



Laserinstitut
Hochschule Mittweida



**HOCHSCHULE
MITTWEIDA**
University of Applied Sciences

Tagungsunterlagen

13. Mittweidaer Lasertagung

8. und 9. November 2023 an der Hochschule Mittweida



INHALTSVERZEICHNIS

Keynote-Vortrag

Additive Manufacturing: Innovative Solutions for Industry07
Frank Brückner^{1,2}, Elena Lopez¹, Moritz Greifzu¹, Mirko Riede¹, Lukas Stepien¹, Holger Hillig¹, Christoph Leyens^{1,3}
1: Fraunhofer IWS; 2: Luleå University of Technology; 3: TU Dresden

Session 1: Additive Fertigung

Entwicklungen zum Makro-SLM für die additive Fertigung08
großvolumiger Metallbauteile
Martin Erler, Sebastian Weinhold, Michael Pfeifer, André Streek
Laserinstitut Hochschule Mittweida

Endkonturnahes selektives Lasersintern von keramischen Pulvern09
Markus Kühn¹, Anne-Marie Layher¹, Felix Thumann¹, Sarah Kaden¹, Oliver Elies¹, Amy Fritz¹,
Jens Bliedtner¹, Daniel Störzner², Patrick Hähle²
1: Ernst Abbe Hochschule, Carl-Zeiß-Promenade 2, 07745 Jena; 2: LCP Laser-Cut-Processing GmbH,
Heinrich-Hertz-Straße 16, 07629 Hermsdorf

Additive Fertigung und Eigenschaften der metastabilen Titanlegierungen10
Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr
Frank Schubert¹, Daniel Knoop², Jonas Haller¹, Lothar Kroll¹, Anastasiya Tönjes²
1: TU Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau; 2: Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien – IWT

Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher11
Bestrahlung im Mikro-SLM
Laura Römer, Martin Erler, André Streek
Laserinstitut Hochschule Mittweida

Session 2: UKP-Laserbearbeitung

High precision drilling with aspect ratios of 1:40: From laser source to application12
Florian Lendner¹, Roswitha Giedl-Wagner¹, Steffen Rübling², Marc Sailer², Axel Fehrenbacher²
1: GFH GmbH; 2: TRUMPF Laser GmbH

2-µm central wavelength ultrafast fiber CPA with compact design13
Christian Gaida¹, Frieder Jansen¹, Malte Kumkar², Oliver Herrfurth¹, Sven Breitkopf¹, Tino Eidam¹, Jens Limpert¹
1: Active Fiber Systems GmbH; 2: TRUMPF Laser GmbH

Untersuchungen zur Bestrahlung von Goldschichten mit Doppelpulsen von14
ultrakurz gepulster Laserstrahlung
Markus Olbrich, Theo Pflug, Nick Börnert, Philipp Lungwitz, Andy Engel, Peter Lickschat, Steffen Weißmantel,
Alexander Horn
Laserinstitut Hochschule Mittweida

Keramikschiweißen mit Ultrakurzpulsern15
Maria Reichenbacher, Marcella Münch, Daniel Conrad,
ifw Jena Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH

Session 3: Lasermesstechnik

Ansätze zur automatischen Detektion von Fehlpositionierungen beim Laserstrahl- tiefschweißen im verdeckten T-Stoß mittels optischer Kohärenztomographie16

Timon Ahlers, Ronald Pordzik, Thorsten Mattulat
BIAS - Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH

Untersuchung der transienten optischen Eigenschaften von SiO₂ nach nichtlinearer Anregung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung17

Theo Pflug, Markus Olbrich, und Alexander Horn
Lasereinstitut Hochschule Mittweida

Einfluss der Sensorposition auf die Signalqualität von Luftschallsensorik zur Überwachung von Laserstrahlschweißprozessen18

Andreas Krämer, Ronald Pordzik, Thorsten Mattulat
BIAS - Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH

Nanoskopische 3D-Bildgebung mit laserbasiertem extrem ultraviolettem Licht19

Silvio Fuchs^{1,2,3}, Johann J. Abelb³, Felix Wiesner^{2,3}, Martin Wünsche^{2,3}, Julius Reinhard^{2,3}, Gerhard G. Paulus^{2,3}
1: Lasereinstitut Hochschule Mittweida; 2: Institut für Optik und Quantenelektronik, Friedrich-Schiller-Universität
Jena; 3: Helmholtz-Institut Jena

Keynote-Vortrag

Ultra-Short Pulsed Laser Ablation of Metals with Burst Pulses:.....20 Concepts, Opportunities and Misconceptions

Beat Neuenschwander, Stefan Remund
Berner Fachhochschule

Session 4: Hochgeschwindigkeit-Laserbearbeitung

Erzeugung und Nachbehandlung von 3D-Mikrostrukturen mittels ultrakurzer Laserpulse in unterschiedlichen Burst-Modi21

Peter Lickschat, Daniel Metzner, Steffen Weißmantel
Lasereinstitut Hochschule Mittweida

Versatile ultrashort pulse laser tunable up to nanosecond range22

Tadas Bartulevičius¹, Mykolas Lipnickas¹, Karolis Madeikis¹, Raimundas Burokas^{1,2}, Deividas Andriukaitis¹,
Andrejus Michailovas^{1,2}
1: Ekspla uab; 2: Center for Physical Sciences and Technology

High-speed laser surface texturing by combining direct laser interference patterning with polygon scanner technology23

Fabian Ränke, Robert Baumann, Bogdan Voisiat, Marcos Soldera, Andrés F. Lasagni
Institute for Manufacturing Technology, Technische Universität Dresden, Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und
Strahltechnik IWS

Highly-dynamic laser technology for ultra-fast and precise micro texturing of three-dimensional surfaces24

Florian Rößler¹, Christian Mikley², André Streek^{1,3}
1: MOEWE Optical Solutions GmbH; 2: ACSYS Lasertechnik GmbH; 3: Lasereinstitut Hochschule Mittweida

Laserschneiden von Batteriefolien mit gepulsten Lasersystemen25

Marc Sailer¹, Axel Fehrenbacher¹, Malte Kumkar¹, Adam Rosowski², Jack Gabzdyl²
1: TRUMPF Laser GmbH; 2: TRUMPF Laser UK Ltd

Untersuchungen der Partikelemissionen bei großvolumigen Laser-Ablationsvorgänge	26
Kristian Kujawa ¹ , Lutz Schneider ¹ , Stefan Mauersberger ^{1,2} , Liliana Kotte ² , Ralf Heidenreich ² , Frank Gebler ³ , <u>Jörg Schille</u> ¹ , Udo Löschner ¹	
1: Laserinstitut Hochschule Mittweida; 2: Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH; 3: Entstaubungsgeräte Pulsnitz GmbH	

Session 5: Ultrakurzpulslaserbearbeitung

Untersuchungen zur Herstellung rotationssymmetrischer mikrooptischer Bauelemente auf Basis der sequentiellen Maskenprojektion	27
<u>Eric Syrbe</u> , Sebastian Büttner, Michael Pfeifer, Steffen Weißmantel Laserinstitut Hochschule Mittweida	

Lasermikrobearbeitung – Prozesssicher in der Großserienfertigung	28
<u>Peter Leipe</u> , SITEC Industrietechnologie GmbH	

Tribologische Untersuchungen lasermikrostrukturierter Borkarbid-Schichten	29
<u>Falko Jahn</u> , Steffen Weißmantel Laserinstitut Hochschule Mittweida	

Session 6: Lasertechnik und Sonderverfahren

Spektrale Verbreiterung in Multipasszellen bis 2 mJ Impulsenergie	30
<u>Kilian Fritsch</u> ¹ , Kevin Schwarz ² , Martin Kellert ³ , Christian Franke ¹ , Mikhail Pergament ³ , Franz Kärtner ^{3,4} , Oleg Pronin ^{1,2}	
1: n2-Photonics GmbH; 2: Helmut-Schmidt-Universität / Univ. der Bundeswehr Hamburg; 3: Center for Free-Electron Laser Science, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY; 4: Physics Department & The Hamburg Centre for Ultrafast Imaging, University of Hamburg	

Herstellung photokatalytisch aktiver Keramikbauteile durch selektives Lasersintern	31
<u>Stefan Gronau</u> ¹ , Christian Berger ² , Gabriela Schimo-Aichhorn ³ , Uwe Scheithauer ² , Sarah Seiringer ³ , Robby Ebert ¹ , André Streek ¹	
1: Laserinstitut Hochschule Mittweida; 2: Fraunhofer IKTS; 3: TIGER Coatings GmbH & Co KG	

Verfahren zur Funktionalisierung von Textilien mittels laserbasierter Pulverbeschichtung	32
<u>Michael Seiler</u> ¹ , Annika Gambke ² , Andrea Barz ¹ , Andreas Neudeck ² , Jens Bliedtner ¹	
1: Ernst-Abbe-Hochschule Jena; 2: Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V.	

Abschlussvortrag

Innovation in der Halbleiterinspektion auf der Nanoskala: Laserbasierte linsenlose Mikroskopie	33
<u>Silvio Fuchs</u> Laserinstitut Hochschule Mittweida	

Posterbeiträge

CO₂-Laser Bearbeitungsprozesse für die Herstellung optischer Faserendflächen34

Jan Bachale, André Streek

Laserinstitut Hochschule Mittweida

A Pressure controlled microfluidic system for automated single molecule sample preparation in fluorescence microscopy35

Anxiong Yang¹, Falk Nicolas Lein¹, Joana Weiler², Julian Drechsel¹, Vanessa Schumann¹, Felix Erichson¹, André Streek¹, Richard Börner¹

1: Laserinstitut Hochschule Mittweida; 2: Institut of Physic University of Lübeck

Prozesscharakterisierung des Laserstrahlhärtens bei dünnwandigen Bauteilen mit angepasstem Strahlprofil36

Michael Güpner, Frank Rempt, Andreas Hopf, Jens Bliedtner

Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Untersuchungen zum Hochgeschwindigkeits-Mikro-SLM unter Einsatz eines Polygonspiegelscanners37

Florian Heinrich, Martin Erler, André Streek

Laserinstitut Hochschule Mittweida

Entwicklung eines SLM-Prozesses für die Fertigung eines topologieoptimierten Aufbohrwerkzeuges38

Matthias Horn¹, Marie Peter², Jan Arndt³, Sascha Grieser⁴, André Streek¹

1: Laserinstitut Hochschule Mittweida; 2: Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Technische Universität Chemnitz; 3: PDSVISION GmbH; 4: GBZ Mannheim GmbH & Co.KG

Optimierung der Strahlenschutzeinhausung für UKPL-Maschinen39

Sebastian Kraft, Jörg Schille, Udo Löschner

Laserinstitut Hochschule Mittweida

Strukturiertes ta-C als alternative Verschleißschicht für mechanisch belastete Oberflächen in Knie-Endoprothesen40

Alexander Kratsch¹, Maren Nieher¹, Vadym Voropai², Steffen Weißmantel¹, Joachim Döring², Wilhelm Kirchner³, Bernd Giggel⁴

1: Hochschule Mittweida; 2: Otto-von-Guericke Universität Magdeburg; 3: Atherna GmbH; 4: Vorrichtungsbau Giggel GmbH

Spektrale Pump-Probe-Reflektometrie an NIR angeregtem Silizium41

Philipp Lungwitz, Nick Börnert, Theo Pflug, Alexander Horn

Laserinstitut Hochschule Mittweida

Untersuchungen zur Laserfilamentierung mit einem Ultrakurzpulslaser42

Lucas Naumann, Jörg Schille, Alexander Horn, Udo Löschner, Theo Pflug

Laserinstitut Hochschule Mittweida

Hochrateglätten von Edelstahl mittels 5 kW Multimode-Laser43

Linda Pabst, Robby Ebert, André Streek

Laserinstitut Hochschule Mittweida

Erzeugung von laserinduzierten Schockwellensignalen für die mobile Vermessung von Asphaltsschichten44

Manuel Pfeiffer, Jörn Hübel, Steffen Weißmantel

Hochschule Mittweida

Fallstudie zur Legierungsbildung auf WC-Co Hartmetall unter Verwendung ultrakurz gepulster Laserstrahlung im Burst-Modus	45
<u>Philipp Rebentrost</u> , Andy Engel, Daniel Metzner, Steffen Weißmantel Laserinstitut Hochschule Mittweida	
Spektrale und optische Überwachung der selektiven Entschichtung von Oberflächenmaterial auf Glasproben	46
<u>Clemens Richter</u> ² , Karsten Schmiedel ^{1,2} , Tobias Baselt ^{1,2} , Peter Hartmann ^{1,2} 1: Fraunhofer IWS, Institut für Werkstoff- und Strahltechnik; 2: Westsächsische Hochschule Zwickau	
Einfluss organischer Fremdstoffe in additiv gefertigtem Ti-6Al-4V	47
<u>Kerstin Winkler</u> ¹ , Husam Ahmad ² , Andre Danzig ³ , Philipp Gloetter ³ , Frank Schubert ¹ , Guntram Wagner ² , Lothar Kroll ¹ 1: TU Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau; 2: TU Chemnitz, Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik; 3: Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH	
Untersuchungen zu den Beschädigungsgrenzen des Polygonscansystems durch die genutzte Laserstrahlung	48
<u>Marcel Wolf</u> , Mathias Müller, André Streek Laserinstitut Hochschule Mittweida	
Sponsoring	49
Firmenausstellung	52

Additive Manufacturing: Innovative Solutions for Industry

Frank Brueckner^{1,2}, Elena Lopez¹, Moritz Greifzu¹, Mirko Riede¹,
Lukas Stepien¹, Holger Hillig¹, Christoph Leyens^{1,3}

¹Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden

²Luleå University of Technology, 97187 Luleå, Sweden

³Technische Universität Dresden, Institute of Materials Research, Helmholtzstr. 7, 01069 Dresden

Additive manufacturing (AM) of metals is currently paving its way into industrial applications at high pace. While in medical applications there is already a widespread use of AM for customized solutions, the strongest innovation boost in AM is coming from aviation industry, followed by the energy sector, automotive industry, space and toolmaking industry. Unlike any other manufacturing technology, AM of high quality parts requires an in-depth understanding of the close relationship between the AM process, the material and the resulting component properties. Using powder bed-based and nozzle-based AM processes a large variety of customized solutions is feasible, ranging from micrometer-size parts with filigree features (see Fig. 1a) to the meter scale of large-size components (see Fig. 1b). With regard to the processing requirements, either high accuracy or high productivity can be achieved, whereas a combination is difficult. Especially in the case of medium and large size structures, up to eight different or similar filler materials can currently be added to incorporate new functionalities into components or to increase productivity (Fig. 1c). Within this lecture, new developments in AM, selected examples and application cases will be presented highlighting the potential but also the limitations of AM approaches.

