleigenschaften eröffnet neue Dimensionen in Pulsspitzenleistung (bis zu 50kW), Pulsweite (typisch 250ns) und Pulsfolgefrequenz im Bereich von cw bis 150kHz. Die mittlere Leistung beträgt bis zu 350W abhängig von der Betriebsart. Alle Parameter sind in einem breiten Bereich zur bestmöglichen Anpassung an Materialbearbeitungsprozesse variierbar.

**HYPRICO<sub>2</sub>** – die neue Generation von gleichstrom- angeregten cw CO<sub>2</sub> Lasern. Der diffusionsgekühlte CO<sub>2</sub>- Laser hat nach wie vor die besten Strahlqualitätsparameter auf dem Markt. Die Laser sind in allen möglichen Wellenlängen verfügbar. Spezielle Eigenschaften können kundenspezifisch adaptiert werden, wie beispielsweise der Einlinienbetrieb bei 9,3 μm (eine Spektrallinie). Die Laser- Familie bietet die niedrigsten Betriebskosten weltweit.



## INNOVATIVE CO<sub>2</sub>- Q-SWITCHED SHORT PULSE LASER AND NEW CW CO<sub>2</sub>- LASER FAMILY

Dr. Ingomar Krahl

FEHA LaserTec GmbH, Guardianstraße 16, 06766 Bitterfeld OT Thalheim

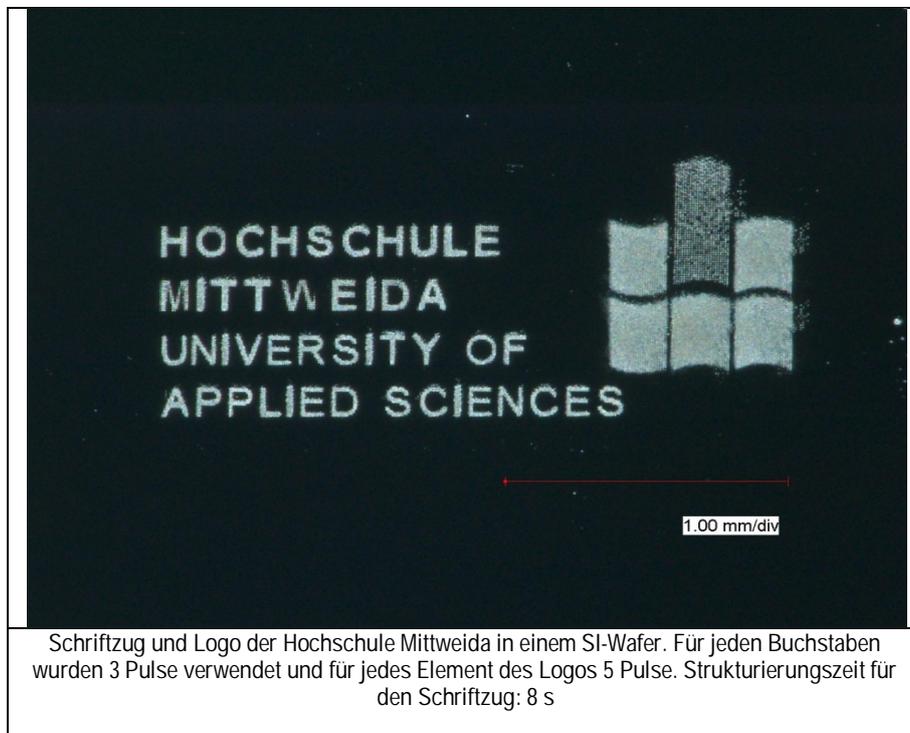
**MICROSTORM™** - a Q-switched short pulse high power high performance CO<sub>2</sub> – laser offers new dimensions in pulse peak power (up to 50 kW), pulse width (typ. 250ns) and pulse frequency in a wide range from cw up to 150 kHz. The average power reaches 300 W depending from the operational mode. All parameters are adjustable in a wide range.

**HYPERICO<sub>2</sub>™** - the new generation of direct current excited CO<sub>2</sub>- laser. The diffusion cooled CO<sub>2</sub> laser still features the highest known beam quality on the market. These lasers are available for different wave lengths here especially for single line mode (only one single spectral line) at lowest operating costs of their class – worldwide!

# FEMTOSEKUNDENLASERMIKROSTRUKTURIERUNG MITTELS PHASENMASKENPROJEKTION UNTER VERWENDUNG EINES SPATIAL LIGHT MODULATORS

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

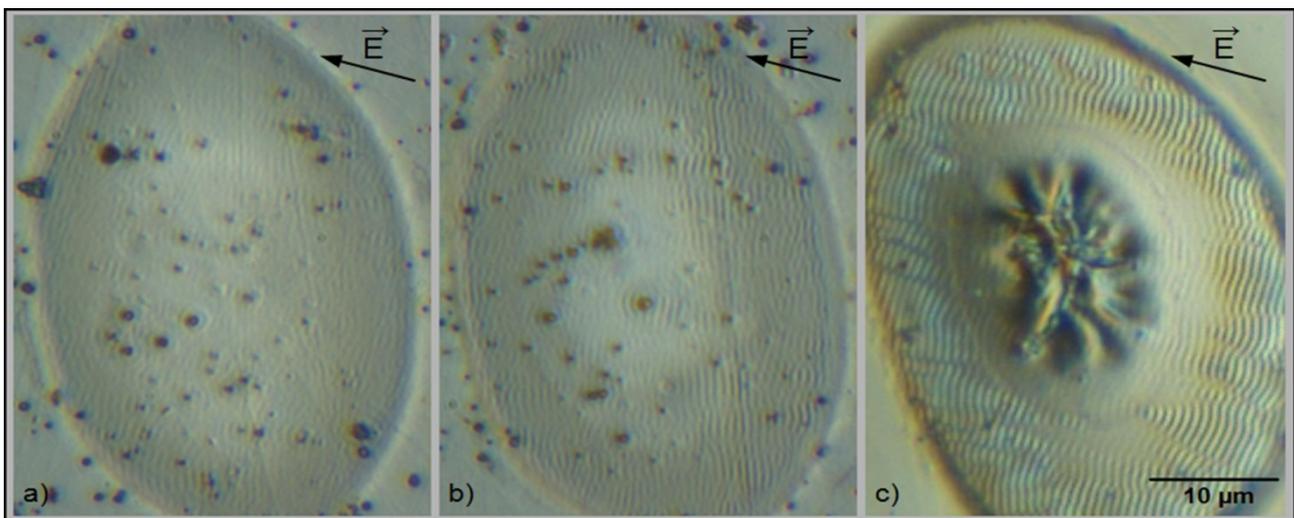
Wir stellen eine Methode zur schnellen Mikrostrukturierung verschiedener Materialien wie Metallen, Halbmetallen aber auch Gläsern und weiteren kristallinen Stoffen vor. Dies geschieht über Direktstrukturierung mittels Femtosekundenlaserpulsen und dem bereits bekannten Verfahren der Maskenprojektion (MP). Anstelle von Absorptionsmasken werden Phasenmasken in Form von computergenerierten Hologrammen (CGH) verwendet, welche sequentiell durch einen Spatial Light Modulator (SLM) dargestellt und mit der Pulsung synchronisiert werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Konversionseffizienz bei optimaler Parameterwahl  $>50\%$  ist und Strukturen im  $<10\mu\text{m}$ -Bereich hergestellt werden können. Zusätzlich wurde gezeigt, dass die Homogenität der Ausgangsverteilungen durch Anpassung des sinc-Korrekturfaktors gesteigert werden kann.



# RIPPLE-BILDUNG MITTELS FEMTOSEKUNDENLASERSTRAHLUNG AUF OBERFLÄCHEN VON METALLEN UND HARTSTOFFEN

Andy Engel, Manuel Pfeiffer, Steffen Weißmantel  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Es werden Ergebnisse von Untersuchungen zur Ripple-Bildung auf Metallen und Hartstoffen durch Bestrahlung mit Ultrakurzpuls-Laserstrahlung präsentiert. Für die Versuche wurde eine Femtosekundenlaseranlage mit einem integrierten Clark-MXR CPA 2010 (Lasersystem: Wellenlänge 775 nm, Repetitionsrate 1 kHz, maximale Pulsenergie 1 mJ @ 775 nm, Pulsdauer 150 fs) genutzt. Im Fokus dieser Arbeiten stand die Ermittlung der Abhängigkeiten der Ripple-Entstehung von den applizierten Laser- und Prozessparametern. Es wurden grundlegende Untersuchungen zur Entstehung der Ripple-Strukturen durchgeführt. Hierbei wurde insbesondere der Einfluss der Oberflächenmorphologie, der Schichtdicke aufgebrachter Hartstoffschichten sowie der Pulsanzahl analysiert. Des Weiteren werden Ergebnisse zum Einfluss der Polarisation der auftreffenden Laserstrahlung auf die Ausbildung der Ripple-Strukturen präsentiert. Auf Grundlage der durchgeführten Arbeiten können Parameterbereiche und Bearbeitungsregime aufgezeigt werden, welche eine homogene und zeiteffiziente Erzeugung von Ripple-Strukturen in den untersuchten Materialien ermöglichen.

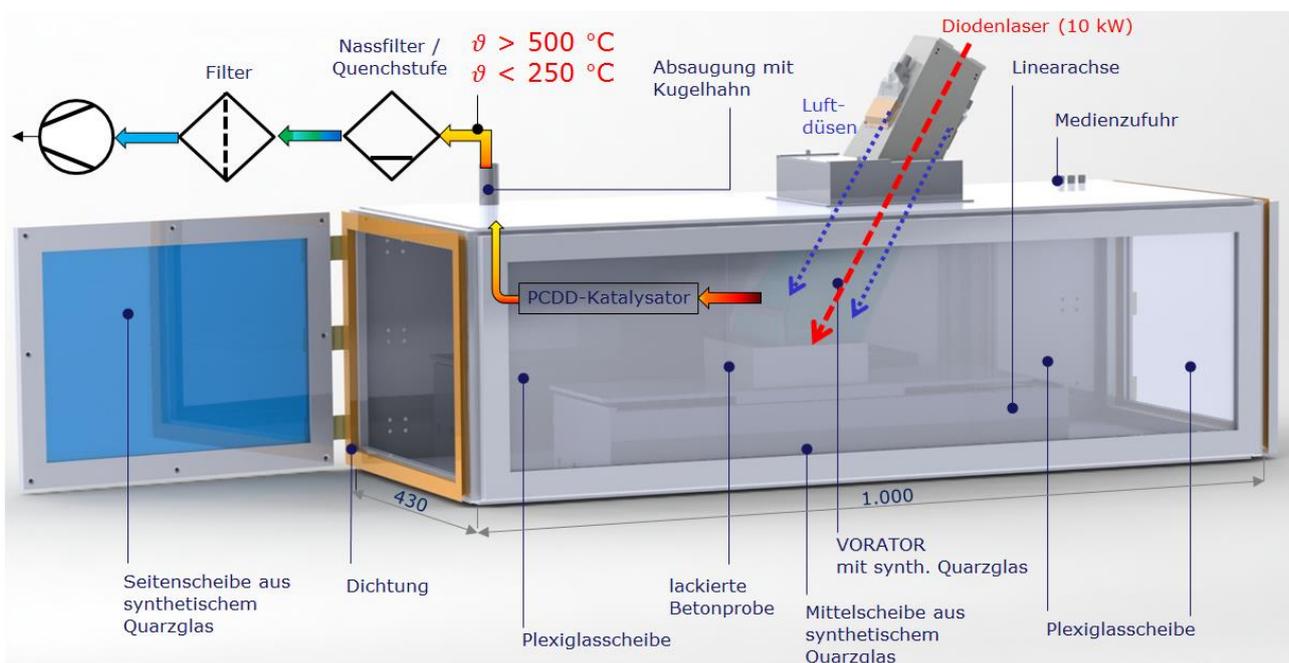


▲ Lichtmikroskopaufnahmen von Ripple-Strukturen auf einer ta-C beschichteten Stahlprobe bei unterschiedlicher Anzahl der applizierten Laserpulsen (a = 1 Laserpuls, b = 2 Laserpulse, c = 10 Laserpulse).

# LASERDEKONTAMINATION FÜR DEN RÜCKBAU KERNTÉCHNISCHER ANLAGEN

Anton Philipp Anthofer, Wolfgang Lippmann, Antonio Hurtado  
Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik,  
Professur für Wasserstoff- und Kernenergietechnik

Im Rahmen des Rückbaus kerntechnischer Anlagen müssen die Oberflächen von radioaktiver Kontamination oder chemisch-toxischen Stoffen gereinigt werden. Entwicklungen der Lasertechnologie hinsichtlich Präzision, Leistung und Ökonomie sowie Vorteile der einfachen Automatisierbarkeit, dem Arbeiten ohne Staubbildung und Rückstellkräfte bieten sich an für eine Weiterentwicklung und einen Einsatz im nuklearen Rückbau. An der TU Dresden wurden laserbasierte Verfahren für den Abtrag von radioaktiv kontaminierten und mit Polychlorierten Biphenylen (PCB) kontaminierten Betonoberflächen entwickelt. Dazu wird ein 10 kW – Hochleistungsdiodenlaser im kontinuierlichen Leistungsmodus verwendet. Radioaktive Nuklide werden beim Laserabtrag in der sich ausbildenden Betonschmelze gebunden und gleichzeitig konditioniert. Die PCB werden mittels Laser zersetzt, sodass der chemisch-toxische Abfall signifikant reduziert wird. Dies geschieht mit einer Flächenabtragsleistung von ca. 7 m<sup>2</sup>/h, einer Dekontamination der Oberfläche von 97 % und einer PCB-Zersetzung von 89 %.