Die additive Fertigung (AM) von Metallen wird derzeit mit hohem Tempo in die industrielle Anwendung eingeführt. Während AM in der Medizintechnik bereits in großem Umfang für maßgeschneiderte Lösungen eingesetzt wird, kommt der stärkste AM Innovationsschub aus der Luftfahrtindustrie, gefolgt vom Energiesektor, der Automobilindustrie, der Raumfahrt und dem Werkzeugbau. Die additive Herstellung qualitativ hochwertiger Teile bedarf eines tiefgreifenden Verständnisses der Zusammenhänge zwischen Herstellungsprozess, eingesetztem Material und den daraus resultierenden Bauteileigenschaften. Mit Pulverbett- und Düsenbasierten AM-Verfahren ist eine große Vielfalt an kundenspezifischen Lösungen, von mikrometergroßen Teilen mit filigranen Merkmalen bis hin zu großformatigen Bauteilen im Metermaßstab, möglich. Im Hinblick auf die Prozessanforderungen kann entweder eine hohe Genauigkeit oder eine hohe Produktivität erreicht werden, wobei eine Kombination schwierig ist. Besonders im Fall von mittleren und großen Strukturen können derzeit bis zu acht verschiedene oder artgleiche Zusatzwerkstoffe zugeführt werden, um neue Funktionalitäten in Bauteile einfließen zu lassen bzw. die Produktivität zu steigern. In diesem Vortrag werden neue Entwicklungen in der Additiven Fertigung, ausgewählte Beispiele und Anwendungsfälle vorgestellt, die das Potential aber auch die Grenzen von AM-Ansätzen aufzeigen.

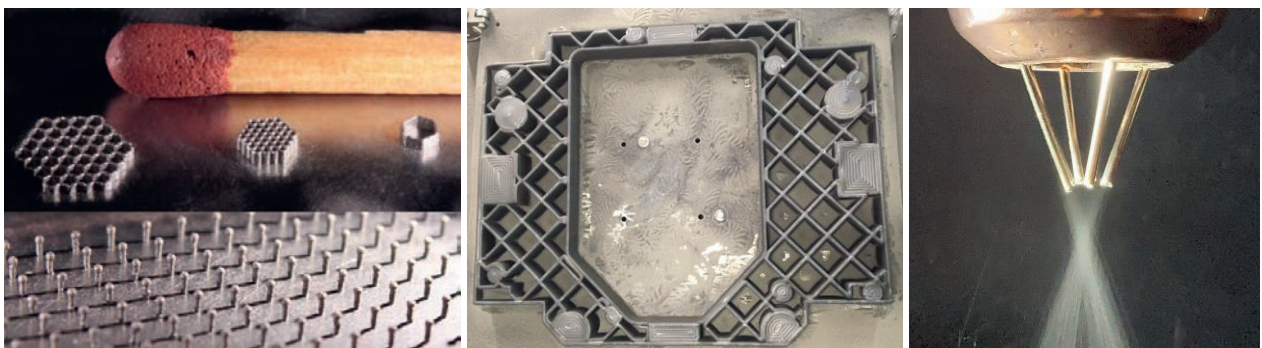


Fig. 1: (a) micrometer-size parts, (b) large-size component, (c) COAXquattro feeding up to 8 wire / powder materials
Abb. 1: (a) mikrometergroße Teile, (b) großformatiges Bauteil, (c) COAXquattro (bis zu 8 Draht-/Pulvermaterialien)

Entwicklungen zum Makro-SLM für die additive Fertigung großvolumiger Metallbauteile

Martin Erler, Sebastian Weinhold, Michael Pfeifer, André Streek
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Die letzten technischen Weiterentwicklungen der additiven Fertigungsverfahren im laser- und pulverbettbasierten Metalldruck (SLM oder L-PBF) zeigen mehr als deutlich einen Bedarf hin zu höherer Produktivität und zu immer großvolumigeren Bauteilen. Nahezu alle namenhaften Anlagenhersteller haben großvolumige Anlagen in ihr Portfolio aufgenommen und übertreffen sich mit Angaben hinsichtlich erzielbarer Bauvolumen, eingesetzter Laserquellen pro Anlage und resultierender Aufbauraten. Daneben existieren auch weitere etablierte additive Fertigungsverfahren für Metalle (z.B. Lichtbogen- und Laser-auftragschweißen), die auch auf den Druck von großvolumigen Bauteilen ausgelegt sind.

Ziel der aktuellen Forschung am Laserinstitut Hochschule Mittweida ist es, individuelle metallische Bauteile mit einer deutlich höheren Aufbauraten in m³-Dimensionen herzustellen. Das hierbei neu entwickelte Makro-SLM-Verfahren und die zugehörige Anlagentechnik vereint gleich mehrere neue Ansätze: Zum einen wird mit einem sich nach oben aufbauenden Pulverbett gearbeitet und zum anderen werden Laserleistungen im Multi-kW-Bereich sowie kostengünstiges Metallgranulat eingesetzt, um die Aufbauraten enorm zu steigern. Dadurch sinken die Herstellungskosten auf unter 20 % im Vergleich zu anderen pulverbettbasierten additiven Fertigungsverfahren und es stellt teilweise auch eine echte Alternative zum Metallguss dar.



Abb. 1: Erste Demonstratoren aus Edelstahl (V2A) zum neu entwickelten Makro-SLM-Verfahren. Links: 3D-gedrucktes Benchy (Bauzeit 1h und Masse 2,2 kg). Rechts: Knotenelement für freigeformte Fassaden (Bauzeit 1,5h und Masse 3,5 kg). Funktionsflächen wurden mittels CNC nachbearbeitet.

Endkonturnahes selektives Lasersintern von keramischen Pulvern

Markus Kühn¹, Anne-Marie Layher¹, Felix Thumann¹, Sarah Kaden¹, Oliver Elies¹,
Amy Fritz¹, Jens Bliedtner¹, Daniel Störzner², Patrick Hähle²

¹Ernst Abbe Hochschule, Carl-Zeiß-Promenade 2, 07745 Jena

²LCP Laser-Cut-Processing GmbH, Heinrich-Hertz-Straße 16, 07629 Hermsdorf

In der aktuellen Forschung werden die Eigenschaften und Anwendungen von ultrakurzgepulster Laserstrahlung im selektiven Lasersintern von keramischen Pulvern untersucht. Die hohe Verschleißfestigkeit und Biokompatibilität prädestinieren Keramiken für vielfältige technische und medizinische Anwendungen. Hohe Rissneigung durch Temperaturgradienten im Sinterprozess, sowie die hohen Schmelztemperaturen sind dabei Herausforderungen und stehen im Fokus der Technologieentwicklung. Die Nutzung einer inversen Schichterzeugungskinetik ermöglicht einen effizienten Pulverauftrag. Kerninnovation ist die Anwendung des Ultrakurzpulslasers. Mit diesem gelingt es, sowohl Zirkonoxid als auch Aluminiumoxid in verschiedenen stofflichen Konfigurationen zu sintern, wobei stabile und teilweise glasierte Oberflächen sowie stapelbare Sinterschichten erfolgreich erzeugt werden.

In current research, the properties and applications of ultra-short pulsed laser radiation in the selective laser sintering of ceramic powders are explored. The high wear resistance and biocompatibility of ceramics make them usable for a wide range of technical and medical applications. Challenges, such as a high propensity for cracking due to temperature gradients during the sintering process and the elevated melting temperatures, are central to technology development. The use of an inverse layer generation kinematics enables efficient powder application. The core innovation is the application of the ultrashort pulse laser. With this, it is possible to sinter both zirconia and alumina in various material configurations, successfully producing stable and partially glazed surfaces as well as stackable sintered layers.

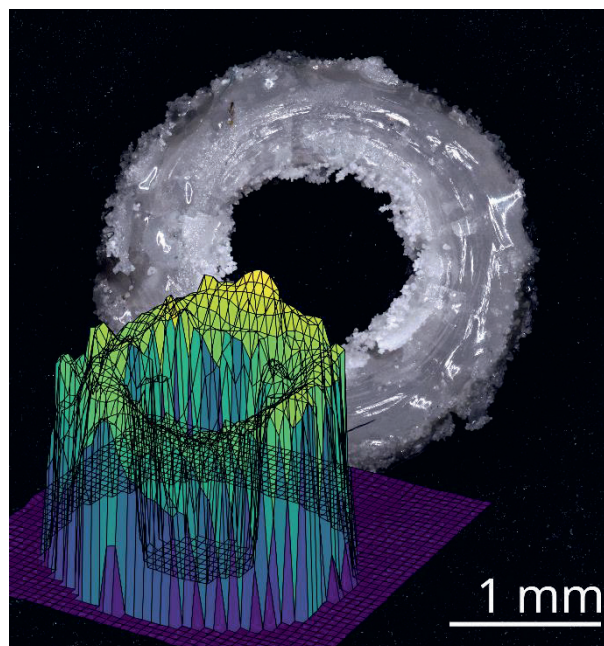


Abb. 1: Darstellung einer lasergesinterten, verglasten ZrO_2 -Struktur mit hoher Dichte.

Fig. 1: Representation of a laser-sintered, vitrified ZrO_2 structure with high density.

Additive Fertigung und Eigenschaften der metastabilen Titanlegierungen Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr

Frank Schubert¹, Daniel Knoop², Jonas Haller¹, Lothar Kroll¹, Anastasiya Tönjes²

¹ TU Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau, Reichenhainer Str. 31/33, 09126 Chemnitz

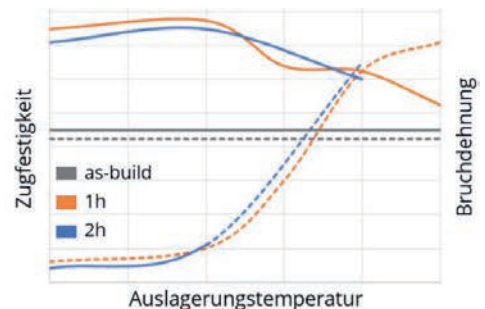
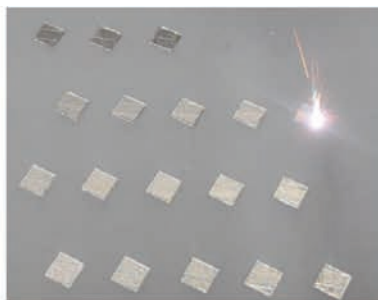
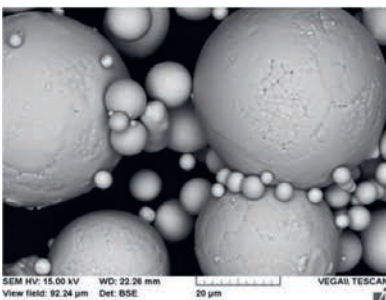
² Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien – IWT, Badgasteiner Str. 3, 28359 Bremen

Die additive Verarbeitung der Titanlegierung Ti-6Al-4V mittels Selektivem Laserschmelzen ist gut erprobt und in der Luftfahrt bereits im Serieneinsatz. Dabei gibt es erhebliche Einschränkungen hinsichtlich Bauteilgestaltung und erzielbarer Maßhaltigkeit. Die Ursache dafür findet sich im thermischen Eigenspannungsprofil des Legierungssystems, was zu einem erheblichen Bauteilverzug infolge der additiven Fertigung führen kann. Daher müssen derartige Komponenten sehr steif ausgeführt werden oder es ist ein hoher Einsatz von zusätzlichem Stützmaterial erforderlich. Zur Lösung dieses Problems können metastabile Titanlegierungen, wie etwa Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr, herangezogen werden. Der vorliegende Beitrag umfasst die LPBF-Verarbeitung der Legierung Ti-5553 mit robusten Prozesskenngrößen, resultierender Oberflächengüte sowie die Untersuchung geeigneter Wärmebehandlungen mit zugeordneten mechanischen Eigenschaften.