**Abbildung:** Versuchsaufbau zur Laserdekontamination chemisch-toxisch belasteter Betonoberflächen

# PICOSECOND AND NANOSECOND LASER STRUCTURING OF CIGSE SOLAR CELLS

Bert Stegemann<sup>1</sup>, Manuel Schüle<sup>1</sup>, Christof Schultz<sup>1</sup>, Kamil Stelmaszczyk<sup>1,2</sup>, Moshe Weizman<sup>1</sup>, Christian Wolf<sup>2</sup>, Christian A. Kaufmann<sup>2</sup>, Björn Rau<sup>2</sup>, Rutger Schlatmann<sup>1,2</sup>, Frank Fink<sup>1</sup>

1. PVcomB / HTW Berlin - University of Applied Sciences, Wilhelminenhofstr. 75A, D-12459 Berlin,
2. PVcomB / Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Schwarzschildstr. 3, D-12489 Berlin

In the production of photovoltaic CIGSe thin film modules only the P1 patterning step is done by laser, while needle scribing is still common for the P2 and P3 patterning step. Here, we present reliable, precise and efficient processes for complete laser structuring of CIGSe solar cells. Results were obtained by systematic investigation of the influence of the pulse length (ns, ps) and the wavelength (1024 nm, 532 nm, 355 nm) on the laser matter interaction, on the resulting morphology and on the electrical properties of the complete solar cell. Selective layer ablation by ps laser pulses is controlled and verified by plasma diagnostics based on laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) via identification of the characteristic elemental emission lines. Moreover, alternative scribing geometries and interconnection schemes making use of the thermal input of ns pulses resulting in local laser-induced phase transformation of the absorber material are established and proved to simplify the scribing process. The results demonstrate that complete laser patterning of CIGSe solar cells is competitive and might even outperform conventional needle scribing.

In der Fertigung von CIGSe-Dünnschicht-Solarmodulen wird nur die P1-Strukturierung mittels Laser durchgeführt, während Nadelritzen für die P2- und P3-Strukturierung angewendet wird. Hier präsentieren wir zuverlässige, präzise und effiziente Prozesse für die vollständige Laserstrukturierung. Die Ergebnisse wurden durch systematische Untersuchung des Einflusses der Pulslänge (ns, ps) und der Wellenlänge (1024/532/355 nm) auf die Laser-Material-Wechselwirkung, die resultierende Morphologie und die elektrischen Eigenschaften der Solarzellen erhalten. Die Kontrolle der selektiven Schichtablation durch ps-Pulse erfolgte durch Plasmadiagnostik (LIBS - laser induced breakdown spectroscopy) über die Identifizierung der charakteristischen Emissionslinien. Darüber hinaus werden alternative Verschaltungs- und Strukturierungskonzepte und -geometrien, z.B. über eine Phasenumwandlung des Absorbermaterials durch Ausnutzen des thermischen Eintrags von ns-Pulsen umgesetzt und zur Vereinfachung des Strukturierungsprozesse genutzt. Die Ergebnisse belegen, dass eine vollständige Laserstrukturierung von CIGSe-Solarzellen konkurrenzfähig zum herkömmlichen Nadelritzen ist und zur Verbesserung des Wirkungsgrades führen kann.

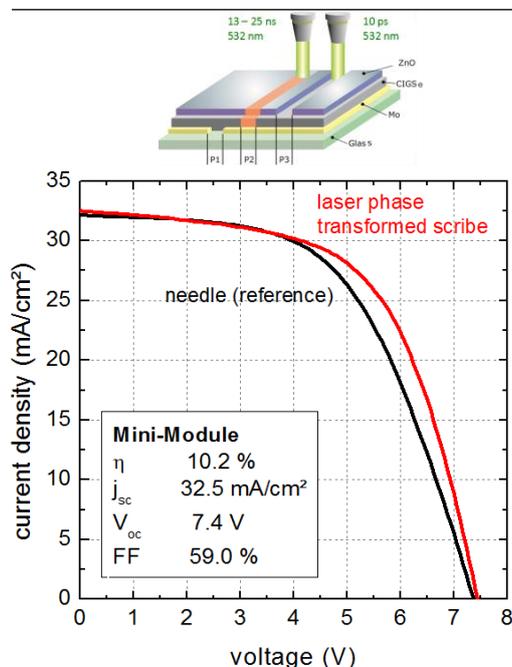


Fig. Alternative CIGSe solar cell interconnection concept featuring P2 phase transformation by ns laser pulses and simultaneous P2 and P3 patterning resulting in improved efficiencies.

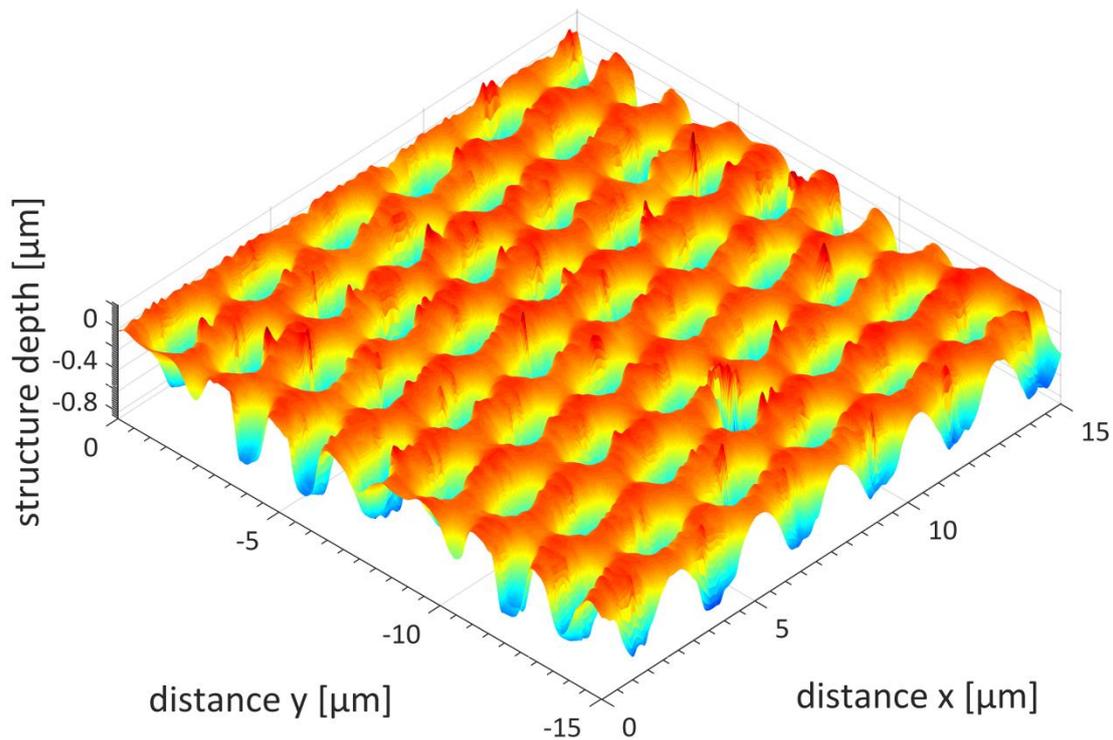
# LASERMIKROSTRUKTURIERUNG VON TA-C MITTELS KrF-EXCIMERLASER

Falko Jahn, Andy Engel, Steffen Weißmantel  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Die besonderen Eigenschaften spannungsfrei erzeugter ta-C-Schichten wie z.B. extreme Härte und niedrige Reibungskoeffizienten bieten vielfältige Möglichkeiten für industrielle Anwendungen. Mikrostrukturen auf der Oberfläche können das Leistungsspektrum dieser Schichten erweitern bzw. an spezielle Anforderungen anpassen.

Es wird ein Verfahren zur Erzeugung solcher Mikrostrukturen in ta-C vorgestellt, das auf dem Maskenprojektionsverfahren beruht. Die Strukturierungsanlage und die genutzte Strahlquelle, ein KrF-Excimerlaser mit einer Wellenlänge von 248 nm, werden vorgestellt und in ihren Spezifikationen erläutert.

Einige ausgewählte Beispiele für erzeugte Mikrostrukturen mit Abmessungen bis in den Bereich von wenigen  $\mu\text{m}$  zeigen das Potential des vorgestellten Verfahrens für die Oberflächenmodifikation. Die Strukturen werden hinsichtlich ihres Einflusses auf verschiedene Schichteigenschaften wie Reibungskoeffizient oder Benetzbarkeit untersucht. Auch Einflüsse auf die Schichthärte werden diskutiert und deren Ursachen untersucht.



# REIBWERTERHÖHENDE FUNKTIONALISIERUNG VON OBERFLÄCHEN MITTELS GEPULSTER LASERSTRAHLUNG

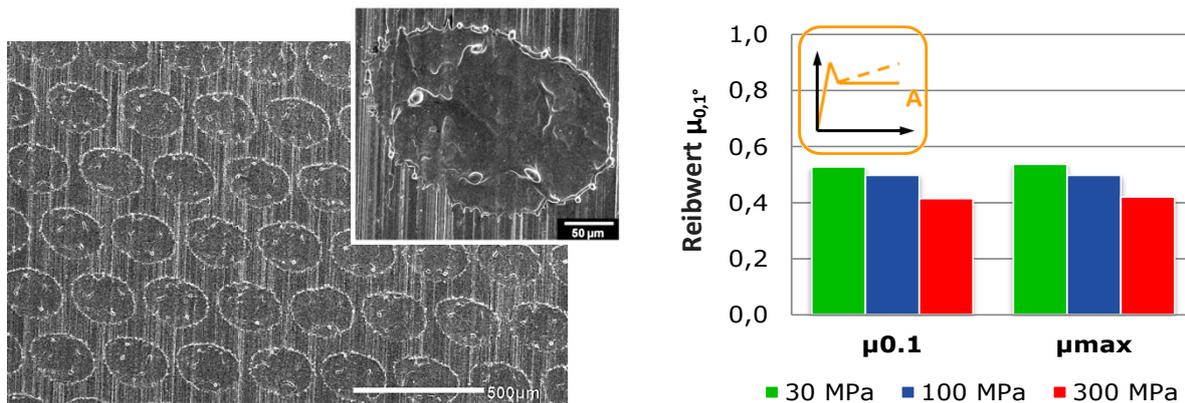
Frank Ullmann<sup>1</sup>, Lutz Schneider<sup>1</sup>, Jörg Schille<sup>1</sup>, Matthias Gräfensteiner<sup>2</sup>, Saskia Schiefer<sup>3</sup>, Marco Gerlach<sup>3</sup>, Erhardt Leidich<sup>2</sup>, Horst Exner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

<sup>2</sup> Technische Universität Chemnitz, Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik (IKAT), Reichenhainer Str. 40, D-09126 Chemnitz

<sup>3</sup> Technische Universität Chemnitz, Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik, Reichenhainer Str. 40, D-09126 Chemnitz

Die Erhöhung des Haftreibungswertes stellt ein großes Potential zur Steigerung kraftschlüssig zu übertragender Kräfte und Momente dar und kann beispielsweise durch die gezielte Mikrotexturierung der Kontaktflächen von Tribosystemen mittels gepulster Laserstrahlung erfolgen. In dieser Arbeit werden die Ergebnisse erster eigener Untersuchungen zur reibwerterhöhenden Funktionalisierung von Reibflächen mit Aufschmelzungen vorgestellt. Die Aufschmelzungen wurden mit einem gütegeschaltetem Nd:YAG Laser mit einer maximalen mittleren Laserleistung von 45 W bei einer Puls wiederholrate von 5 kHz hergestellt. Zur Auswahl von geeigneten, reibwerterhöhend wirkenden Schmelzstrukturen wurden zunächst die Abhängigkeiten der Schmelzwallhöhe, des Aufschmelzdurchmessers sowie der Schmelzwallhärte von den Bearbeitungsparametern Pulsenergie, Fokusslage und Pulsanzahl bestimmt und anschließend als optimal befundene Oberflächentexturen hinsichtlich ihres Reibverhaltens bei Anwendung unterschiedlicher Fugendrucke (30 MPa, 100 MPa, 300 MPa) analysiert. Die Reibwertmessung der laserstrukturierten Probekörperoberflächen, die unter definierten Versuchsbedingungen an einem Reibwertprüfstand mit feingeschliffenen Gegenkörperoberflächen gepaart wurden, ergab einen maximalen Reibwert  $\mu_{0,1} = 0.53$ , der im Vergleich mit einer feingeschliffenen Referenzpaarung annähernd einer Verdopplung entsprach.



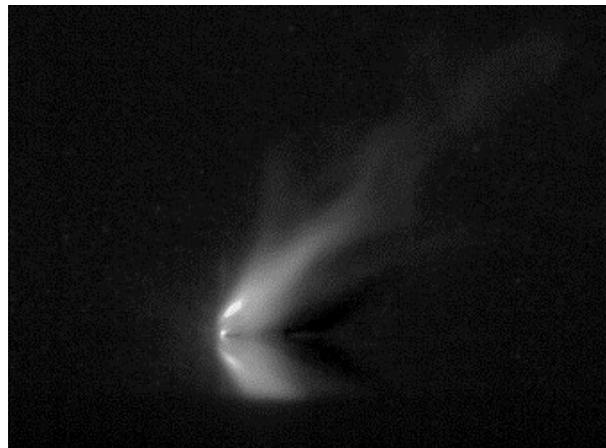
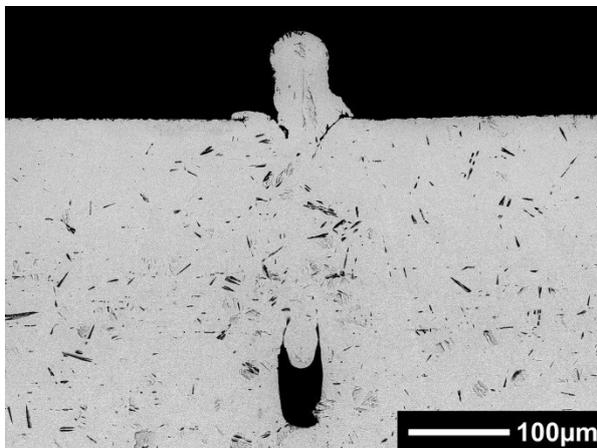
**Abb. 1:** Mit Aufschmelzungen texturierte Reibfläche (links) sowie Ergebnisse der Reibwertprüfung bei Anwendung unterschiedlicher Fugendrucke (rechts).

# UNTERSUCHUNGEN ZUM ÜBERGANG VOM LASERSTRAHLTIEFSCHWEIßEN ZUM LASERSTRAHLABTRAGSCHNEIDEN BEI VERWENDUNG EINES HOCHLEISTUNGSFASERLASER

F. Ullmann, R. Ebert, L. Hartwig, A. Thurm, T. Werner, U. Löschner, H. Exner  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Grundlage für das Laserstrahlabtragschneiden als ein Remote-Schneidverfahren als auch das Laserstrahltiefschweißen sind hohe Laserstrahlintensitäten. Der Unterschied zwischen beiden Prozessen liegt in den Scangeschwindigkeiten und damit den eingebrachten Streckenenergien. Beim Laserstrahlabtragschneiden wird bei hohen Geschwindigkeiten aufgrund der laserinduzierten Verdampfung die Schmelze beschleunigt und aus der Schnittfuge ausgetragen. Das Laserstrahltiefschweißen findet bei geringeren Geschwindigkeiten statt. Es bildet sich eine Dampfkapillare, wodurch die Laserstrahlung tief in das Material eindringen kann und die Schmelze im Werkstück verbleibt.

Die Untersuchungen beleuchten den Übergangsbereich, bei dem sich die Effekte beider Prozesse überlagern. Bei verschiedenen Intensitäten wird anhand von Schliffbildern die Entstehung von Hohlräumen in Verbindung mit unvollständig ausgetragener Schmelze aufgezeigt. Weiterhin werden die auftretenden Plasmaerscheinungen anhand von Aufnahmen einer Hochgeschwindigkeitskamera aus unterschiedlichen Betrachtungswinkeln diskutiert.



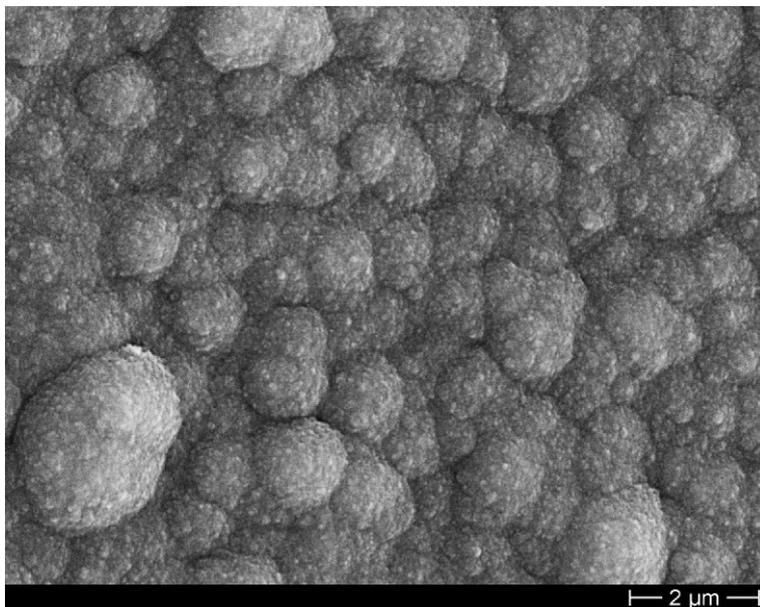
Schliffbild und Kameraaufnahme vom Übergangsbereich zwischen Schweißen und Schneiden

## Fundamental Studies on the Deposition of Nanocrystalline Diamond (n-D) Films by Means of Pulsed Laser Deposition (PLD) in Oxygen Atmosphere

Hagen Grüttner, Steffen Weißmantel

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

The results of fundamental studies on the deposition of nanocrystalline diamond (n-D) films by means of pulsed laser deposition (PLD) will be presented. The n-D films were deposited on tungsten carbide substrates by pulsed laser ablation of a graphite target with a KrF excimer laser ( $\lambda=248$  nm, max. pulse energy=500 mJ, repetition rate of 50 Hz) at elevated substrate temperatures and in oxygen background gas. The laser pulse fluence was  $12 \text{ J/cm}^2$  and the target to substrate distance was 4 cm. The variation of the microstructure of the films with temperature were investigated in the range of  $150^\circ\text{C}$  to  $550^\circ\text{C}$  and with oxygen pressure in the range of 0 mbar to  $2 \cdot 10^{-1}$  mbar . The substrates were pretreated by wet chemical etching and with diamond suspension. The influence of the deposition parameters on the n-D growth was determined by SEM, TEM and AFM. It will be shown that n-D films can be prepared using proper parameters.

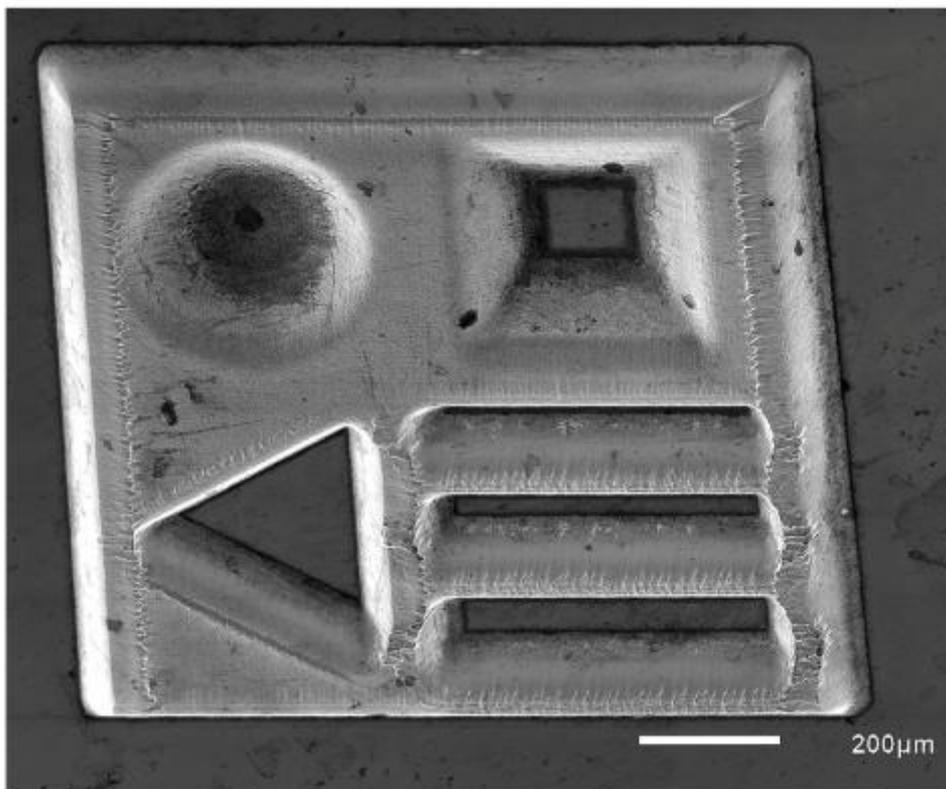


## Laser Micro Structuring of Different Materials with Very Short Laser Pulses < 35 fs in Comparison to Conventional USP Micromachining

Hagen Grüttner, Steffen Weißmantel

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

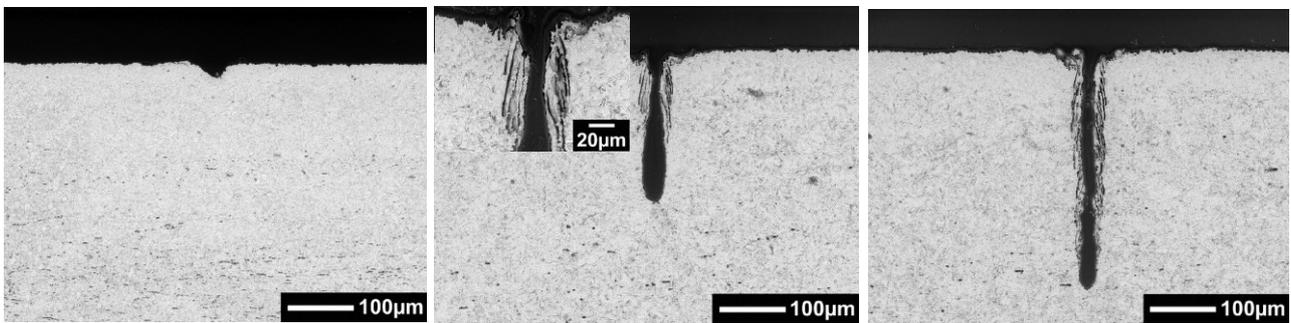
Fundamental studies on the ablation behaviour of relevant representatives of different material groups (metals, wide band gap materials and polymers) will be presented. The studies are focused on the advantages and/ or disadvantages of using very short laser pulses  $\tau_p < 35$  fs in comparison to conventional ultra short laser pulses with a pulse duration above 100 fs. The laser pulses with a duration of only 30 to 35 fs were generated by coupling a conventional femtosecond laser source (Clark- MXR- CPA- 2010;  $\tau_p = 150$  fs) with an argon filled hollow core fibre for spectral broadening of the incoming femtosecond laser pulse and a following reflective grid system for temporal pulse compression. The overall ablation behaviour and the quality of the resulting micro structures on different materials (tungsten carbide, steel, fused silica and PMMA) using these very short pulses was compared to conventional ultra short pulse micro structuring at  $\tau_p = 150$  fs.



## HIGHSPEED LASER ABLATION CUTTING OF METAL

F. Ullmann, L. Hartwig, D. Szczepanski, J. Schille, S. Gronau, T. Knebel, J. Drechsel,  
R. Ebert, U. Loeschner, H. Exner  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

In the investigation 2 single mode continuous wave fibre laser sources were used YLR 3000SM/ YLR 5000SM (IPG Photonics) in combination with the galvanometer scanner Superscan SC 30 (Raylase AG). For the material stainless steel X5CrNi 18-10 (AISI 304) the maximum ratings of the applied processing parameters were studied. This paper discusses the impact of the mainly ablation process influencing parameters on highspeed laser ablation cutting, such as laser power, scan speed, focus spot size, intensity of laser radiation, and energy input per unit length. In this case the cumulative cutting speed is defined as the scan speed divided by the applied number of scans. The ablation depth per scan can be increased by raising laser power, reducing spot size, or dropping scan speed. For a given sheet thickness of 0.5 mm and an applied laser power of 4.3 kW a cumulative cutting speed of up to 97 m/min was achieved. The quality of the cutting edges as well as the cutting kerfs was evaluated by means of SEM and digital optical microscope photographs. Finally highspeed laser cutting was investigated by using a highspeed camera providing useful insights into the cutting process.