Additive manufacturing of titanium Ti-6Al-4V by means of selective laser melting is well established and already in use in civil aviation. However, there are considerable limitations regarding to component design and achievable dimensional accuracy. The reason for this can be found in thermal residual stresses of the alloy, which can lead to significant component distortion due to additive manufacturing. Therefore, such components have to be designed very rigid or a high use of additional support material is required. To address this problem, metastable titanium alloys, such as Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr, can be used. The present contribution covers LPBF processing of Ti-5553 with robust process parameters, resulting surface quality as well as investigations regarding suitable heat treatments with associated mechanical properties.

Für die Untersuchungen zur additiven Fertigung von Ti-5553 wurde Argon-verdüstertes Pulvermaterial mit der Korngrößenverteilung 15-63 µm von Eckart TLS herangezogen. Ausgehend von bekannten Belichtungsparametersätzen für Ti-6Al-4V ließen sich valide Verarbeitungskenngrößen für 30 µm und 60 µm Schichtdicke ableiten. Dabei ist aus Gründen der Produktivität der 60 µm Prozess zu bevorzugen. Bestehende Schwächen hinsichtlich Oberflächengüte und geometrischer Limitationen ließen sich durch die Entwicklung geeigneter Konturbelichtungen sowie spezieller Überhang-Parameter abstellen. Diese reduzieren nicht nur die Oberflächenrauheit, sondern gewährleisten gleichzeitig eine relative Materialdichte von >99,9% im randnahen Bereich. Für reale Bauteile bedeutet dies signifikant verringerte Aufwendungen für Stützstrukturen und Nachbearbeitungsverfahren zur Oberflächenglättung.

Begünstigt wird dies durch den reinen β -Zustand des metallischen Gefüges während der additiven Fertigung. Mit einer Zugfestigkeit von ca. 900 MPa und einer Bruchdehnung von ca. 8% genügt dieser den mechanischen Anforderungen für Hochleistungsbauteile der Luftfahrt jedoch noch nicht. Durch geeignete Wärmebehandlungen lässt sich eine kontrollierte α -Auslagerung erzielen. In Abhängigkeit der Glühtemperatur und Auslagerungszeit kann Ti-5553 die nach ASTM F3001 geforderte Zugfestigkeit für additiv gefertigtes Ti-64, bei vergleichbarer Bruchdehnung, um ca. 30% übertreffen. Für den Einsatz der untersuchten Legierung in hochdynamischen Anwendungsbereichen, wie etwa der Luftfahrthydraulik, sind High-Cycle-Fatigue-Kennwerte entscheidende Auslegungsgrößen. Hierzu wurden vergleichende Untersuchungen zwischen einer Vakuum-Wärmebehandlung und heiß-isostatischem Pressen durchgeführt.



Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM

Laura Römer, Martin Erler, André Streek

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Das Mikro-SLM ermöglicht die Herstellung von Präzisionsbauteilen mit sehr geringen Abmessungen. Eine wesentliche Rolle für den Prozess spielt die in das pulverförmige Ausgangsmaterial eingebrachte Energie. Durch die Nutzung verschiedener Bestrahlungsregime mit kontinuierlicher und gepulster Bestrahlung kann der Energieeintrag variiert werden. In vergleichenden Untersuchungen konnten mit beiden Betriebsarten hervorragende Bauteileigenschaften generiert werden. Die kontinuierliche Bestrahlung weist jedoch zusätzlich einen Vorteil hinsichtlich der erreichbaren Prozesseffizienz auf.

Die laser-pulverbettbasierte additive Fertigung hat zur Herstellung komplexer dreidimensionaler Bauteile in den vergangenen Jahren enorm an Bedeutung gewonnen. Mit dem Bestreben, neue Anwendungsbereiche zu erschließen, wurde das Mikro-SLM als Weiterentwicklung des selektiven Laserstrahlschmelzens (SLM) etabliert. Das Verfahren ermöglicht die Realisierung von Präzisionsbauteilen mit verbesserter Strukturauflösung, hoher Dichte und geringer Oberflächenrauheit. Im Vergleich zum SLM werden hierbei sehr feine Pulver mit Korngrößen kleiner $10\ \mu\text{m}$, geringe Pulverschichtdicken kleiner $10\ \mu\text{m}$ und Fokusbereich von ca. $30\ \mu\text{m}$ verwendet. Mit geeigneten Prozessparametern lassen sich so Strukturauflösungen lateral bis zu $40\ \mu\text{m}$ und Oberflächenrauheiten von bis zu $R_a = 2,5\ \mu\text{m}$ erzielen. Als Strahlquelle kommen vorwiegend kontinuierliche Laser zum Einsatz. Aber auch kurzgepulste Laser mit Pulsdauern im Bereich einiger $100\ \text{ns}$ werden aufgrund ihrer Möglichkeit zur feineren Anpassung des Energieeintrags genutzt.

Beide Betriebsarten wurden für das Mikro-SLM-Verfahren im Rahmen von Forschungstätigkeiten am Laserinstitut Hochschule Mittweida eingehend untersucht. In Abhängigkeit von Laserleistung und Scangeschwindigkeit bestehen, basierend auf dem unterschiedlichen Energieeintrag, Differenzen im Bearbeitungsergebnis, die für beide Bestrahlungsarten zu limitierenden Faktoren für den Aufbau von Volumenkörpern führen.

Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass beide Betriebsarten zur Erzeugung hoher Bauteildichten sowie hoher Strukturauflösungen geeignet sind. Hinsichtlich der erreichbaren Prozesseffizienz bietet jedoch die Verwendung kontinuierlicher Strahlung ein größeres Potenzial, da im Vergleich zur gepulsten Bestrahlung sowohl größere Schichtdicken als auch höhere Scangeschwindigkeiten genutzt werden können.

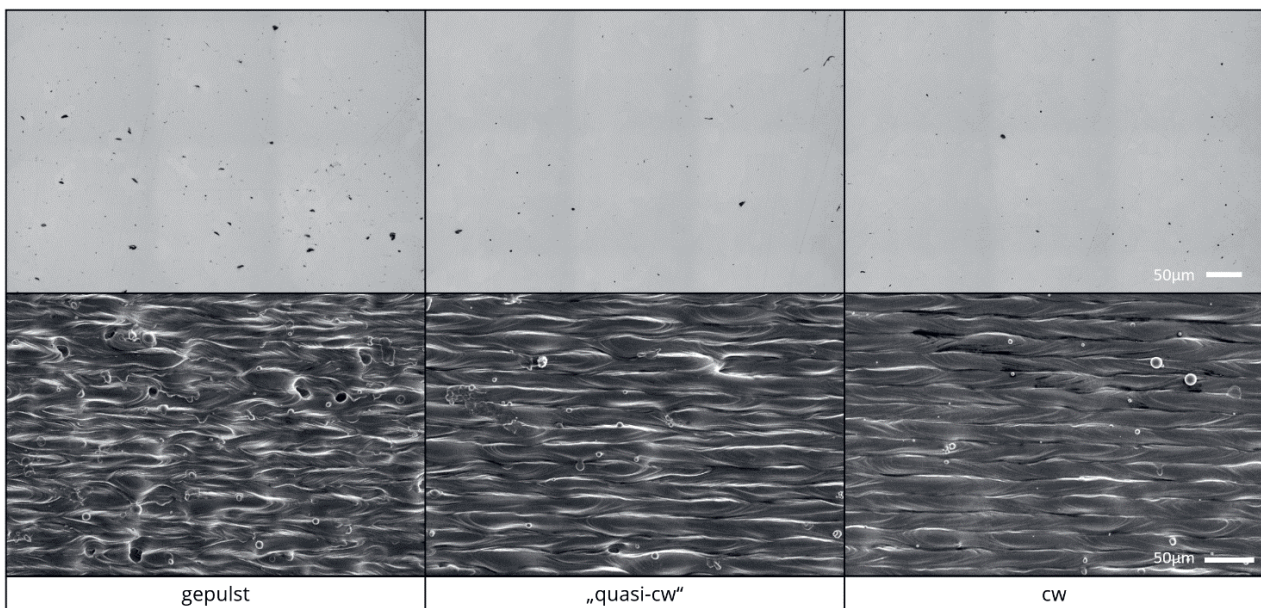


Abb. 1: Auswirkung verschiedener Bestrahlungsregime auf die Bauteileigenschaften Dichte (oben) und Deckflächenrauheit (unten).

High precision drilling with aspect ratios of 1:40: From laser source to application

Florian Lendner^a, Roswitha Giedl-Wagner^a,
Steffen Rübling^b, Marc Sailer^b, Axel Fehrenbacher^b

^a GFH GmbH, Großwalding 5, 94469 Deggendorf

^b TRUMPF Laser GmbH, Aichhalder Str. 39, Schramberg

In laser drilling, one challenge is to achieve a high drilling quality in high aspect ratio drilling. Ultra-short pulsed lasers use different concepts like thin disks, fibers and rods. The slab technology is implemented because of their flexibility and characteristics. They bring together both advantages and deliver high pulse energies at high repetition rates. Materials with a thickness > 1.5 mm demand specialized optics handling the high power and pulse energies with adapted processing strategies, integrated in a machine setup. In this contribution, we focus on all the necessary components and strategies for drilling high precision holes with aspect ratios up to 1:40.

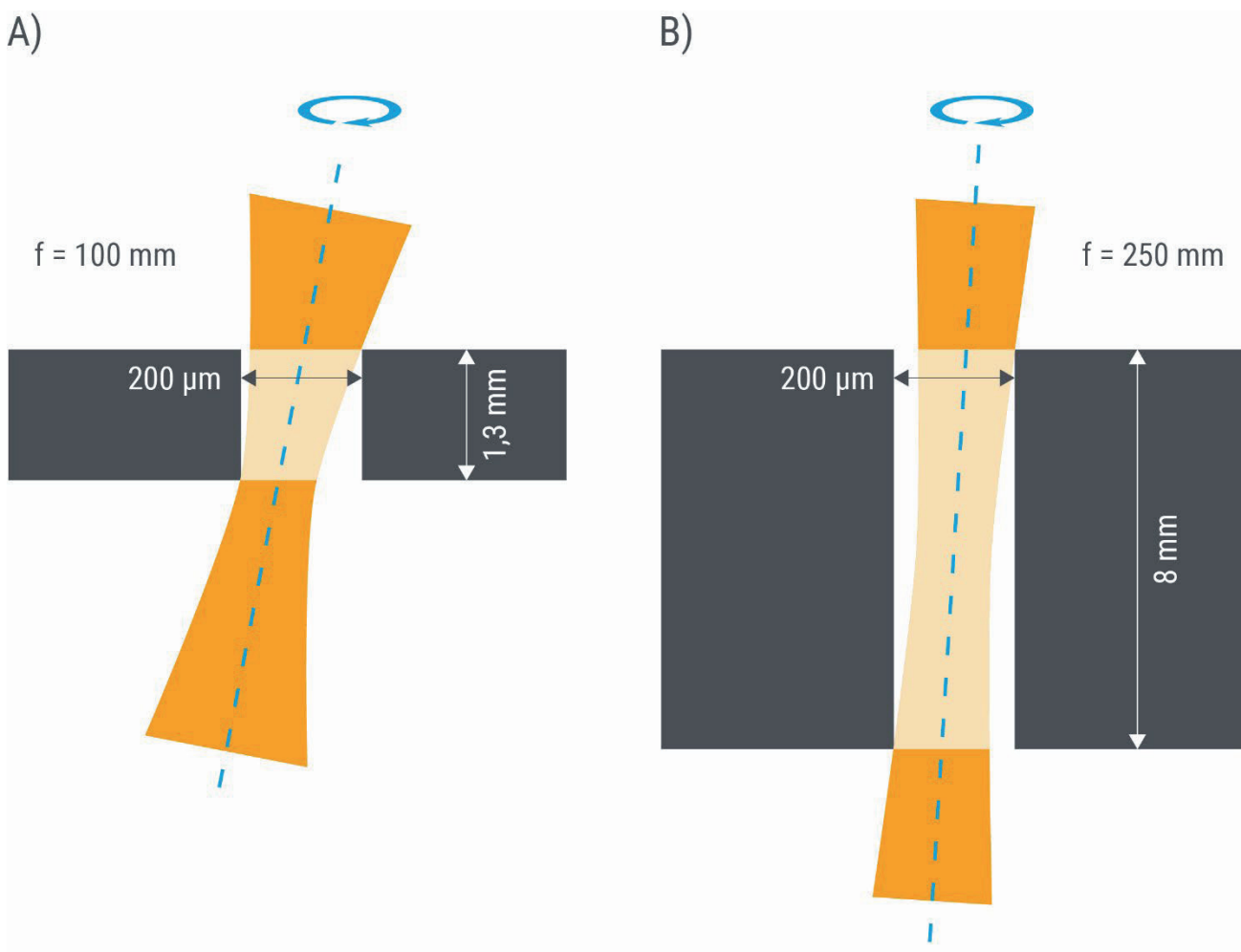


Fig. 1: Influence of the beam caustic on the possible drilling depth. A) A short focal length leads to a distinctive beam caustic. This results in a collision with the walls of the hole, even at low drilling depths. B) A longer focal length leads to a very elongated caustic and thus enables deeper drilling with sufficient laser power.