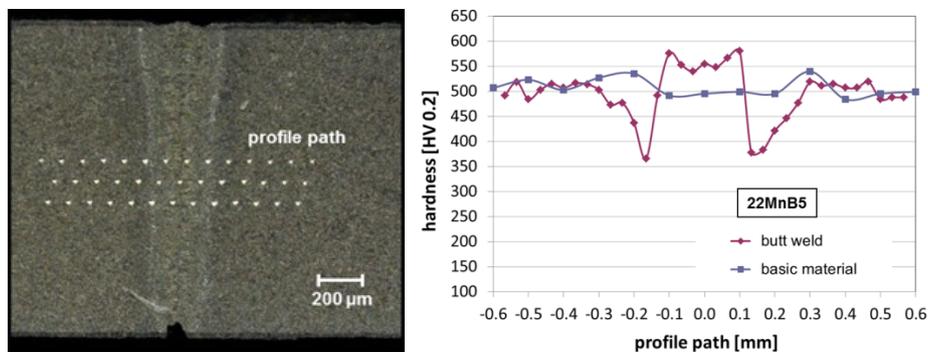


**Figure 1:** Cross section photographs of cutting kerfs obtained with various number of scans on material AISI304, parameters:  $P_L = 0.86$  kW,  $d_{86} = 21$  µm,  $v_{sc} = 1200$  m/min; left: 1 scan, middle: 10 scans, right: 20 scans

# HIGH-SPEED LASER WELDING WITH A 3 KW SINGLE-MODE FIBER LASER

J. Drechsel, U. Löschner, M. Wagner, J. Barth, J. Schille  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

This poster presents obtained results in high-speed welding using single mode fiber laser combined with two different laser beam deflection system, at first with a fast galvanometer scanner system from Raylase AG and to second with a welding optics in combination with a linear motion system. Stainless steel AISI304 and the cold-rolled steel 22MnB5 covered with 20  $\mu\text{m}$  thick zinc layer are the two different studied steel grades in laser butt welding. The important process parameter such as laser power, angle of incidence, and laser beam spot size were varied with the aim to increase the welding speed. E.g. a maximum welding speed of 78 m/min with a narrow weld seam width of about 100  $\mu\text{m}$  was achieved in linear laser welding of 1 mm thick AISI 304 sheet metal by using a focusing welding optics and 3 kW laser power. In addition, wobble and zig-zag beam deflection were studied in order to improve gap bridging in butt weld joining. By laterally oscillating the laser beam gap bridging was enhanced, which saves the preparation grinding process of laser-cut edges required in linear laser butt welding. The tensile strength and the weld seam hardness were tested. In the case of 22MnB5, the weld seam hardness increased about 15 % in comparison to the base material (Figure.1). The heat affected zone of about 100  $\mu\text{m}$  was obtained on both sides of the welding seam. In tensile testing the 22MnB5 reveals a very low tensile elongation of 50 % than the base material. In contrast, the measured loss of tensile strength was 10% in comparison to the base material, that is very well compared with conventional welding techniques.



**Figure 1:** Weld seam cross section of butt welded 1.6 mm 22MnB5, parameters:  
 $P_L = 2.74 \text{ kW}$ ,  $v_F = 19.8 \text{ m/min}$ ,  $d_{86} = 65 \mu\text{m}$ ,  $\Delta Y = 150 \mu\text{m}$ ;  $\text{AOI} = 0^\circ$

# SYSTEMENTWICKLUNG UND WISSENSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNGEN ZUR MIKROBEARBEITUNG MIT FEMTOSEKUNDEN LASERIMPULSEN

Jürgen Müller, Christian Schindler, Prof. Jens Bliedtner  
Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl Zeiss Promenade 2, 07745 Jena

Die Arbeit setzt sich mit der Entwicklung und dem Aufbau eines Anlagenkonzeptes für die Mikrobearbeitung mit ultrakurzen Laserimpulsen auseinander. Mit dem realisierten System sollen Parameterstudien sowie Forschungs- und Entwicklungsaufgaben durchgeführt werden, welche die Grundlage für den industriellen Fertigungsprozess bilden.

Auf Basis der gegebenen Anlagentechnik erfolgt die Entwicklung und Bewertung verschiedener Anlagenkonzepte sowie die konstruktive Umsetzung der favorisierten Variante. Mit der Charakterisierung der Lasermaterialbearbeitungsanlage werden die signifikanten Parameter wie Strahldurchmesser, Leistung in der Bearbeitungsebene sowie Strahlparameter ermittelt. Für die beiden Scan-Köpfe erfolgt eine Korrektur und Anpassung der Scanebene an die justierte Strahlführung und vorliegende Bearbeitungsebene. Als Nachweis für einen gleichmäßigen Materialabtrag über das gesamte Scanfeld werden Untersuchungen an optischen Gläsern durchgeführt.

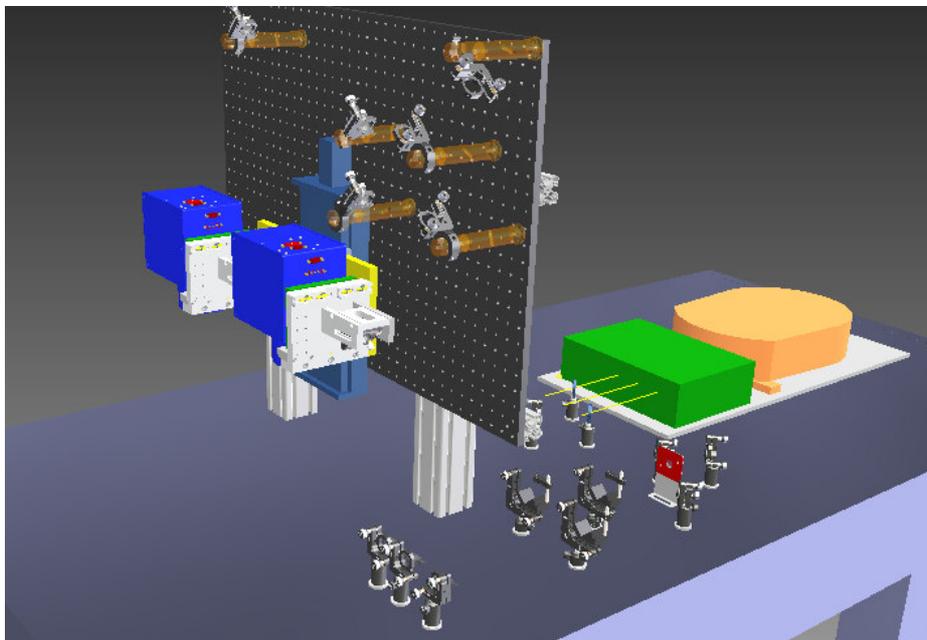


Abbildung 1: Mechanisches Grundkonzept für die fs-Lasermaterialbearbeitungsanlage

Tabelle 1: Strahlparameter

	343 nm	515 nm	1030 nm
<b>Fokusbereich [µm]</b>	11,9	13,6	15,7
<b>Rayleighlänge [µm]</b>	230	235,1	156,6
<b>Divergenz [mrad]</b>	47,8	57,8	100,3
<b>Beugungsmaßzahl M<sup>2</sup></b>	1,2	1,2	1,2

## FEMTOSECOND SELECTIVE ABLATION OF THIN ITO FILMS ON GLAS SUBSTRATE

Linda Pabst<sup>1</sup>, Walter Perrie<sup>2</sup>, Geoff Dearden<sup>2</sup> and Horst Exner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

<sup>2</sup>Laser Group, School of Engineering, University of Liverpool, L69 3GQ, Liverpool, UK

Selective laser ablation of Indium Tin Oxide (ITO) thin films on glass substrate was investigated using a femtosecond laser with a central wavelength of 775 nm, 1 kHz repetition rate and 160 fs pulse duration. The single and multiple pulse ablation of ITO on glass substrate were investigated and the corresponding ablation thresholds were determined. Optimal processing parameters were found to selectively ablate the ITO layer without damaging the underlying glass substrate. The electrical isolation due to selective laser ablation could be demonstrated.

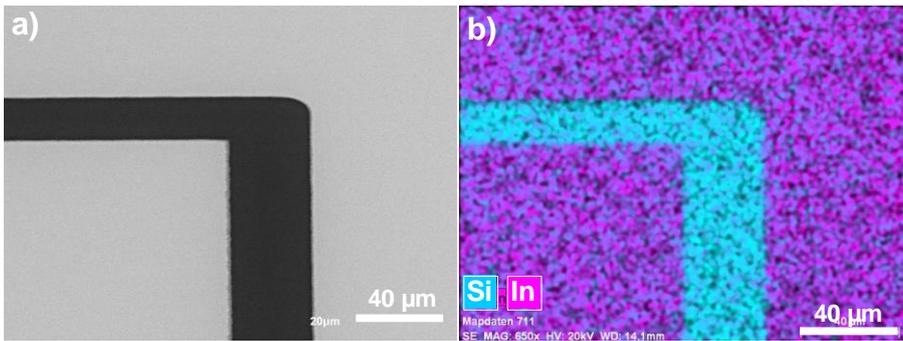


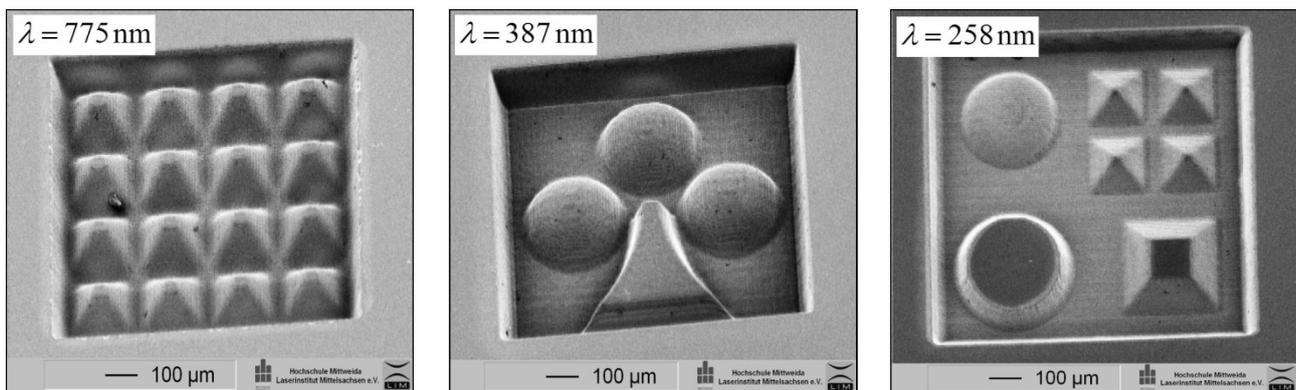
Fig. 6: a) SEM image of line ablation of ITO ( $F = 0.5 \text{ J/cm}^2$ ,  $v = 2 \text{ mm/s}$ ,  $N = 5$ ) and b) EDX-mapping of the elements Silicon (Si) and Indium (In) of the area shown in (a)



# MIKROSTRUKTURIERUNG VON QUARZGLAS MITTELS FEMTOSEKUNDENLASERSTRAHLUNG UNTERSCHIEDLICHER WELLENLÄNGEN

Manuel Pfeiffer, Andy Engel, Steffen Weißmantel  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Es werden Ergebnisse der Untersuchungen zur Mikrostrukturierung von hochreinem Quarzglas durch Bestrahlung mittels Ultrakurzpuls-Laserstrahlung unterschiedlicher Wellenlängen präsentiert. Für die Untersuchungen wurden eine Femtosekundenlaseranlage mit einem integrierten Clark-MXR CPA 2010 (Wellenlänge 775 nm, 387 nm bzw. 258 nm, Repetitionsrate 1 kHz, Pulsdauer < 200 fs) und ein Pharos FS-Lasersystem 15-1000-PP (Wellenlänge 1027 nm, 513 nm bzw. 257 nm, Repetitionsrate 200 kHz, Pulsdauer < 290 fs) genutzt. Ziel der durchgeführten Untersuchungen war die Bestimmung grundlegender Abtragsparameter und der erzielbaren Qualität (z.B. Oberflächenrauheit) der eingebrachten Mikrostrukturen in Abhängigkeit von den applizierten Laserstrahl- und Prozessparametern (Wellenlänge, Fluenz, Pulsüberlappungsgrad usw.). Auf Grundlage der durchgeführten Abtragsuntersuchungen erfolgten die Optimierung der Strukturierungsparameter und die Erstellung von 3D-Demonstratorstrukturen zur Verdeutlichung der erzielbaren Qualität der Mikrostrukturen bei unterschiedlichen Wellenlängen.



▲ REM-Aufnahmen der erzeugten 3D-Demonstratorstrukturen in Quarzglas bei Nutzung unterschiedlicher Laserstrahlwellenlängen. Strukturierungsparameter: Strukturgröße  $1000 \mu\text{m} \times 1000 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ , Puls-zu-Puls-Distanz  $d = 8 \mu\text{m}$ , Abtragtiefe pro Schicht  $2 \mu\text{m}$ , Anzahl der Schichten 50 mit  $2 \mu\text{m}$  Fokuspfechtung nach jeder Schicht, Fluenzen  $H_{775\text{nm}} = 2,41 \text{ J/cm}^2$ ,  $H_{387\text{nm}} = 23,85 \text{ J/cm}^2$ ,  $H_{258\text{nm}} = 58,78 \text{ J/cm}^2$ , 30 Minuten Nachbehandlung in KOH-Lösung zur Entfernung von Debris.

## Superharte ta-C Schichten und Schichtstapel

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

Durch immer höhere Anforderungen an die Standzeiten von Werkzeugen und Bauteilen in der Industrie werden superharte, verschleißfreie und reibmindernde Schichten immer wichtiger. An der Hochschule Mittweida werden superharte ta-C Schichten mittels Laserpulsablation auf verschiedenen Materialien hergestellt und auf ihre besonderen Schichteigenschaften hin untersucht. Die nahezu spannungsfreien superharten diamantartigen Kohlenstoffschichten weisen Härten (Substratmaterial WC-Hartmetall) von 55 GPa und höher auf, das Elastizitätsmodul liegt im Bereich von 600 bis 800 GPa.

In neuesten Untersuchungen werden diese Schichten in Schichtstapeln mit anderen Schichtmaterialien kombiniert abgeschieden, um die Elastizität und Zähigkeit des Gesamtschichtsystems zu verbessern, wobei die Härte konstant gehalten werden soll. Die Untersuchungsergebnisse, die zeigen, dass dies möglich ist, werden vorgestellt und diskutiert.



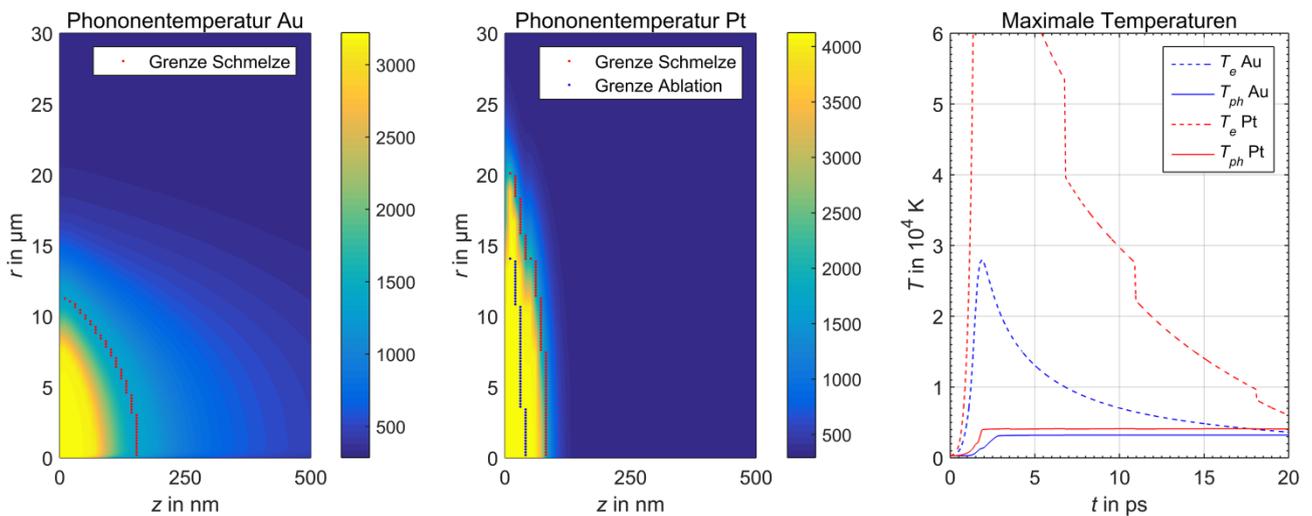
Superharte spannungsfreie ta-C-Schichten abgeschieden auf verschiedenen Werkzeugen und Materialien.

# SIMULATION DER TEMPERATURVERTEILUNGEN IN GOLD UND PLATIN INFOLGE DER BESTRAHLUNG MIT ULTRAKURZEN LASERPULSEN

Markus Olbrich, Peter Lickschat, Jörg Schille, Lutz Schneider, Udo Löschner, Steffen Weißmantel und Alexander Horn

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Zur Berechnung der bei der Lasermaterialbearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen stattfindenden Prozesse ist die Erweiterung der Wärmeleitungsgleichung nach Fourier auf das Zwei-Temperatur-Modell (TTM) notwendig. Aus dem gewählten Modell folgen eine getrennte Betrachtung des Elektronen- und Phononensystems sowie deren Kopplung über einen Kopplungsterm in den Differentialgleichungen. Die notwendigen theoretischen Grundlagen werden dargestellt sowie die verwendeten Parameter erläutert. Verschiedene Simulationsergebnisse werden für die Metalle Gold und Platin dargestellt und mit experimentellen Ergebnissen verglichen. Beide Metalle unterscheiden sich hinsichtlich ihrer thermophysikalischen Eigenschaften und in ihrem Kopplungsverhalten, was in unterschiedlichen Bearbeitungsergebnissen, wie verschiedenen Schmelz- und Ablationsschwellen oder Bearbeitungsdurchmessern, resultiert.



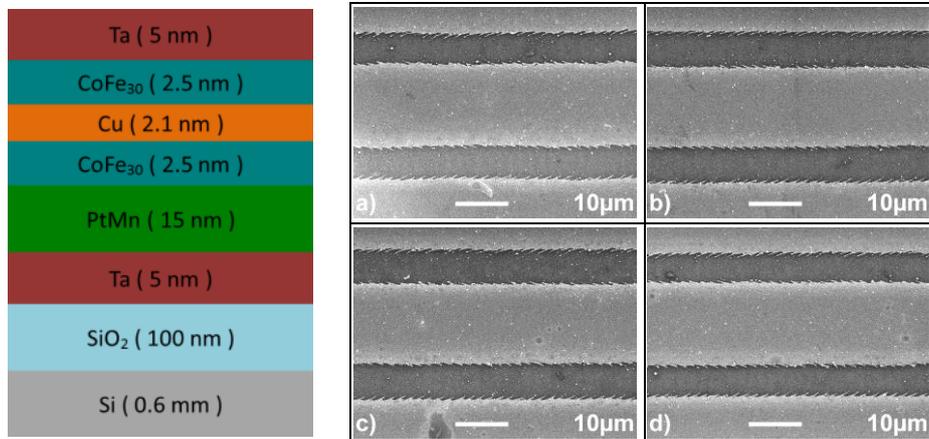
Simulierte Temperaturverteilungen für Gold und Platin für jeweils  $1 \mu\text{m}$  Schichtdicke,  $E_p = 14,1 \mu\text{J}$ ,  $w = 13,6 \mu\text{m}$ ,  $\lambda = 1030 \text{ nm}$ , Pulsform  $\text{sech}^2$  mit  $t_H = 500 \text{ fs}$

# INVESTIGATION OF LASER MICRO STRUCTURING OF SPINTRONIC STACK LAYERS USING A HIGHLY-REPETITIVE FEMTOSECOND LASER

M. Mueller, R. Ebert, J. Schille, H. Exner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

The paper presents a study of laser ablation of spintronic stack layer by using a highly-repetitive femtosecond laser in combination with a galvanometer scan system. The study aims to investigate the feasibilities in laser micro structuring of spintronic stack layer systems for magnetic field sensor fabrication, based on Giant Magneto-Resistance (GMR) technology. In the experiments a 30 mm f-theta focusing lens and two microscope objectives (20X / 50X magnification) were utilized in order to obtain small focal spot radius ranging between 9.1  $\mu\text{m}$  and 1.2  $\mu\text{m}$ , respectively. Employing the line-scan laser process regime, the metallic layers of the stack system were removed without any damage to the silicon oxide / silicon substrate. As a result conductor paths with micro-scaled feature sizes were fabricated. The smallest width of the ablation tracks obtained was 1  $\mu\text{m}$ . Further, the processing quality has been evaluated by means of SEM images with respect to the processing parameters, such as laser fluence, energy per unit length, temporal and spatial pulse distance.



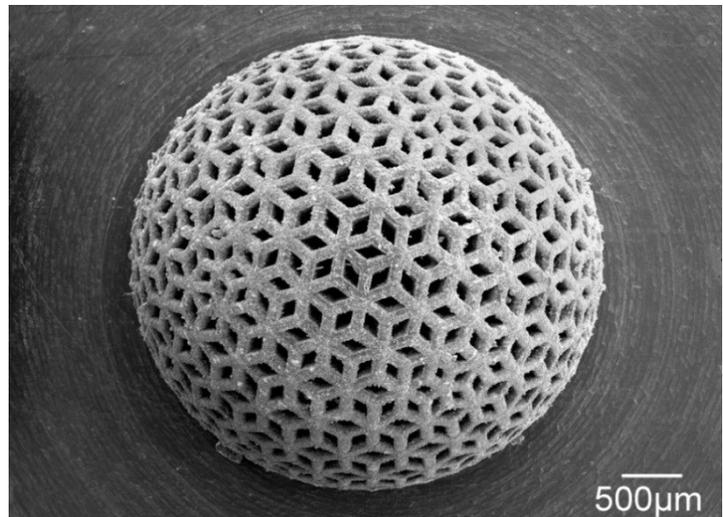
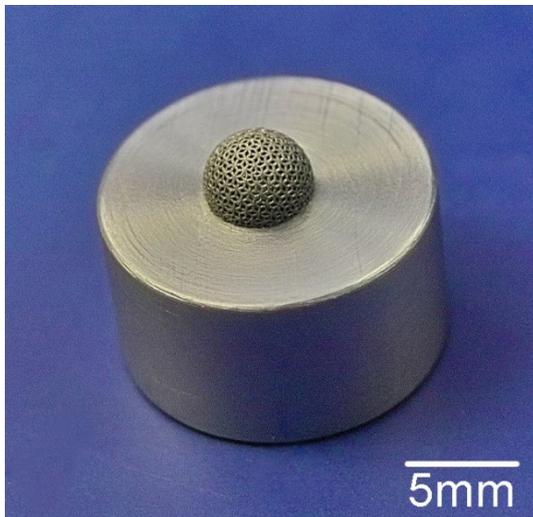
# GENERIERUNG VON SINTERKÖRPERN AUS CERMETARTIGEM PULVERMATERIAL MITTELS LASERMIKROSINTERN

M. Horn, R. Ebert, H. Exner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Cermets sind Verbundwerkstoffe bestehend aus einem keramischen Anteil der eingebaut ist in einer metallischen Matrix. Sie zeichnen sich besonders durch hohe Verschleißfestigkeit und Temperaturstabilität aus und werden daher meist industriell in der Elektrotechnik als Widerstandsschicht oder im Werkzeugbau als Verschleißschutzschicht eingesetzt.

Für die Untersuchungen wurden Pulvergemische aus Aluminiumsilikat, Molybdän und Kupfer bzw. Tantalcarbid und Edelstahl angefertigt. Das Lasermikrosintern wurde vergleichsweise mit Laserquellen der Wellenlängen 355nm und 1.063nm realisiert. Es wurden insbesondere das ausgebildete Gefüge, die Dichte sowie die Druckfestigkeit der Bauteile analysiert. Nachfolgende Temperschnitte sollten die Bauteileigenschaften weiter positiv verändern. Die erzielte Auflösung wurde anhand von Gitterstrukturen ausgewertet und mit Sinterkörpern, die aus reinem Metallpulver generiert wurden, verglichen.



3D Mikrogitterstruktur aus Edelstahl-Siliziumcarbid Cermet

# CO<sub>2</sub>-LASERGLÄTTUNG VON DIFFRAKTIVEN PHASENELEMENTEN IN QUARZGLAS

Michael Pfeifer, Sebastian Büttner, Steffen Weißmantel  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Die CO<sub>2</sub>-Laserglättung ist als Verfahren zur Reduzierung von Oberflächenrauheiten von Gläsern und Kunststoffen etabliert. Wir haben dieses Verfahren hinsichtlich der temperaturgesteuerten Glättung von diffraktiven Phaseelementen in Quarzglas weiterentwickelt. Mittels CO<sub>2</sub>-Laserglättung können herstellungsbedingte Fehler, wie unerwünscht auftretende Stege zwischen den einzelnen Pixeln, nahezu vollständig entfernt und die Oberflächenrauheit reduziert werden. Es wurden zwei verschiedene Laserglättungsverfahren grundlegend bezüglich deren Wirkungsweise, Effizienz und Industrietauglichkeit untersucht. Zum einen die Laserglättung unter Einsatz einer Zylinderlinse in Kombination mit einer Linearachse und zum anderen die Laserglättung unter Einsatz eines Scanners. Mit dem Zylinderlinsen-Verfahren kann die Oberflächenrauheit auf bis zu  $S_q = 14$  nm reduziert werden und mit dem Scanner-Verfahren auf bis zu  $S_q = 10$  nm, ohne dabei die Geometrie der Struktur maßgeblich zu verändern.