2- μm central wavelength ultrafast fiber CPA with compact design

Christian Gaida¹, Frieder Jansen¹, Malte Kumkar², Sven Breitkopf^{1,*},
Oliver Herrfurth¹, Tino Eidam¹, Jens Limpert¹

1. Active Fiber Systems GmbH, Ernst-Ruska-Ring 17, 07745 Jena, Deutschland

2. TRUMPF Laser GmbH, Aichhalder Straße 39, 78713 Schramberg, Deutschland

We report on our recent progress in creating a new type of compact laser that uses thulium-based fiber CPA technology to emit a central wavelength of 2 μm . This laser can produce pulse energies of $>100 \mu\text{J}$ and an average power of $>30\text{W}$. It is designed to be long-lasting and is built for industrial use, making it a great fit for integration into laser machines used for materials processing. These laser parameters are ideal for working with semiconductors like silicon, allowing for tasks such as microwelding or cutting of filaments.

Regarding cutting-edge ultrafast-laser applications such as silicon processing, longer laser wavelengths are often preferred over 1- μm lasers due to the transparency of semiconductors in this wavelength region. Consequently, there is a strong desire for ultrafast lasers with small footprints and wavelengths around 2 μm . Thulium-based fiber lasers have shown promise in efficiently producing high average- and peak-power in this wavelength region. Here we present recent progress in developing a Tm-based fiber laser that emits $>100\text{-}\mu\text{J}$ pulses at a 1980 nm central wavelength with <150 fs pulse duration and a repetition rate of 300 kHz, corresponding to >30 W average power. The system allows to adjust and control important process parameters such as pulse energy, repetition rate and pulse duration. The laser is designed to operate without requiring vacuum equipment to avoid water-vapor absorption, which allows for nearly diffraction-limited beam quality and excellent pointing stability. It is engineered to be industrial-grade and optimized for long-term operation by using a packaging well-suited for integration into laser machines used for materials processing. The laser parameters are ideal for processing semiconductors like silicon, enabling tasks such as microwelding or cutting of filaments.



Abb. 1: Rendered view of the compact 2- μm laser featuring a volume of approx. $750 \times 400 \times 350\text{mm}^3$ only.

Untersuchungen zur Bestrahlung von Goldschichten mit Doppelpulsen von ultrakurz gepulster Laserstrahlung

Markus Olbrich, Theo Pflug, Nick Börnert, Philipp Lungwitz, Andy Engel,
 Peter Lickschat, Steffen Weißmantel, und Alexander Horn
 Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Die Bestrahlung einer dünnen Goldschicht (Schichtdicke $d_z = 150$ nm, 25 nm Haftvermittlerschicht aus Chrom, Substrat: Quarzglas) mit Einzel- und Doppelpulsen von ultrakurz gepulster Laserstrahlung (Pulsdauer $\tau_H = 40$ fs, Wellenlänge $\lambda = 800$ nm, zeitlicher Pulsabstand $\Delta t = 400$ ps, Spitzenfluenz pro Puls $H_0 = 1.5 H_{thr}$, H_{thr} – Ablationsschwelle) ergibt signifikante Unterschiede zwischen der Topologie der Ablationsstrukturen des Einzel- und des Doppelpulses. Durch Simulationen mit Hilfe des Zwei-Temperatur-Modells in Kombination mit der Hydrodynamik (TTM-HD) können diese unterschiedlichen Topologien erklärt werden. Die Ursache stellt dabei die Wechselwirkung des zweiten Pulses mit der durch den ersten Puls erzeugten Ablationswolke, deren Erhitzung und die anschließende allseitige Expansion dar. Die berechneten Ergebnisse werden durch ultraschnelle abbildende Reflektometrie bestätigt und validiert.

Irradiating a thin gold film (film thickness $d_z = 150$ nm, 25 nm adhesion layer of chromium, substrate: fused silica) with single- and double-pulses of ultrafast laser radiation (pulse duration $\tau_H = 40$ fs, wavelength $\lambda = 800$ nm, temporal delay $\Delta t = 400$ ps, peak fluence per pulse $H_0 = 1.5 H_{thr}$, H_{thr} – ablation threshold) results in significant differences between the topology of the ablation structures of the single- and the double-pulse. We demonstrate by two-temperature hydrodynamics modeling (TTM-HD) that these different topologies are originated by the interaction of the second pulse with the ablation cloud, being generated by the first pulse, their further heating and the subsequent omnidirectional expansion of the heated ablation cloud. The calculated results are confirmed and validated by ultrafast imaging reflectometry.

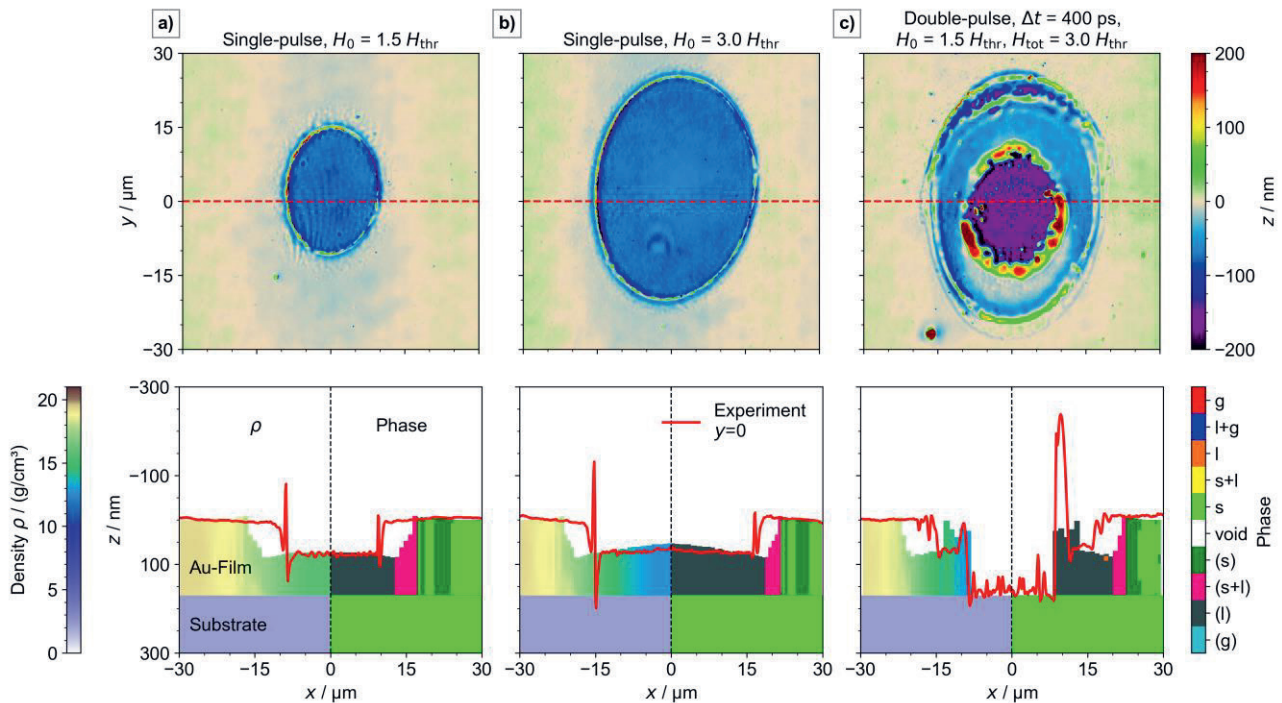


Abb. 1: Oben: Experimentell bestimmte Topologie der Abtragsstrukturen mit a) einem Einzelpuls mit $H_0 = 1.5 H_{thr}$, b) einen Einzelpuls mit $H_0 = 3.0 H_{thr}$ und c) einem Doppelpuls mit $2 \times H_0 = 1.5 H_{thr}$ und einem zeitlichen Pulsabstand von 400 ps; Unten: Vergleich der mittels TTMHD simulierten und experimentell bestimmten Abtragsstruktur.

Keramikschiweißen mit Ultrakurzpulslasern

Maria Reichenbächer, Marcella Münch, Daniel Conrad

ifw Jena | Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH,
Ernst-Ruska-Ring 3, 07745 Jena

Das Fügen von gesinterter technischer Keramik ist eine Herausforderung, insbesondere, wenn die Fügezone die gleichen Eigenschaften wie die Keramik aufweisen soll. Am ifw Jena wird intransparente Keramik daher mit Ultrakurzpulslasern verschweißt. Aufgrund der schmalen Schweißnähte (<100 µm) können Risse sowie Poren vermieden werden und durch die kurze Prozesszeit wird der Grundkörper praktisch nicht erwärmt, so dass auch thermisch empfindliche Komponenten in der Keramik versiegelt werden können.

The joining of sintered technical ceramics is a challenge, especially when the joining zone is to have the same properties as the ceramic. At ifw Jena, opaque ceramics are therefore welded with ultra-short pulse lasers. Due to the narrow weld seams (<100 µm), cracks and pores can be avoided and due to the short process time, the bulk material is practically not heated, so that even thermally sensitive components can be sealed.

Technische Keramik ist eine Stoffgruppe mit herausragenden Eigenschaften wie hoher Härte, Abriebfestigkeit, chemischer Resistenz, elektrischer Isolation und Durchschlagfestigkeit. Je nach Werkstoff können diese Eigenschaften auch variabel eingestellt werden. Zudem existieren etablierte Verfahren zur Formgebung und Verarbeitung. Das Fügen von fertig gebrannten Keramikwerkstücken ist allerdings eine Herausforderung, wenn auch die Fügezone die oben genannten Eigenschaften ausweisen soll. In diesem Fall muss auf zusätzliche Materialien wie Klebstoff oder Lot verzichtet werden und es besteht ein Bedarf an einer stoffschlüssigen Fügetechnologie ohne Zusatzwerkstoffe für Keramik.

Daher wird am ifw Jena das Mikroschweißen mit Ultrakurzpulslasern an Keramik untersucht. Während beim Laserschweißen von Keramik mit Nanosekundenpulsen entweder Risse auftreten oder die Schweißnaht nicht gasdicht ist [1], können mit Ultrakurzpulslasern solide Mikronähte erzeugt werden. Der Prozess ist an transparenten Gläsern weitreichend erforscht [2]. Bis auf Penilla et al. [3] existieren allerdings kaum Veröffentlichungen zu Keramiken.

Am ifw Jena werden die Untersuchungen zu intransparenter Keramik ausgeweitet: Al₂O₃ und andere wichtige Keramiken werden verschweißt, die Eigenschaften der Schweißzone charakterisiert und die sich ausbildende Mikrostruktur untersucht. In Abbildung 1 sind Ergebnisse der ersten Schweißversuche gezeigt. Das Verfahren und die sich einstellenden Werkstoffeigenschaften werden im Vortrag vorgestellt und Ausblicke auf mögliche Anwendungen gegeben.

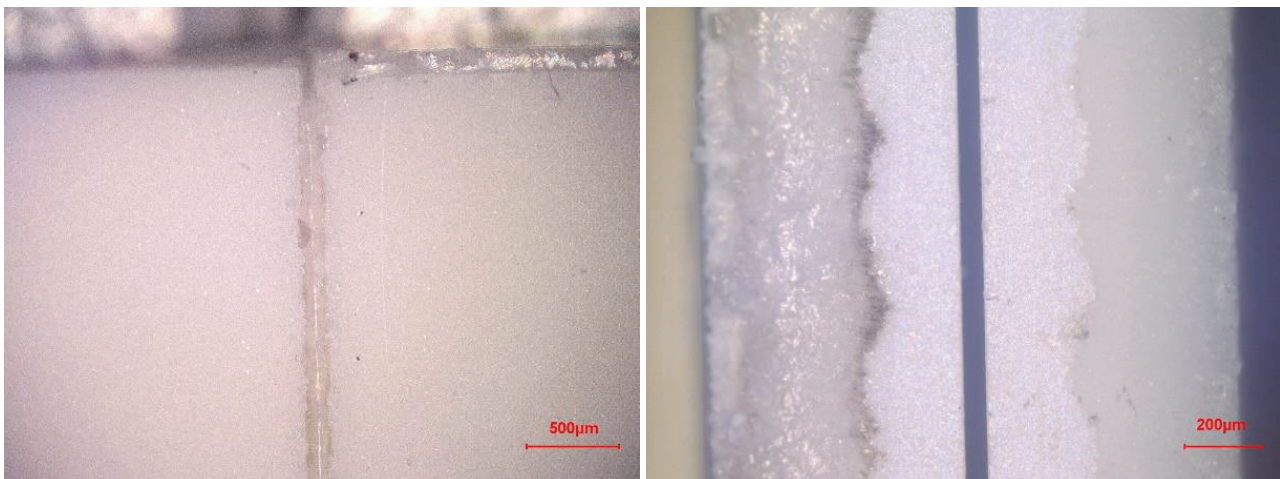


Abbildung 1: Erste Versuchsergebnisse zum Keramikschiweißen. Links: Draufsicht auf die Schweißnaht, rechts: Bruchbild der Schweißnaht entlang der Fügezone

- [1] Marcus Winkler: „Untersuchungen zum Mikro-Laserfügen von Al₂O₃“, Bachelorarbeit an der Fakultät Ingenieurwissenschaften der Hochschule Mittweida, September 2016, Erstprüfer: Prof. Horst Exner
- [2] Cvecek, Kristian, et al. "A review on glass welding by ultra-short laser pulses." International Journal of Extreme Manufacturing 1.4 (2019): 042001.
- [3] Penilla, E. H., et al. "Ultrafast laser welding of ceramics." Science 365.6455 (2019): 803-808.