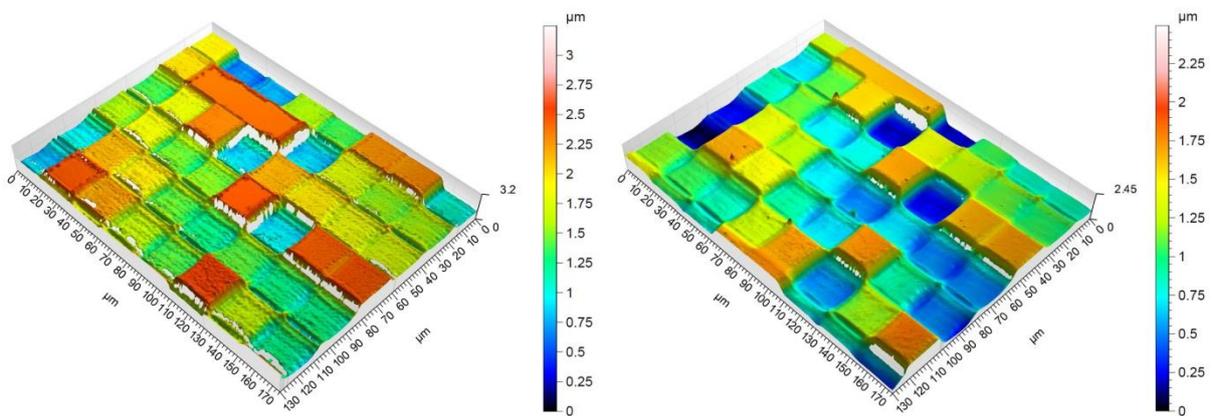


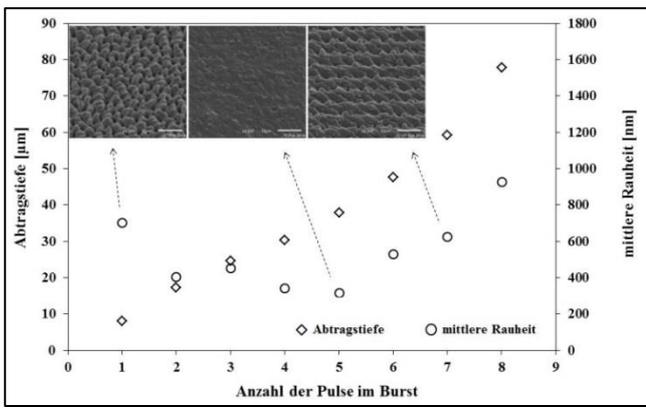
Bild 1: Konfokalmikroskopaufnahme eines DPEs vor (links) und nach (rechts) der CO<sub>2</sub>-Laserglättung

# MIKROSTRUKTURIERUNG VON STAHL MIT PIKOSEKUNDENLASERPULSEN IM BURST-MODUS

Peter Lickschat, Steffen Weißmantel

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Ergebnisse werden präsentiert, die bei Untersuchungen mit dem Burst-Modus eines Pikosekundenlasers bei der Mikrostrukturierung von Stahl erzielt wurden. Im Burst-Modus kann die Energie eines Einzelpulses auf einen Burst, der aus bis zu 8 Einzelpulsen bestehen kann, verteilt werden. Die Einzelpulse im Burst haben dabei einen zeitlichen Abstand von 12,5 ns. Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass bei Verwendung des Burst-Modus die Möglichkeit besteht, eine hohe mittlere Leistung auf der Probe umzusetzen, bei moderaten Burstfolgefrequenzen im kHz-Bereich. Die erzeugten Strukturen haben dabei eine hohe Qualität, was anhand einer geringen mittleren Rauheit des Strukturbodens aufgezeigt werden konnte. Die Strukturböden weisen neuartige Oberflächenstrukturen auf, die sich von den üblicherweise auftretenden Mikrostrukturen bei der Bearbeitung mit Ultrakurzpulslasern unterscheiden. Der Burst-Modus scheint eine gute Alternative zu anderen Bearbeitungsprinzipien zu sein, wenn es um eine hohe Produktivität und gleichzeitig gute Qualität der Bearbeitung von Stahl mit Ultrakurzpulslasersystemen geht.

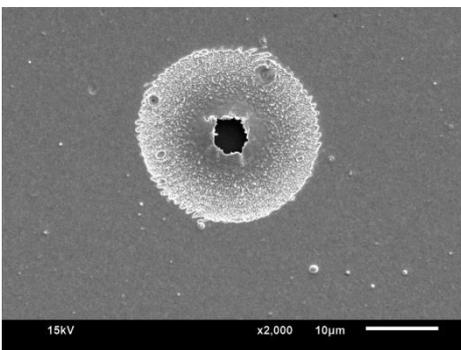


# EINZELPULSABTRAG VON METALLSCHICHTEN MIT ULTRAKURZEN LASERPULSEN UNTERSCHIEDLICHER PULSDAUER

Peter Lickschat, Jörg Schille, Markus Olbrich, Lutz Schneider, Alexander Horn,  
Steffen Weißmantel

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

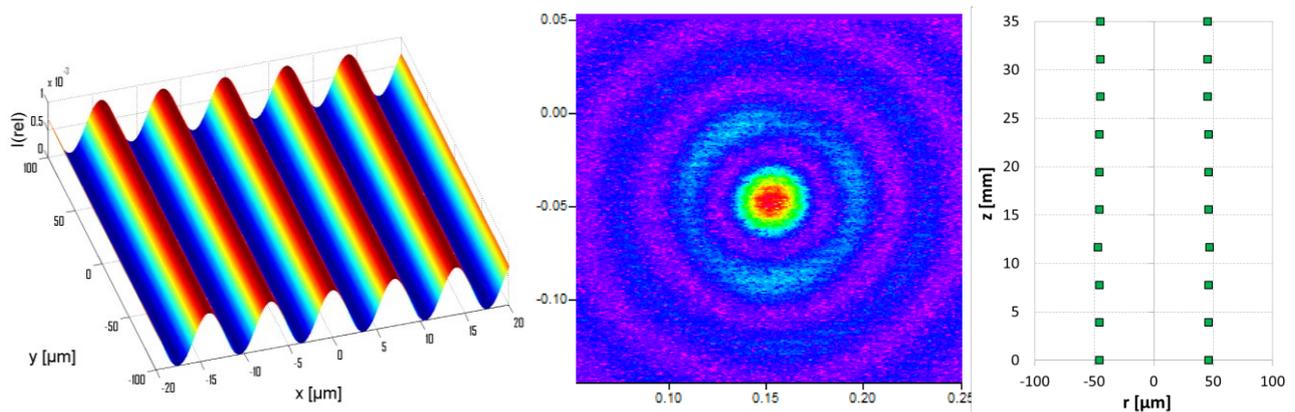
Grundlagenuntersuchungen zum Abtragprozess mittels ultrakurzer Laserpulse werden präsentiert. Bei den Untersuchungen wurden Einzelpulsabträge auf Platin-, Aluminium- bzw. Goldschichten realisiert, um Abhängigkeiten des Abtrages von der Fluenz und der Pulsdauer aufzuzeigen. Die Pulsdauer wurde im Bereich von 200 fs bis 10 ps und die Fluenz der Laserpulse von  $0,8 \text{ J/cm}^2$  bis  $15 \text{ J/cm}^2$  variiert. Zum Vergleich und zur Interpretation der Ergebnisse wurden der Ablationsdurchmesser, die Ablationstiefe und das ablatierte Volumen bestimmt. Dabei zeigte sich, dass in Abhängigkeit von der Pulsdauer bei gleicher Fluenz sich sowohl der Ablationsdurchmesser als auch die Ablationstiefe und damit verbunden auch das pro Laserpuls ablatierte Volumen ändern. Die Änderung der unterschiedlichen Ablationskenngrößen ist dabei stark materialabhängig. Die höchste Effizienz (abgetragenes Volumen pro mittlerer Leistung) des Abtragsprozesses wird bei den untersuchten Materialien in unterschiedlichen Parameterfenstern erreicht.



# UNTERSUCHUNGEN ZUR LASERMIKROSTRUKTURIERUNG UNTER NUTZUNG UNKONVENTIONELLER STRAHLFORMUNG

Isabel Berthold, Markus Olbrich, Robby Ebert, Horst Exner  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Neuartige Strahlformungsmethoden rücken bei der Lasermikrostrukturierung immer mehr in den Fokus. Wir haben uns mit der Erzeugung und Nutzung von Besselähnlichen Strahlen sowie von Interferenzeffekten beschäftigt. Die Besselähnlichen Strahlen wurden mit einem Axikon erzeugt. Für die Realisierung der Interferenzstrukturierung wurden DEO genutzt. Es werden optische Simulationen, Messergebnisse zur Strahlverteilung sowie erste Bearbeitungsergebnisse gezeigt.

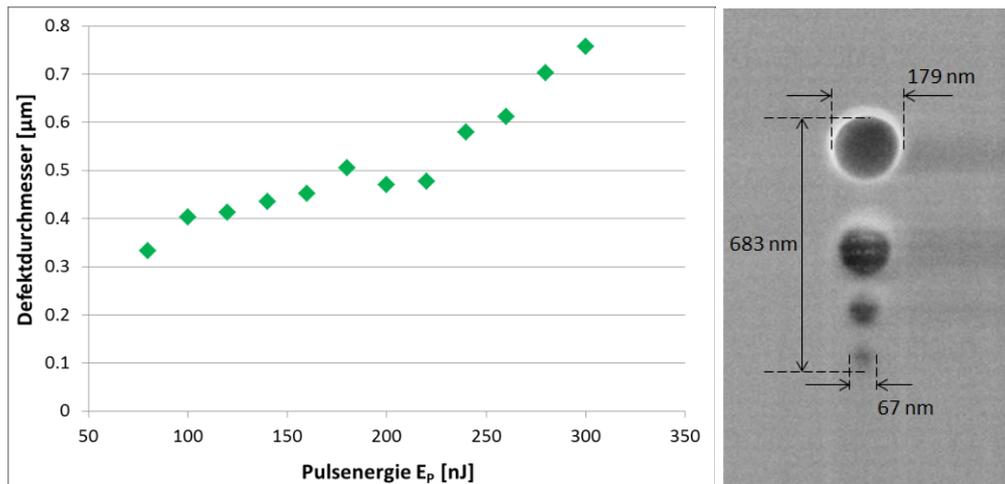


Links: berechnetes Interferenzmuster für DOE; Rechts: gemessenes Besselähnliches Strahlprofil nach Fokussierung durch Axikon

# UNTERSUCHUNGEN ZUR HOCHAUFGELÖSTEN INNENBEARBEITUNG VON GLAS

Isabel Berthold, Jana Kubistova, Robby Ebert, Horst Exner  
Lasereinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Die Innenbearbeitung von transparenten Materialien insbesondere mit ultrakurzen Pulsen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Sowohl Mikroschweißverfahren als auch schnelle Trennverfahren und die Erzeugung von Bragg-Gittern auf dieser Basis sind bereits in der Anwendung. Unser Fokus lag auf der perspektivischen Erzeugung von 3D Mikroteilen aus Glas-Materialien und als Grundlage dafür die Erforschung der Auflösungsgrenzen durch Nutzung hoch fokussierender Optiken. Es konnten Intensitäten bis zu  $132 \text{ TW/cm}^2$  bei Fokusburchmessern unter  $2 \mu\text{m}$  erzeugt werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden anhand von Mikroskop-Bildern sowie Bruch- und FIB-Präparationen gezeigt.

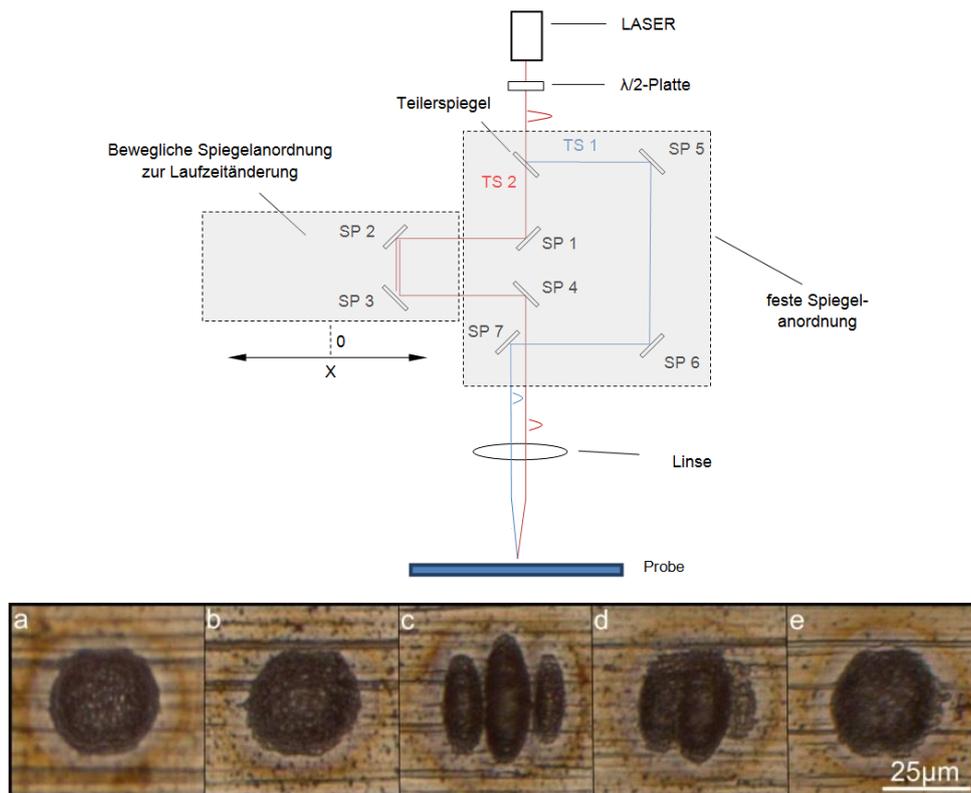


Links: Defektdurchmesser in Abhängigkeit von der Pulsenergie mit Immersionsobjektiv (Brennweite Optik 2mm, optisch gemessen);  
Rechts: kleinste nachgewiesene Modifikation mit einem Durchmesser von 67 nm (FIB-Präparation; Brennweite Optik 4mm; Pulsenergie 350 nJ)

# AUFBAU UND UNTERSUCHUNG EINER VERZÖGERUNGSSTRECKE FÜR DIE DOPPELPULS-LASERABLATION MIT ULTRAKURZEN PULSEN

Sebastian Kraft, Jörg Schille, Lars Hartwig, Lutz Schneider, Udo Löschner, Horst Exner  
 Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Es wird der Aufbau und die Validierung einer Verzögerungsstrecke (Delaystage) vorgestellt, mit der die zeitliche Modulation der Energieeinbringung beim Laserabtragen mit ultrakurzen Pulsen untersucht werden kann. Mit Hilfe eines eigens dazu entwickelten optischen Aufbaus wird der Laserstrahl in zwei Teilstrahlen zerlegt und durch Veränderung der Strahlweglänge Laufzeitunterschiede zwischen den Pulsen zwischen  $-250 \text{ ps} < t_{\text{Delay}} < 6 \text{ ns}$  erreicht. Als geometrische „Null-Position“ der Verzögerungsstrecke wurde die zeitliche Überlagerung der beiden Teilstrahlen festgelegt, die durch Interferieren der beiden Teilstrahlen anhand eines abgetragenen Interferenzmusters experimentell nachgewiesen wurde. Die kleinste einstellbare Wegstreckenänderung beträgt  $10 \mu\text{m}$ , die einer Strahlwegverlängerung von  $20 \mu\text{m}$  und damit einer Laufzeitänderung von  $66 \text{ fs}$  entspricht. In den durchgeführten Untersuchungen zum Laserabtragen mit Doppelpulsen wurden neben dem zeitlichen Abstand auch die Pulsdauer zwischen  $200 \text{ fs} < \tau_H < 10 \text{ ps}$  und die Fluenz variiert. Es werden erste Ergebnisse eigener Untersuchungen zum Einfluss des zeitlichen Puls-zu-Puls-Abstandes auf die Abtragschwelle, die Abtrageffizienz sowie die Bearbeitungsqualität präsentiert. Dazu wurden Ablationskrater mit einer unterschiedlichen Anzahl von Pulsen hergestellt und hinsichtlich Kratertiefe und Abtragsvolumen evaluiert. Die Ergebnisse werden mit denen durch Einzelpulsbestrahlungen gefertigten Ablationskratern verglichen und bestehende Unterschiede diskutiert. Die Bearbeitungsqualität wird anhand von Rasterelektronenmikroskopie-Aufnahmen bewertet. Die Arbeit leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Aufklärung der bei der Ultrakurzpuls-Laserbearbeitung mit sehr hohen Pulsfolgefrequenzen stattfindenden Wechselwirkungsprozesse, wie sie beispielsweise bei der hochrepetierenden oder der Burst-Laserbearbeitung zu finden sind. Weiterhin werden aus den erhaltenen Ergebnissen wichtige Aussagen zur effektiveren Gestaltung des Ultrakurzpuls-Laserabtrags in Bezug auf Abtrage, Effizienz und Qualität abgeleitet.



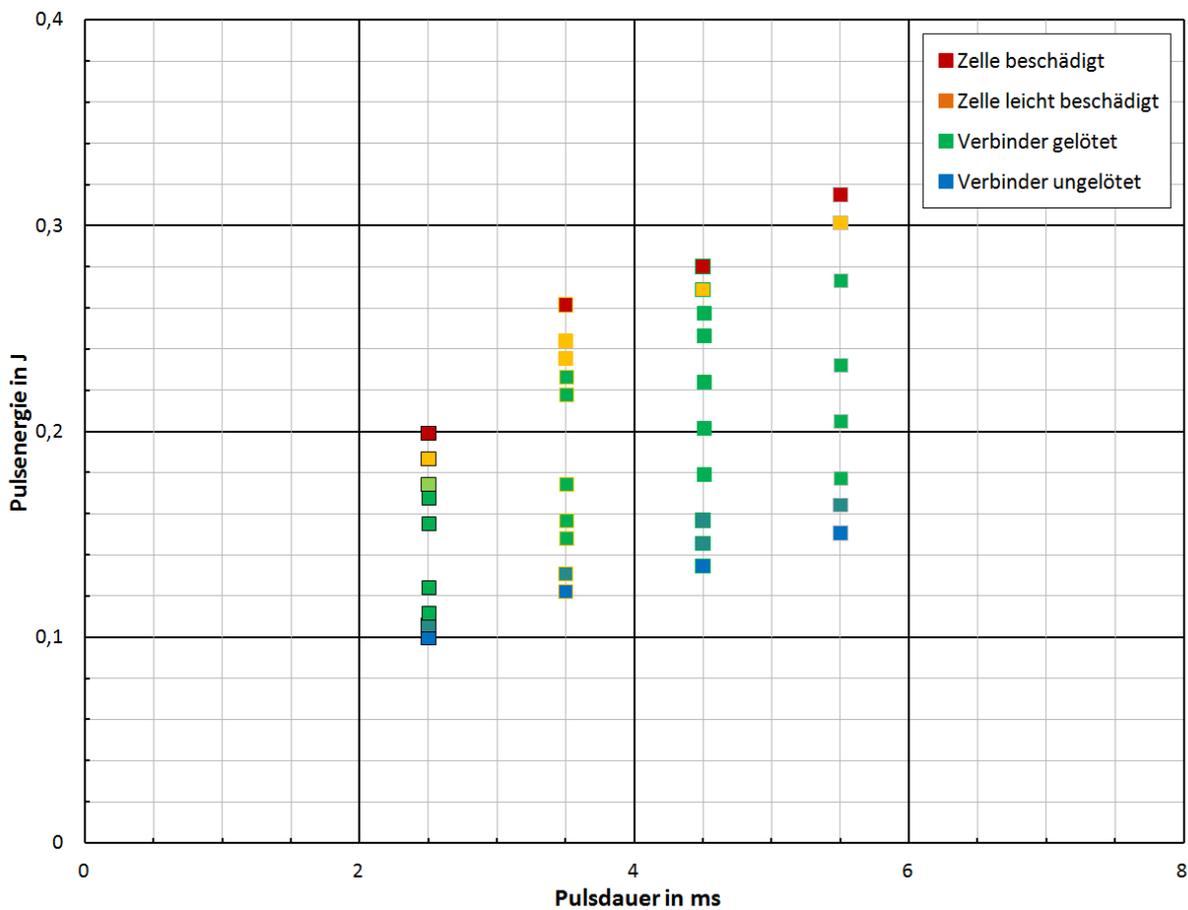
**Abb.1** oben: Schematischer Aufbau der Verzögerungsstrecke; unten: lichtmikroskopische Aufnahmen der in Kupfer mit folgender Zeitverzögerung gefertigten Ablationskrater:  
 a) -666 fs, b) -333fs, c) Null-Position, d) + 333fs, e) + 666 fs

# SCHNELLES LASERLÖTEN VON ZELLVERBINDERN

Sebastian Weinhold, Robby Ebert, Horst Exner  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Das Laserlöten von Zellverbindern in der Photovoltaik ist ein bekanntes Verfahren, das sich allerdings bislang gegenüber dem konventionellen Lötverfahren nur punktuell durchsetzen konnte und somit als Sonderverfahren kaum eine Bedeutung besitzt. Im Hinblick auf neue Zellkonzepte, bei denen die Zellen empfindlich auf hohe Temperaturen reagieren, oder eine verbesserte Modullebensdauer aufweisen müssen, werden neue Laserlötverfahren aber zunehmend interessant.

Es werden grundlegende Untersuchungen und Ergebnisse zu einem neuartigen schnellen Laserlötverfahren vorgestellt. Dieses Verfahren unterscheidet sich gegenüber den bisherigen Lötverfahren dadurch, dass mittels eines kurzen Laserpulses im Millisekundenbereich die zum Löten benötigte thermische Energie im Zellverbinder durch einen Tiefschweißpunkt deponiert wird ohne die Zelle selbst oder den kompletten Zellverbinder übermäßig aufzuheizen. Auf diese Weise konnte die thermische Belastung der Zelle signifikant verringert werden. Auch durch den Abkühlprozess beim konventionellen Löten auftretende mechanische Spannungen zwischen Verbinder und Zelle wurden entsprechend verringert. Die Festigkeit der erzeugten Lötverbindungen wurde durch Drahtabzugstests überprüft und lag im Bereich der Festigkeit des Zellverbinders.



Qualität der Lötverbindung in Abhängigkeit von der verwendeten Pulsenergie und der wirkenden Pulsdauer

# STRUKTURIERUNG VON ZELLVERBINDERN DURCH SCHMELZUMLAGERUNG

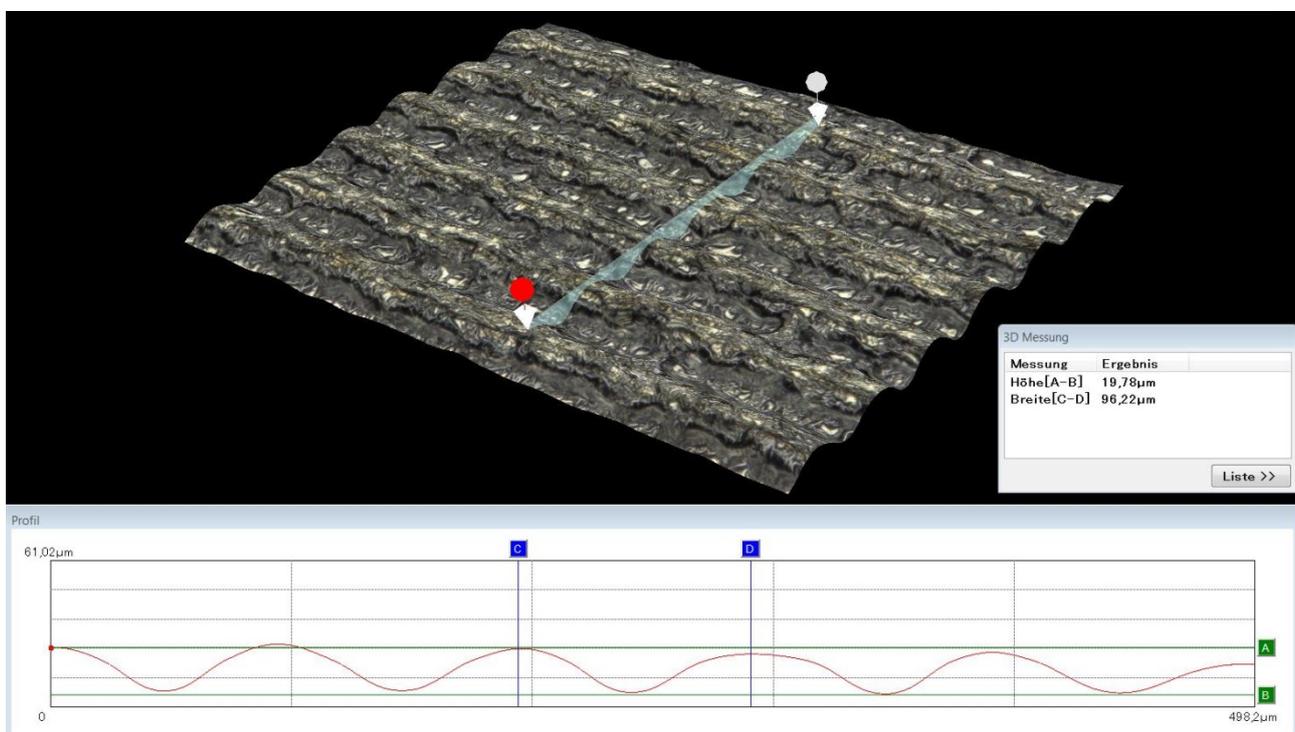
Sebastian Weinhold<sup>1</sup>, Robby Ebert<sup>1</sup>, Martin Kutzer<sup>2</sup>, Horst Exner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

<sup>2</sup>Solarworld Innovations GmbH, Berthelsdorfer Str. 111 A, D-09599 Freiberg

Zur Verbesserung der Effizienz von Solarmodulen gibt es schon länger die Überlegung das Sonnenlicht, welches auf Totbereiche im Modul fällt, durch Streuung oder Mehrfachreflexion zusätzlich für die Solarzelle nutzbar zu machen. Zu den besagten Bereichen zählen neben den Zellzwischenräumen auch die Zellverbinder, die auf der sonnenzugewandten Seite der Solarzelle einfallendes Licht reflektieren und die Zelle abschatten.