Ansätze zur automatischen Detektion von Fehlpositionierungen beim Laserstrahl-tiefschweißen im verdeckten T-Stoß mittels optischer Kohärenztomographie

Timon Ahlers, Ronald Pordzik, Thorsten Mattulat

BIAS - Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH, Klagenfurter Straße 5, 28359 Bremen

Beim Fügen von verdeckten T-Stößen wird die Werkstückverbindung durch das Gurtblech und nicht über Kehlnähte hergestellt. Dies bietet hohes Leichtbaupotential beispielsweise bei der Herstellung von Sandwichstrukturen mit dünnwandigem Kern. Die Positionierung des Stegbleches relativ zum Laserstrahl ist in dieser Anordnung jedoch insbesondere bei dünnen Stegblechen herausfordernd. Ein Ansatz die sichere Positionierung zu vereinfachen und somit das Leichtbaupotenzial zu steigern ist die Positionsregelung auf Basis von optischer Kohärenztomographie (OCT) während des Schweißprozesses. Hierbei wird im Prozess interferometrisch die Reflexionsdistanz der Messstrahlung innerhalb der Dampfkapillare gemessen. In dieser Arbeit werden neue Ansätze zur automatischen Erkennung von Fehlpositionierungen anhand der Sensordaten vorgestellt. Es wird gezeigt, dass die Berücksichtigung mehrerer Anteile aus dem Inferenzmuster des OCT-Sensors und der jeweiligen Intensitäten die Detektionsgenauigkeit verbessern kann.

Laser welding of hidden T-joints, connecting the web-sheet through the face-sheet of the joint can provide advantages like increased lightweight potential in manufacturing sandwich structures with thin-walled cores. However, maintaining the correct positioning of the beam relative to the joint is challenging. A new approach to simplify this process is using optical coherence tomography (OCT), that interferometrically measures the reflection distance inside of the keyhole during laser deep penetration welding. In this study new approaches for targeted data processing of the OCT-signal to automatically detect misalignments are presented. It is shown that considering multiple components from the inference pattern and the respective signal intensities improve the detection accuracy of misalignments.

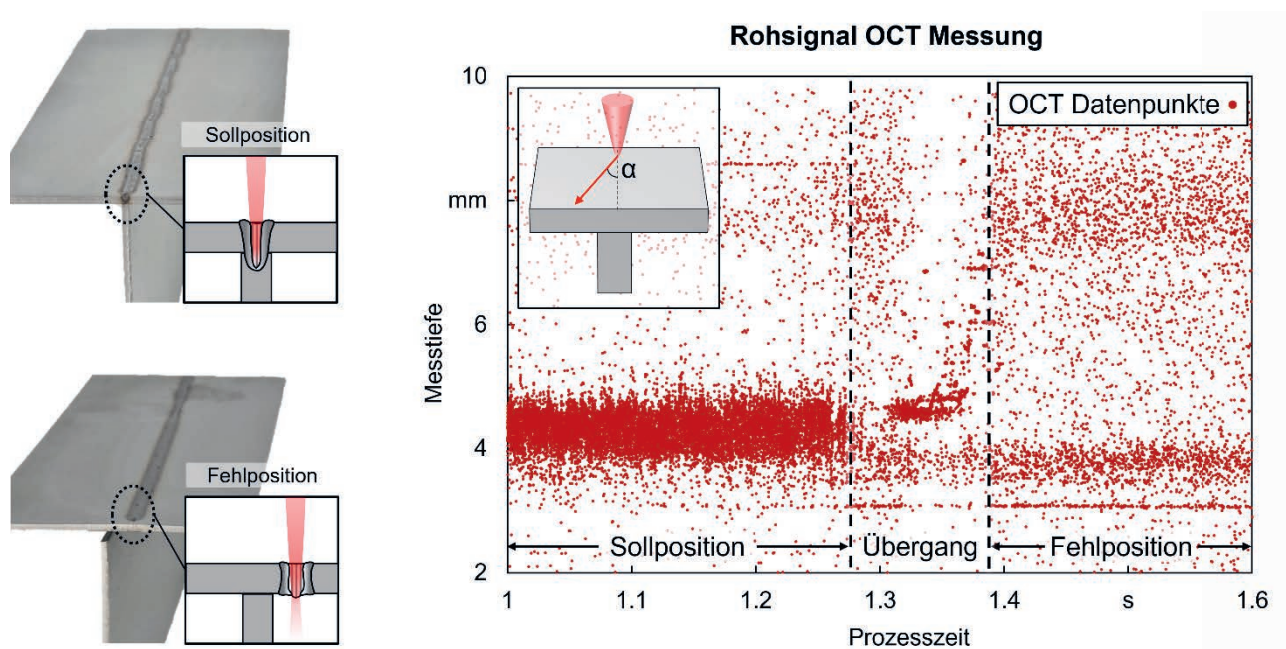


Abb. 1: Rohsignal des OCT-Sensors bei beginnender Fehlpositionierung des Laserstrahls beim Schweißen im verdeckten T-Stoß.

Untersuchung der transienten optischen Eigenschaften von SiO₂ nach nichtlinearer Anregung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung

Theo Pflug, Markus Olbrich, und Alexander Horn

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Fokussierte ultrakurz gepulste Laserstrahlung ermöglicht die Bearbeitung von transparenten Dielektrika, wie Glas, obwohl die Photonenenergie geringer als die Energiebandlücke des Materials ist. Die dabei zugrundeliegenden physikalischen Prozesse Multiphotonen-, Tunnel- und Avalancheionisation wurden bereits in zahlreichen experimentellen und theoretischen Studien untersucht und sind unter anderem stark von den transienten optischen Eigenschaften des Materials während der Bestrahlung sowie der Elektron-Elektron Stoßfrequenz abhängig. In diesem Beitrag wird ein Pump-Probe Setup vorgestellt, welches mit einem abbildenden Ellipsometer kombiniert wurde und so den transienten komplexen Brechungsindex des angeregten Materials zeitlich, spektroskopisch und örtlich aufgelöst bestimmen kann. Die damit gemessenen transienten optischen Eigenschaften von Glas werden mit verschiedenen Modellen aus der Literatur verglichen, um diese zu überprüfen und so die nichtlinearen Anregungsprozesse besser verstehen zu können.

Focused ultrashort-pulsed laser radiation enables the processing of transparent dielectrics such as glass, although the photon energy is lower than the energy band gap of the material. The underlying physical processes, namely multiphoton-, tunnel-, and avalanche-ionization, have already been investigated in numerous experimental and theoretical studies and depend strongly on the transient optical properties of the material during irradiation being mainly determined by the electron-electron collision frequency. In this paper, we present a pump-probe setup combined with an imaging ellipsometer allowing the measurement of the transient complex refractive index of the excited material with a temporal, spectroscopic, and spatial resolution. The comparison of the measured transient optical properties of glass with various theoretical models from the literature allows the validation of these models, and therefore a better insight into nonlinear excitation processes.

Ortsaufgelöste, spektroskopische Pump-Probe Ellipsometrie ermöglicht die umfassende Bestimmung des transienten komplexen Brechungsindex eines Materials, bestehend aus Brechzahl und Extinktionskoeffizient, während und nach der Anregung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung. Die transienten optischen Eigenschaften des angeregten Materials beeinflussen zum einen wie viel der eingestrahlten Pulsenergie innerhalb welcher Tiefe absorbiert wird und geben zum anderen einen Einblick in die Dynamik der angeregten Elektronen [1]. Am Beispiel von SiO₂ ergaben erste Messungen des spektral aufgelösten transienten Brechungsindex, dass die angeregten Elektronen im Zeitbereich bis 200 fs nach der Anregung nicht als quasi-freies Elektronengas beschrieben werden können, wie bisher in der Literatur angenommen wurde. Der Vergleich der Messergebnisse mit verschiedenen Modellen für die dielektrische Funktion zeigt, dass die angeregten Elektronen höchstwahrscheinlich immer noch als gebunden betrachtet werden müssen [2].

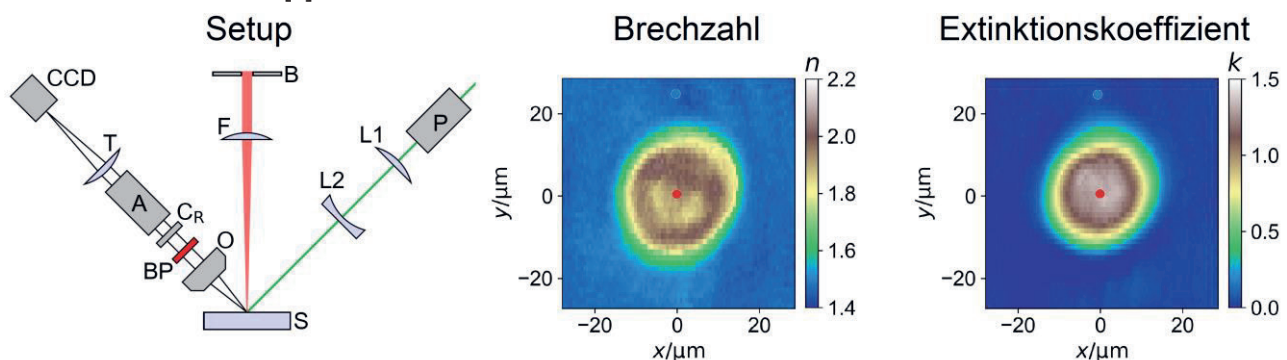


Abb. 1: Links: schematischer Aufbau des Pump-Probe Ellipsometers basierend auf der Methode mit rotierendem Kompensator; rechts: exemplarische Messung der transienten Brechzahl und des Extinktionskoeffizienten von SiO₂ etwa 100 fs nach der Anregung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung (800 nm, 40 fs, 4,4 J/cm²).

1. T. Pflug, M. Olbrich, J. Winter, J. Schille, U. Löschner, H. Huber, A. Horn, J. Phys. Chem. C **125**, 17363 (2021)
2. T. Pflug, M. Olbrich, A. Horn, Phys. Rev. B **106**, 1307 (2022)

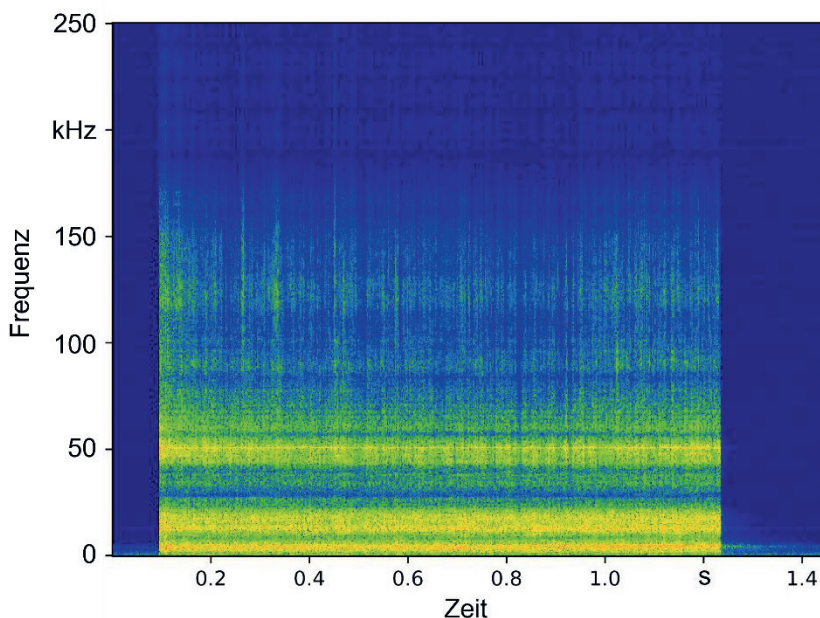
Einfluss der Sensorposition auf die Signalqualität von Luftschallsensoren zur Überwachung von Laserstrahlschweißprozessen

Andreas Krämer, Ronald Pordzik, Thorsten Mattulat

BIAS - Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH, Klagenfurter Straße 5, 28359 Bremen

Zur Überwachung von Laserstrahlschweißprozessen und zur Erkennung bzw. aktiven Vermeidung von Prozessfehlern können neben optischen Messverfahren wie der Pyrometrie auch akustische Verfahren genutzt werden. Um Prozessereignisse zuverlässig zu erfassen, ist es unabdingbar, die jeweiligen Sensoren so zu positionieren, dass spezifische Signalcharakteristika reproduzierbar und prominent sind. Jedoch gibt es nur wenige Untersuchungen hinsichtlich der Positionierung für Luftschallsensoren, insbesondere für die Erfassung von Prozessemissionen im Ultraschallbereich. In dieser Arbeit wird daher der Einfluss des Prozessabstandes sowie des Anstellwinkels und der Orientierung des Luftschallmikrofons zu einem Laserstrahl-tiefschweißprozess hinsichtlich der Detektierbarkeit von akustischen Prozessemissionen in verschiedenen Frequenzbändern untersucht. Es wird gezeigt, dass für einen breiten Ultraschallbereich ein flacher Anstellwinkel des Sensors bezogen auf die Probenoberfläche zu einer gesteigerten Signalstärke der Keyhole-Emissionen gegenüber steilen Winkeln führt.