Durch eine Erzeugung von oberflächlichen Wellenstrukturen mittels Laserstrukturierung sollte eine Mehrfachreflexion des auf den Zellverbinder einfallenden Sonnenlichts hin zur Solarzelle erfolgen. Um möglichst wenig Wärmeenergie in den Zellverbinder einzubringen, wurde mittels Monomode-Faserlaser und schneller Strahlableitung über ein Laserscannersystem ein Schmelzumlagerungsprozess initiiert. Bei diesem wurde nur die auf der Oberseite des Verbinders vorhandene Lotschicht zu einer Wellenstruktur umgeformt. Es wurde die Abhängigkeit der Strukturbildung von den Laserparametern untersucht. Die erzielten Ergebnisse werden präsentiert. Die Wirkung der erzeugten Strukturen wurden mit dem LBIC – Verfahren validiert und ein zusätzlicher Lichteintrag von bis zu 21 % festgestellt.



Profilaufnahme einer Probestruktur (P = 41,5 W; v = 5 m/s)

# AUFTRAG VON HOCHFESTEN ALUMINIDSCHICHTEN AUF ALUMINIUM-WERKSTOFFE DURCH LASERAUFTRAGSCHWEIßEN

S. Gronau<sup>1</sup>, T. Scherzberg<sup>2</sup>, R. Ebert<sup>1</sup>, G. Leonhardt<sup>†3</sup>, H. Exner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

<sup>2</sup>BECKMANN-INSTITUT für Technologieentwicklung e.V., Turleyring 15, D-09376 Oelsnitz/Erzgebirge

<sup>3</sup>ProCon GmbH, Annaberger Straße 240, 09125 Chemnitz

Im Zusammenhang mit der Entwicklung von Leichtbauteilen sind neben Polymer- und Keramikwerkstoffen vor allem Oberflächenvergütungen von Al-Werkstoffen von entscheidender Bedeutung [1-9]. Durch die zahlreichen vorteilhaften Materialeigenschaften steigt dabei vor allem das Interesse an Eisen- und Titanaluminid-Legierungen [11-13]. Deren Anwendungen sind bisher aber vor allem durch eine geringe Wirtschaftlichkeit ihrer Herstellungsverfahren begrenzt. Mit Pulvergemischen aus kostengünstigen Standardpulvern können beim Laserauftragschweißen eine gesteuerte Aluminidbildung ausgelöst und damit Schichten auf Al-Grundwerkstoffe aufgebracht werden, die neben einer geringen Dichte vor allem sehr gute Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften aufweisen. Ziel der Arbeiten war es, neben der Optimierung der Parameter die Wirtschaftlichkeit des Prozesses zu gewährleisten und einen Demonstrator in Form einer beschichteten Aluminium-Bremsscheibe herzustellen. Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zur Optimierung des Prozesses werden vorgestellt.



Mikroskopaufnahme eines Schliffes zum Nachweis der Eisen-Aluminid-Bildung bei einer mittels Laserauftragschweißen aufgetragenen Schicht auf AlMgSi

- 
- [1] K. U. Kainer: *Metal Matrix Composites – Custom made Materials for Automotive and Aerospace Engineering*, WILEY-VCH Verlag GmbH Co. KGaA (2003), *Verstärkte Leichtmetalle – Potential und Anwendungsmöglichkeiten*, VDI-Berichte Nr. 965.1, S. 159 (1992)
- [2] T. Zeuner, P. R. Sahn: *Gießerei* 85 (1998), S. 39, 47
- [3] F. Langbein, R. Mergen: *Ein neuer Aluminiumlagerwerkstoff – Wettbewerb der härtesten Gleitlager-systeme*, Tagungsbeitrag, S. 125-139 (2010)
- [4] A. Weisheit, F. Oldörp, B. L. Mordicke, R. Haude: *Randschichtbehandlung von Aluminiumwerkstoffen mit Hilfe eines gepulsten Nd:YAG-Lasers*, in *Aluminium* 72 (1996) S. 522
- [5] A. Eltze: *Lasernitrieren von Aluminiumwerkstoffen*, Herbert Utz Verlag GmbH, ISBN 3-8316-0102-X, S. 105ff. (2002)
- [6] J.A. Vreeling, V. Ocelik, Y. T. Pei, D.T.L. van Agterveld, J. Th. M De Hosson: *Laser melt injection aluminum alloys: on the role of the oxide skin*, *Acta Materialia*, Volume 48, Issue 17 (2000), S. 4225-4233
- [7] M. Bögl: *Laserdispersieren von Hartstoffen in Aluminiumlegierungen*, Diplomarbeit TU-Wien (1998)
- [8] D. Fischer, W. Löschau: *Hartstoff-Dispersionsschichten auf Aluminium-Legierungen zum Verschleißschutz*, Härterei-Technische Mitteilungen: HTM 52 (1997) Nr. 4, S. 217-220
- [10] *Verfahrensentwicklung zum Laserdispersieren von Si-Hartstoffen in Aluminiumlegierungen zum partiellen Verschleißschutz*, Schlussbericht TU Chemnitz, 13.596 B (2005), [https://www.tu-chemnitz.de/mb/lvw/forschung/pdf/AiF13.596%20B\\_Zusammenfassung.pdf](https://www.tu-chemnitz.de/mb/lvw/forschung/pdf/AiF13.596%20B_Zusammenfassung.pdf)
- [11] M. Palm: *Fe-Al materials for structural applications at high temperatures*: *International Journal of Materials Research* 100, 3, 277-287 (2009)
- [12] G. Rolink: *Laser metal deposition and selective laser melting of Fe-28 at.% Al*, *J. Mater. Res.*, Vol. 29, No. 17 (2014)
- [13] M. Oehring: *Titanaluminid-Legierungen auf dem Weg in die Anwendung*, Funktionale Werkstoffsysteme, Jahresbericht Helmholtz-Zentrum Geesthacht S.26-28 (2008)

# ERZAUFSCHLUSS MITTELS LASERTECHNOLOGIE

André Streek, Stefan Mauersberger, Lutz Schneider  
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

## Abstract

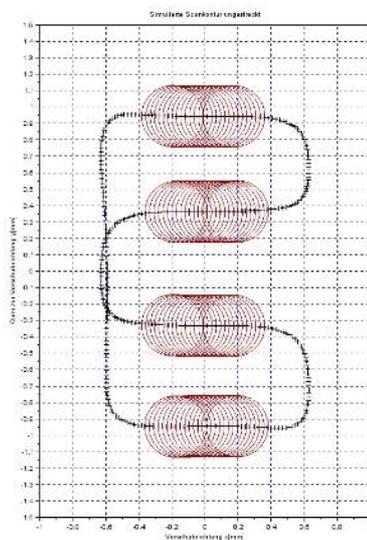
Der stetig wachsende Verbrauch an industriell eingesetzten seltenen Erden / Mineralien und die zunehmende Erschöpfung hochwertiger Lagerstätten bedarf mittelfristig der Hinwendung zu effizienteren Aufschlussmethoden und -verfahren. Hierfür wurden am Laserinstitut Hochschule Mittweida grundlegende Untersuchungen zum lasergestützten Aufschluss von mineralarmen und feinverteilten Erzen durchgeführt. Mittels einer multiphysikalischen Prozesssimulation wurden anhand des Verteilungsgrades und der Inklusionsgröße der feinverwachsenen Erze die prinzipielle Machbarkeit sowie die grundlegenden Prozessparameter für die Wechselwirkung zwischen Laserstrahlung und Materie eruiert. Die anschließende Extraktion von Mineral fand an erzhaltigem Probenmaterial mittels eines 6 kW Faserlasersystems statt. Der qualitative Aufschluss wurde mit begleitenden chemischen Analysen belegt und quantitative Betrachtungen zur Aufschlusseffizienz angestellt.



# FINDEN UND AUSNUTZEN DER DYNAMIKGRENZEN VON SCANNENDEN STRAHLFORMUNGSSYSTEMEN

Thomas Kimme, Dr. Hans-Michael Ochlich, Benjamin Quellmalz  
LASERVORM GmbH, Südstraße 8, D-09648 Altmittweida

Komplexe optomechatronische Systeme sind die Basis für viele moderne Laserbearbeitungsverfahren. Diese Systeme werden oft in Grenzbereichen hinsichtlich Dynamik und Präzision betrieben. Für einen optimalen Einsatz solcher Systeme sind aufwendige Parametrierungsvorgänge nötig bzw. werden Optimierungspotenziale nicht ausgenutzt. Im Posterbeitrag werden moderne Hard- und Softwarelösungen gezeigt, die eine drastische Effektivierung dieser Tätigkeiten ermöglichen.



# UNTERSUCHUNGEN ZUR LASERINDUZIERTERN ERZEUGUNG VON MIKROKAVITÄTEN IN PMMA

Tina Viertel<sup>1</sup>, Robby Ebert<sup>1</sup>, Marcus Olbrich<sup>1</sup>, Jens Bliedtner<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

<sup>2</sup>Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, D-07745 Jena

In dieser Veröffentlichung werden grundlegende Ergebnisse zur Erzeugung von Mikrokavitäten in PMMA mit ultrakurz-gepulster Laserstrahlung vorgestellt ( $\lambda = 1.030 \text{ nm}$ ,  $\tau_H = 180 \text{ fs}$ ). Durch eine starke Fokussierung der Laserstrahlung über ein Mikroskopobjektiv auf einen Fokusedurchmesser von  $1,6 \mu\text{m}$  wurden über den Prozess der Mehrphotonenabsorption Mikroexplosionen induziert, die schließlich zur Generierung von Mikrokavitäten führten.

Die Abhängigkeit der Größe dieser Kavitäten von der Pulsenergie bzw. Intensität sowie der Einfluss der Aberration auf die axiale Ausdehnung der Kavitäten mit steigender Materialtiefe wurde simuliert und untersucht. Durch Nutzung gegenläufiger Effekte konnte eine optimale Pulsenergie gefunden werden, mit der in allen untersuchten Tiefen Kavitäten gleicher axialer Ausdehnung erzeugt werden konnten. Es wurden weiterhin Schwellintensitäten für die Erzeugung von Kavitäten in den verschiedenen Tiefen bestimmt. Der kleinste Kavitätedurchmesser betrug ca.  $600 \text{ nm}$ .

In this paper, the results of void generation in transparent polymer with ultrashort pulse laser radiation were presented ( $\lambda = 1.030 \text{ nm}$ ,  $\tau_H = 180 \text{ fs}$ ). By tightly focusing the laser radiation to a diameter of  $1,6 \mu\text{m}$ , using a microscope objective, through the process of multiphoton absorption micro explosions were induced, which finally generated micro voids. The dependence of the void size on the pulse energy and the influence of aberration on the axial expansion with increasing material depth were simulated and investigated. By the use of opposing effects there was a pulse energy found, by which the axial expansion for all investigated material depths was equal. There were also determined the threshold intensities for void generation for different material depths. The smallest void diameter amount to approximately  $600 \text{ nm}$ .

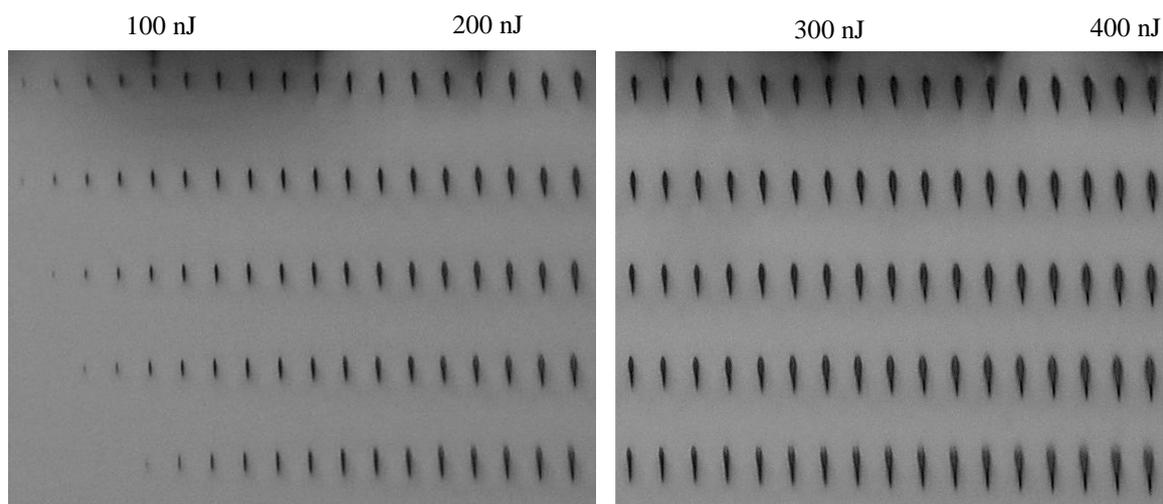


Abbildung 1: Schliffbild von Mikrodefekten unter Variation der Pulsenergie in verschiedenen Materialtiefen (erste Ebene  $70 \mu\text{m}$  im Material, alle weiteren im Abstand von  $40 \mu\text{m}$ ) Figure 1: Side-view of the voids, variation on pulse energy in different material depths (first level  $70 \mu\text{m}$  in the material, all others in a distance from  $40 \mu\text{m}$ )