For monitoring laser beam welding processes and detecting or actively avoiding process defects, acoustic based measurements can be used in addition to optical measurement methods such as pyrometry. In order to reliably detect process events, it is essential to position the respective sensors in such a way that specific signal characteristics are reproducible and prominent. However, there are only few investigations regarding the positioning for airborne sound sensors, especially for the detection of process emissions in the ultrasonic range. Therefore, in this work, the influence of the process distance as well as the angle and orientation of the microphone to a laser beam deep penetration welding process is investigated with respect to the detectability of process emissions in different frequency bands. It is shown that for a wide ultrasonic range a flat sensor angle with respect to the sample surface leads to an increased signal strength of the keyhole emissions compared to steep angles.



Werkstoff	LC-Ni99
Laser	TruDisk12002
Laserleistung	2.4 kW
Scangeschwindigkeit	40 mm/s
Einschweißtiefe	2 mm
Orientierung	nachlaufend
Mikrofonabstand	100 mm
Winkel	15 °

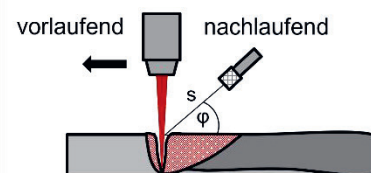


Abbildung 1: Spektrogramm eines exemplarischen Laserstrahlschweißprozesses ohne Crossjet.

Nanoskopische 3D-Bildgebung mit laserbasiertem extrem ultraviolettem Licht

Silvio Fuchs^{*a,b,c}, Johann J. Abel^{b,c}, Felix Wiesner^{b,c}, Martin Wünsche^{b,c},
Julius Reinhard^{b,c}, and Gerhard G. Paulus^{b,c}

^aLaserinstitut Hochschule Mittweida

^bInstitut für Optik und Quantenelektronik, Friedrich-Schiller-Universität Jena

^cHelmholtz-Institut Jena

Die Kohärenztomographie im extremen Ultraviolettbereich (XCT) ist eine neue Methode zur 3D-Vermessung von Nanostrukturen mit Nanometer-Auflösung. Sie verwendet das interferometrische Prinzip der optischen Kohärenztomographie (OCT) um mittels Fourier-Transformation Strukturinformationen zu extrahieren. Ein speziell entwickelter Phasenrekonstruktionsalgorithmus (PR-XCT) ermöglicht artefaktfreie XCT. Experimentell wurden axiale Auflösungen von 24 nm erreicht, laterale Auflösungen von etwa 23 μm und hohe Materialempfindlichkeit. Der PR-XCT-Algorithmus erlaubt quantitative Informationen und markierungsfreie Identifizierung vergrabener Strukturen im Nanometerbereich. Optimierung der Modellparameter ermöglicht zusätzliche Erkenntnisse über Oberflächenrauigkeit und Schichtdicken.

Wir stellen eine neuartige Methode zur dreidimensionalen Vermessung von Nanostrukturen vor. Die Kohärenztomographie im extrem ultravioletten Spektralbereich (XUV) - auch XCT genannt - ist eine Abwandlung der optischen Kohärenztomographie (OCT) für den XUV-Spektralbereich. Bei der OCT wird die Strukturinformation in axialer Richtung nicht direkt abgebildet, sondern durch die interferometrische Überlagerung des von der Probe zurückgestreuten Lichts mit einer bestimmten Referenzwelle rekonstruiert. Infolgedessen hängt die axiale Auflösung nur von der Kohärenzlänge der Lichtquelle und nicht von den geometrischen Eigenschaften der Strahlung ab. OCT mit breitbandigen sichtbaren und nahinfraroten Lichtquellen erreicht in der Regel axiale (Tiefen-)Auflösungen in der Größenordnung von einigen Mikrometern. Durch Verringerung der zentralen Wellenlänge in den XUV-Spektralbereich kann eine axiale Auflösung im Nanobereich erreicht werden. Darüber hinaus ist diese hohe axiale Auflösung unabhängig von den Fokussierungsbedingungen, was im XUV, wo die Fokussierung mit hoher NA bekanntermaßen schwierig und teuer ist, ein großer Vorteil ist. Die XCT ist am leistungsfähigsten, wenn sie in den spektralen Transmissionsfenstern der Probenmaterialien eingesetzt wird. Das Transmissionsfenster von Silizium (30- 99 eV) entspricht beispielsweise einer Kohärenzlänge von etwa 12 nm, was Anwendungen für die Halbleiterprüfung nahelegt.

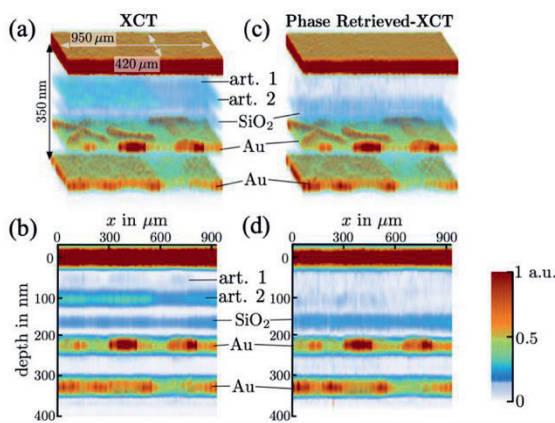


Abb. 1: XCT-Tomogramm zweier vergrabener Goldschichten in Silizium.

Die XCT wurde mit breitbandiger XUV-Strahlung aus einer laserbasierten Hohen Harmonischen-Quelle (HHG) durchgeführt, die speziell für die Anforderungen der XCT hinsichtlich spektraler Bandbreite und Ebenheit entwickelt wurde. XCT-Scans von zwei nanometerdünnen, lateral strukturierten, in Silizium eingebetteten Goldschichten werden vorgestellt (siehe Abbildung 1). Es konnte eine axiale Auflösung von 24 nm erreicht werden. Die laterale Auflösung war durch die Spotgröße des XUV-Fokus auf ca. 23 μm begrenzt. Mit Hilfe der Phasenrekonstruktion konnten alle Artefakte aus dem Tomogramm entfernt werden. Ein weiteres bemerkenswertes Ergebnis ist die hohe Materialempfindlichkeit der XCT. So wurde eine Siliziumdioxidschicht entdeckt, die während des Produktionsprozesses der Probe entstanden ist und nur wenige Nanometer dick ist. Diese Schicht konnte mit einem REM in einem dünnen Schnitt aus der Probe nicht erkannt werden, und auch in einem TEM-Bild ist sie nur schwer zu erkennen.

Darüber hinaus ist der PR-XCT-Algorithmus in der Lage, quantitative Informationen über das Material im Inneren der Probe zu extrahieren. So ist eine markierungsfreie, elementspezifische Identifizierung von vergrabenen Strukturen mit einer Tiefenaufklärung im Nanometerbereich möglich. Durch algorithmische Optimierung der Modellparameter werden sogar Erkenntnisse über Oberflächenrauigkeit und Schichtdicken unterhalb der herkömmlichen XCT-Auflösung möglich.

Ultra-Short Pulsed Laser Ablation of Metals with Burst Pulses: Concepts, Opportunities and Misconceptions

Beat Neuenschwander, Stefan Remund

Bern University of Applied Sciences, Institute for Applied Laser, Photonics and Surface Technologies,
Pestalozzistrasse 20, CH-3400 Burgdorf

Die Verwendung aktueller Hochleistungs-UKP-Lasersysteme stellt den Nutzer vor grosse Herausforderungen sowohl Bereich der Systemtechnologie als auch im Bereich der Prozessführung. Eine Möglichkeit mehr Energie umzusetzen ist die Verwendung von Burst-Pulsen. Dabei sind jedoch, je nach Anwendung und Material, wichtige Punkte für eine erfolgreiche Umsetzung sowie zur Verhinderung von Fehlinterpretationen, zu beachten. Im Vortrag werden diese, insbesondere für Metalle, angesprochen und Konzepte sowie Möglichkeiten aufgezeigt.

Using current high-performance USP laser systems poses significant challenges for users in both systems technology and process control. One possibility to increase pulse energy is the use of burst pulses. However, depending on the application and material, important points need to be considered for successful implementation and to prevent misinterpretations. This presentation addresses these points, particularly for metals, and presents possible concepts as well as solutions.

Burst Pulse

Die Idee eines Burst Pulses ist die Aufteilung einer hohen Pulsenergie auf mehrere Einzelpulse, die sich in kurzem Zeit-Abstand (einige 10 ns bis zu einigen 100 ps) folgen. Damit kommt jeder einzelne Puls im Burst näher an die optimale Fluenz die mit einer maximalen Umsetzung der Pulsenergie einhergeht. Verglichen zu einem Prozess mit Einzelpulsen hoher Energie wird der Prozess bei der gleichen Repetitionsrate des Lasers mit den Burst-Pulsen daher deutlich effizienter. Burst Pulse ermöglichen deshalb die Umsetzung höherer Leistungen ohne dabei die Repetitionsrate in den MHz Bereich, verbunden mit hohen Markiergeschwindigkeiten, steigern zu müssen. Dabei können sich aber je nach Metall teilweise überraschende Effekte ergeben. So zeigt z.B. Abb. 1 a) für Kupfer, Aluminium und Messing für eine gerade Anzahl Pulse im Burst ein sehr tiefes energiespezifisches Volumen (Effizienz), während diese für eine ungerade Anzahl Pulse hoch ist (in einigen Fällen sogar leicht höher als bei Einzelpulsen), ein Effekt, der durch Abschirmung und sogar Redeposition erklärt werden kann. Abb. 1b zeigt für zwei Stähle sowie Molybdän und Magnesium die Abhängigkeit des energiespezifischen Volumens von der Anzahl Pulse im Burst für verschiedene Situationen. Generell liegt das energiespezifische Volumen und damit die Prozesseffizienz immer tiefer als bei Einzelpulsen mit Ausnahme von Magnesium, wo eine Steigerung um einen Faktor 3 beobachtet wird. Diese Beispiele zeigen, dass bei der Interpretation von Abtragsraten, die mit Burst-Pulsen erreicht werden, eine exakte und umfassende Analyse über die effektive Prozesseffizienz notwendig ist. Dies z.B. auch, für die in den letzten Jahren stark diskutierten, GHz-Bursts bei denen Abb. 1c) deutlich zeigt, dass die erreichten Prozesseffizienzen denen von ns-Pulsen gleicher Dauer (wie die der Burst-Sequenz) gleichen.

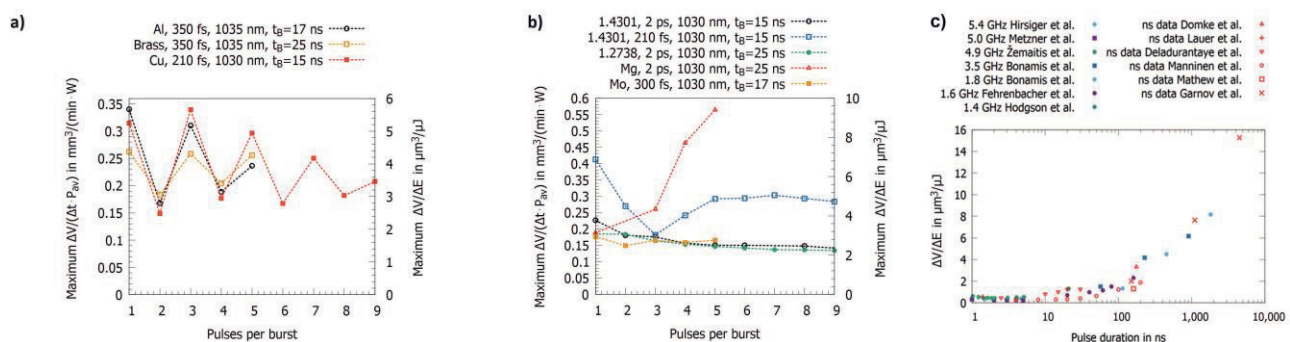


Abb. 1: Maximale energiespezifische Volumen als Funktion a) und b) der Anzahl Pulse im Burst für verschiedene Materialien (t_B bezeichnet den zeitlichen Abstand zwischen den Pulsen im Burst) sowie c) für GHz-Bursts und ns-Pulse in rostfreiem Stahl.

Erzeugung und Nachbehandlung von 3D-Mikrostrukturen mittels ultrakurzer Laserpulse in unterschiedlichen Burst-Modi

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

In der Studie werden die Vorteile und die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten des Burst-Modus bei der Herstellung von 3D-Mikrostrukturen aufgezeigt. Bei den Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass besonders Femtosekundenlaserpulse im BiBurst-Modus und Pikosekundenlaserpulse im MHz-Burst-Modus für einen qualitativ hochwertigen und konstanten Ablationsprozess geeignet sind. Weiterhin zeigte es sich, dass mit einer Nachbehandlung der 3D-Mikrostrukturen mittels ultrakurzer Laserpulse im GHz-Burst-Modus auftretende Ablagerungen entfernt werden können und eine zusätzliche Glättung der Strukturen stattfindet. Dadurch konnten Strukturböden mit einer minimalen Oberflächenrauheit von $0,13 \mu\text{m}$ bei einer Strukturierungstiefe von $300 \mu\text{m}$ erzielt werden.

Bei der Herstellung von 3D-Mikrostrukturen mittels ultrakurzer Laserpulse wird, um eine gewisse Strukturtiefe zu erhalten, das Material schichtweise abgetragen. Die Herausforderung dabei ist, dass der Abtragsprozess auch bei einer hohen Anzahl von Schichten konstant bleibt, um die angestrebten Geometrien mit einer hohen Genauigkeit und Qualität zu erzeugen. Bisherige Untersuchungen belegen, dass mit Pulsfolgen (Bursts) ultrakurzer Laserpulse qualitativ hochwertige Tiefenabträge möglich sind. Ausgehend davon wurden $300 \mu\text{m}$ hohe Pyramidenstümpfe mit unterschiedlichen Burst-Modi, Laserparametern und Bearbeitungsstrategien erzeugt und in Bezug auf Qualität und Genauigkeit untersucht. Hierbei zeigte es sich, dass Laserpulse mit einer Pulsdauer von 240 fs im BiBurst-Modus, einer Kombination aus MHz- und GHz-Burst-Modus, bzw. von 10 ps im MHz-Burst-Modus eine hohe Prozessstabilität verbunden mit einer geringen mittleren Rauheit der Strukturböden ermöglichen. Durch die Ablation erzeugte Schmutzablagerungen auf den Strukturen minderten jedoch die Qualität der Pyramidenstümpfe. Derartige Ablagerungen konnten durch eine veränderte Abarbeitungsreihenfolge der Schichten während des Strukturierungsprozesses, verbunden mit geringfügigen Abweichungen der Strukturabmaße, entfernt werden. Als weitere Möglichkeit der Entfernung der Schmutzablagerungen, ohne dabei die eigentlichen Strukturabmaße zu verändern, wurde eine Nachbehandlung der erzeugten Geometrien mittels GHz-Burst-Modus eruiert. Weiterhin konnte mit diesem Burst-Regime eine Glättung der Strukturböden und somit eine verringerte mittlere Rauheit realisiert werden.

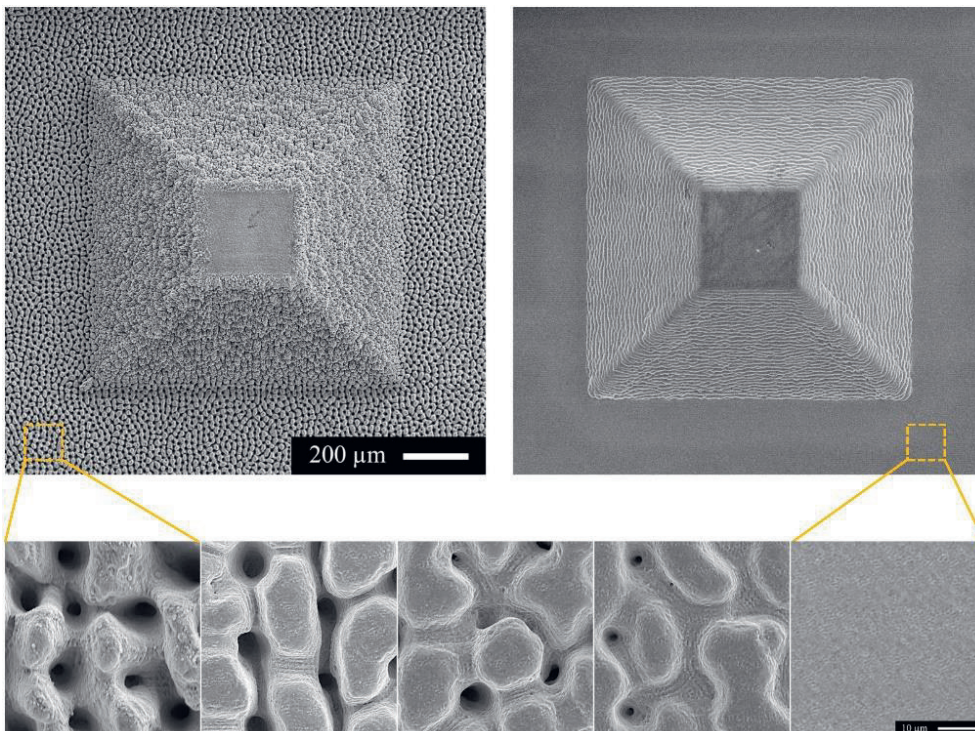


Abbildung 1: Strukturierter Pyramidenstumpf vor (links) bzw. nach der Glättung (rechts) mittels GHz-Burst-Modus

Versatile ultrashort pulse laser tunable up to nanosecond range

Tadas Bartulevičius¹, Mykolas Lipnickas¹, Karolis Madeikis¹, Raimundas Burokas^{1,2},
Deividas Andriukaitis¹ and Andrejus Michailovas^{1,2}

¹Ekspla uab, Savanoriu ave. 237, LT-02300 Vilnius, Lithuania

²Center for Physical Sciences and Technology, Savanoriu ave. 231, LT-02300 Vilnius, Lithuania

A new versatile patent-pending technology enabling new operation regimes and a unique set of features in the industrial-grade 30 W-level average power femtosecond hybrid laser is introduced in this work. The developed technology, based on the use of an all-in-fiber active fiber loop (AFL), enabled to form GHz bursts of ultrashort laser pulses with any desired pulse repetition rate and any number of pulses in a burst with identical intra-burst pulse separation. Furthermore, the AFL allowed to tune pulse duration from a few hundred femtoseconds to picoseconds and even up to the nanosecond range.

Ultrashort light pulses are highly applicable in science, medicine, and industry. Lasers with increased functionality and a unique set of features can stimulate research in new fields and the development of new laser techniques.

A versatile patent-pending technology enabling new operation regimes in ultrashort pulse laser is introduced in this work. First of all, the developed technology, based on the use of an all-in-fiber active fiber loop, enabled to form GHz bursts of ultrashort laser pulses with any desired pulse repetition rate, any number of pulses in a burst (from 2 pulses to thousands of pulses inside the burst) with identical intra-burst pulse separation [1-3]. Furthermore, an active fiber loop allowed to tune pulse duration from a few hundred femtoseconds to picoseconds and even up to the nanosecond range [4]. The pulse duration was changed in two different ways - by the management of the accumulated dispersion and by the filtration of the pulse spectrum - which allowed to obtain not only the pulse train of different duration pulses but different coherence lengths of the laser radiation as well.

The active fiber loop (Fig. 1) was integrated into the industrial-grade 30 W-level average power femtosecond hybrid laser based on an all-in-fiber seed source and solid-state power amplifier. The developed laser can offer a unique set of features and parameters and is very attractive for most laser applications as it can operate in the single-pulse and GHz-burst regimes, with the ability to tune pulse duration from femtosecond up to nanosecond range.

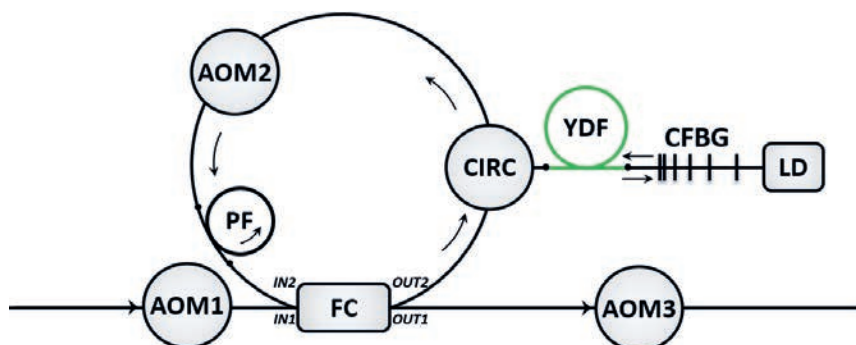


Fig. 1. Schematic setup of the active fiber loop used for the GHz burst formation and pulse duration tuning. FC – 2x2 fiber coupler, CIRC – optical circulator, YDF – ytterbium-doped fiber, CFBG – chirped fiber Bragg grating, LD – single-mode laser diode, AOM1–3 – acousto-optic modulators, PF – a segment of a passive optical fiber.

References

- [1] T. Bartulevičius, K. Madeikis, L. Veselis, V. Petrauskienė and A. Michailovas, “Active fiber loop for synthesizing GHz bursts of equidistant ultrashort pulses,” *Opt. Express* **28**(9), 13059–13067 (2020).
- [2] A. Michailovas and T. Bartulevičius, Published international patent application WO2021/059003 (A1) (2021).
- [3] T. Bartulevičius, M. Lipnickas, V. Petrauskienė, K. Madeikis and A. Michailovas, “30 W-average-power femtosecond NIR laser operating in a flexible GHz-burst-regime,” *Opt. Express* **30**, 36849–36862 (2022).
- [4] T. Bartulevičius, M. Lipnickas, K. Madeikis, R. Burokas, A. Michailovas, “Versatile ultrashort pulse laser tunable up to nanosecond range,” *Proc. SPIE* **12399**, 1239904 (2023).

High-speed laser surface texturing by combining direct laser interference patterning with polygon scanner technology

Fabian Ränke, Robert Baumann, Bogdan Voisiat, Marcos Soldera, Andrés F. Lasagni

Institute for Manufacturing Technology, Technische Universität Dresden, George-Bähr-Str. 3c, 01069 Dresden; Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden

It is commonly known that the surface modification of metallic and polymer surfaces is a useful solution to generate functionalities by producing well-defined topographical elements or modifying their surface chemistry. This leads to an increase of the potential range of applications in the fields of biomedical applications, microfluidics, electro-catalytic devices as well as the fabrication of decorative motives or antibacterial surfaces.

Laser-based processing techniques have proven to be an effective option of modifying technical relevant surfaces [1]. In this work, Direct Laser Interference Patterning (DLIP) is used in conjunction with the polygon scanner technique for the first time to fabricate textured polystyrene and nickel surfaces through ultra-fast beam deflection (**Figure 1a**). By using a high-average power picosecond laser source in combination with two-beam DLIP optical configuration line-like structures with different spatial periods (Λ) were generated.

For polystyrene, the impact of scanning speed and repetition rate on the structure formation is studied, generating periodic features ($\Lambda = 21 \mu\text{m}$) reaching structure heights up to $23 \mu\text{m}$. Furthermore, the formation of the microstructure was found to be caused by a combination of swelling and ablation mechanisms. By applying scanning speeds of up to 350 m/s , a structuring throughput of $1.1 \text{ m}^2/\text{min}$ has been reached (**Figure 1b**) [2]. Additionally, the optical configuration was used to fabricate textured nickel electrode foils. As a result, line-like DLIP patterns with spatial period of $24 \mu\text{m}$ was applied onto the nickel substrate, as illustrated in **Figure 1c**. By applying multiple scanning cycles, structure depths up to $15 \mu\text{m}$ are reached. Furthermore, a detailed topographic characterisation of all occurring structural features was investigated by means of Fast-Fourier-Transformation (FFT) analysis. In addition, the electrochemically active surfaces of the laser-treated electrodes were analyzed using electrochemical impedance spectroscopy. Subsequently, the structured nickel electrodes were assessed in terms of their performance for the Hydrogen Evolution Reaction (HER). The findings revealed a significant improvement in HER efficiency, with a 22% increase compared to the untreated reference electrode. These results highlight the effectiveness of combining direct laser interference patterning with a polygon scanner as a viable approach for the functionalization of nickel electrodes [3].

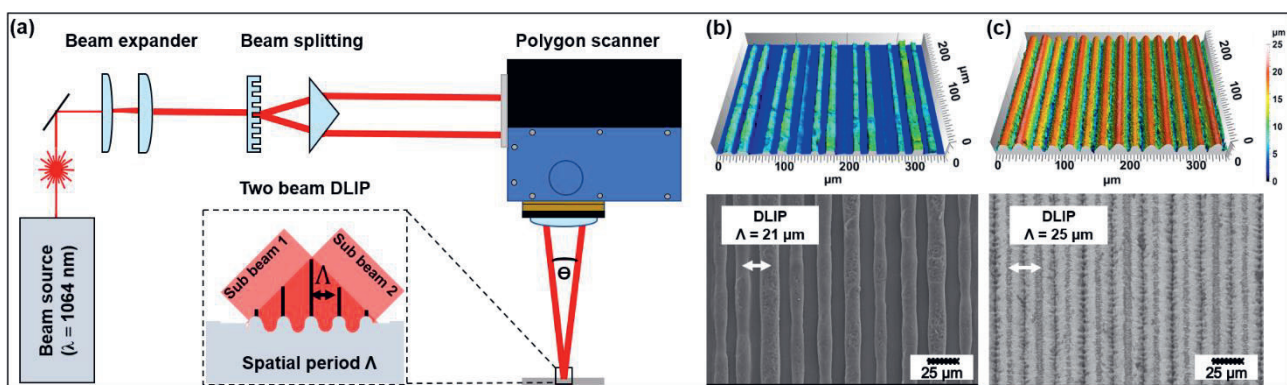


Fig. 1: (a) Schematic drawing of the used experimental configuration with the polygon scanner unit in combination with two-beam interference optics, (b) confocal image and corresponding SEM images(below) of line-like texture with spatial period $\Lambda=21 \mu\text{m}$ on polystyrene, (c) confocal image and corresponding SEM images(below) of line-like texture with spatial period $\Lambda=25 \mu\text{m}$ on nickel [2,3].

References

- [1] Fraggelakis, Fotis (2021): Tailoring submicrometer periodic surface structures via ultrashort pulsed direct laser interference patterning, in Phys. Rev. B, 103, 054105.
- [2] Ränke, Fabian (2022): High throughput laser surface micro-structuring of polystyrene by combining direct laser interference patterning with polygons scanner technology, in Mater. Lett.: X, 14, 100144.
- [3] Ränke, Fabian (2023): Ultra-short pulse laser micro structuring of nickel electrodes by combining direct laser interference patterning with polygon scanner technology, in Adv. Funct. Mater. (submitted).

Highly-dynamic laser technology for ultra-fast and precise micro texturing of three-dimensional surfaces

Florian Rößler¹, Christian Mikley², André Streek^{1,3}

¹ MOEWE Optical Solutions GmbH, Leipziger Str. 27, 09648 Mittweida

² ACSYS Lasertechnik GmbH, Leipziger Str. 37, 09648 Mittweida

³ Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Laser engraving requires a precise ablation per pulse and this due to several repetitions of scanning through a depth map. To transform this process towards areas of a square meter and more within an acceptable time, needs high-power ultra-short pulsed lasers and a high scan speed. Scan speeds in the range of several 100 m/s can be achieved with a polygon scanner. In this work, the efficiency of the polygon scanner was improved due to a synchronization of two polygons, enabling the use on a single laser source in a time sharing concept. Thus, the throughput can be increased by the factor of two and the utilization of the laser source rise from around 50 % towards 100 %. Further, one polygon scanner has been utilized within a roll-engraving machine to treat an 800 x 220 mm² (L x Dia) roll with 0.55 m² in a SP and USP engraving process. The machine setup and the processing strategy as well as the data handling of the depth map has been investigated and result in an efficient large area process. Pre-tests were performed with an multi MHz-frequency nanosecond-pulsed laser, to investigate the processing strategy. Within six stitched stripes, the whole surface was treated in single layer and the following layers were repeated in this strategy through the whole depth map. In a second step, the precision of the depth engraving will be improved by the utilization of an USP-fiber coupled laser.

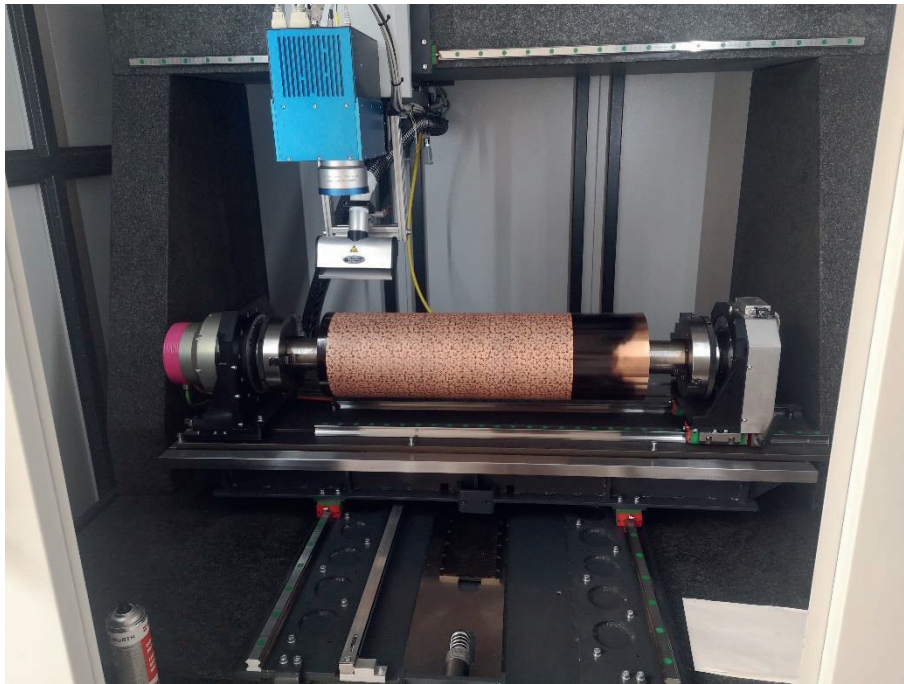


Fig. 1: Roll engraving machine with polygon scanner, copper roll and fiber laser. On the roll, a "puzzle-like" pattern is shown fabricated for test purpose in a black paint with the polygon scanner and a nanosecond pulsed laser.

Laserschneiden von Batteriefolien mit gepulsten Lasersystemen

Marc Sailer^a, Axel Fehrenbacher^a, Malte Kumkar^a, Adam Rosowski^b, Jack Gabzdyl^b

^aTRUMPF Laser GmbH, Aichhalder Str. 39, 78713 Schramberg, Germany

^bTRUMPF Laser UK Ltd, 3 Wellington Park Tollbar Way, Southampton, United Kingdom

Die Nachfrage und Innovation bei der Batterieherstellung steigt zunehmend mit dem wachsenden Bedarf an e-Mobilität. Da mechanische Verfahren bei der Produktion von Batteriezellen oft an ihre Grenzen stoßen, kann der Laser als präzises kontaktloses Werkzeug viele Vorteile bieten gegenüber klassischen mechanischen Bearbeitungsverfahren. Die Wahl der passenden Laser-Technologie gestaltet sich jedoch aufgrund der Komplexität der Folienmaterialien und Elektrodenzusammensetzungen als herausfordernd. Während das Schneiden mit kontinuierlichen Lasern oft zu großen Wärmeeinflusszonen führt, insbesondere bei beschichteten Folien, sind gepulste Laser in der Lage, in der Regel eine bessere Qualität beim Schneiden zu erzielen. Der Beitrag gibt einen Überblick über die Herausforderungen des Laser-Schneidens von Batteriefolien und untersucht die Vor- und Nachteile von Nanosekunden- und Pikosekunden-Lasern für eine Vielzahl von verschiedenen Materialien.

The demand and innovation in battery production is growing rapidly due to the increasing use of e-mobility. Laser cutting is becoming more popular as mechanical methods often have limitations in the production of battery cells. However, choosing the right laser technology is challenging due to the complexity of the film materials and electrode constructions. There is consensus that continuous lasers often lead to large heat-affected zones, especially with coated films. Pulsed lasers are usually able to achieve better quality when cutting. The article provides an overview of the challenges of laser cutting battery films and examines the advantages and disadvantages of nanosecond and picosecond lasers for a variety of different materials.

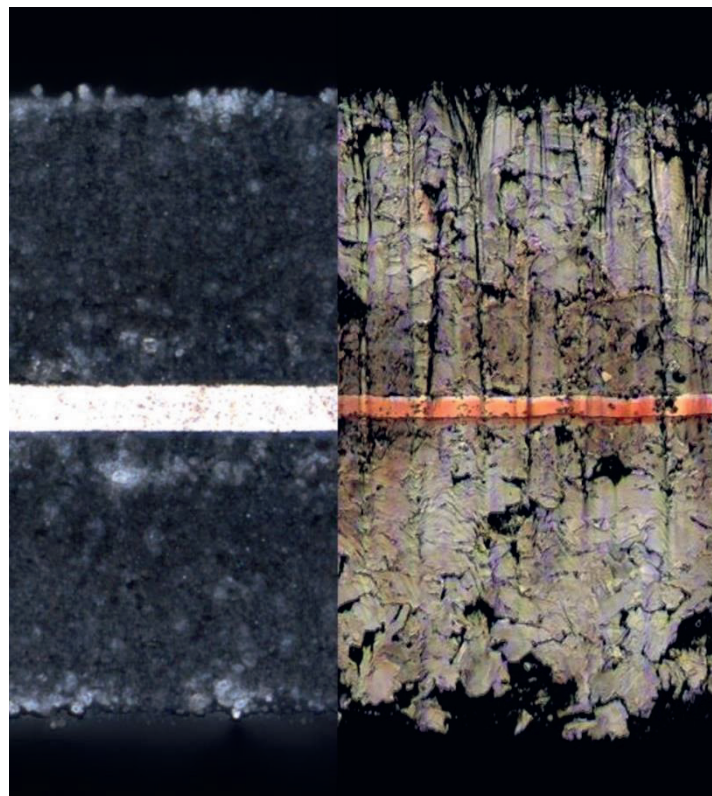


Abb. 1: Schichtaufbau Kathoden- (links) und Anodenfolie (rechts).

Untersuchungen der Partikelemissionen bei großvolumigen Laser-Ablationsvorgängen

Kristian Kujawa¹, Lutz Schneider¹, Stefan Mauersberger¹, Liliana Kotte²,
Ralf Heidenreich², Frank Gebler³, Jörg Schille¹, Udo Löschner¹

1 Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

2 Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden

3 Entstaubungsgeräte Pulsnitz GmbH, Bahnhofstr. 11, 01896 Pulsnitz

Laserablationsprodukte entstehen in der Größenordnung von einigen Mikrometern bis zu wenigen Nanometern mit einer großen Fraktion im Bereich 100 nm, s. Abb. 1 (links). Damit ist ein Großteil der Partikelemissionen alveolengängig oder sie stellen als freigesetzte Gefahrstoffe eine echte Gefährdung für die Gesundheit der Beschäftigten am Laserarbeitsplatz dar. Ultrafeine Partikel können über mehrere Stunden schwebend in der Luft verbleiben bzw. werden z.B. durch das Öffnen der Maschinentür beim Werkstückwechsel in den Atembereich gelangen. Als Folge können die Sublimationsprodukte neben der Gesundheitsgefährdung als Sekundärgefährdung bei Laserprozessen auch teure Anlagenkomponenten kontaminieren oder sich auf die zu bearbeitende Werkstückoberfläche ablagern. Letzteres wiederum verringert die erreichbare Abtrageeffizienz und vermindert die Bearbeitungsqualität im Laserprozess. Somit stellt die vollständige Erfassung und Absaugung der Partikelemissionen bereits am Entstehungsort bis hin zur effektiven Abscheidung eine Grundvoraussetzung für den sicheren Laserbetrieb dar. Das gilt insbesondere für den Einsatz von Hochleistungslasern in der Materialbearbeitung, denn die Menge an Abprodukten skaliert näherungsweise mit der eingesetzten Laserleistung.

In dieser Arbeit werden die Ergebnisse der Untersuchungen von Partikelemissionen vorgestellt, die bei großvolumigen Laser-Ablationsvorgängen entstehen. Nahezu unbeeinflusst von der verwendeten Hochleistungs-Laserstrahlquelle (cw-Laser bis 3 kW, UKP-Laser bis 300 W) entsteht eine große Menge an hochdispersen Ablationsprodukten, die die in Bezug auf Partikelemissionen bestehenden Arbeitsplatzgrenzwerte schnell übersteigen lässt. Mit Hilfe einer eigens entwickelten Flow-Box konnten die Ablationsprodukte in einem Arbeitsfeld von 100 x 100 mm² nahezu vollständig erfasst und abgesaugt werden. Mit einem neuartigen, auf sektorielle Reinigung beruhendem Abscheidesystem wurde für den Gesamtstaub ein Abscheidegrad von über 99,99 % erreicht. Interessanterweise zeigte sich der Abscheidegrad stark elementabhängig und variierte beispielsweise für die im Absaugstrom detektierten Edelstahl-Legierungselemente zwischen 99,8 % für Cr (VI) und 99,3 % für Kobalt. Des Weiteren wurde die Explosionsfähigkeit von verschiedenen Laserstaub-Luft-Gemischen überprüft. Eine dafür durch Laserabtragen repräsentativ hergestellte Fraktion Edelstahl-Feinststaub konnte innerhalb der Prüfung nicht gezündet werden, was die Partikelemissionen als nicht explosionsfähig einstuft. Eine Fraktion AlMg₄5Mn-Laserstaub hingegen stellte sich als explosionsfähig heraus, wobei die hohe Mindestzündenergie MZE > 1000 mJ auf ein relativ niedriges Gefahrenpotenzial der Staubentzündung durch elektrostatische Entladung hinweist.

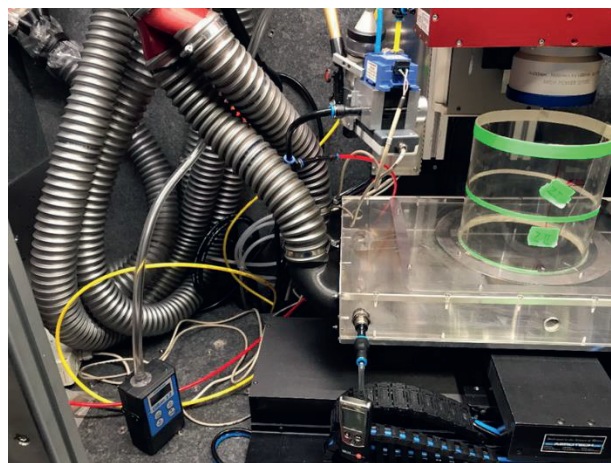
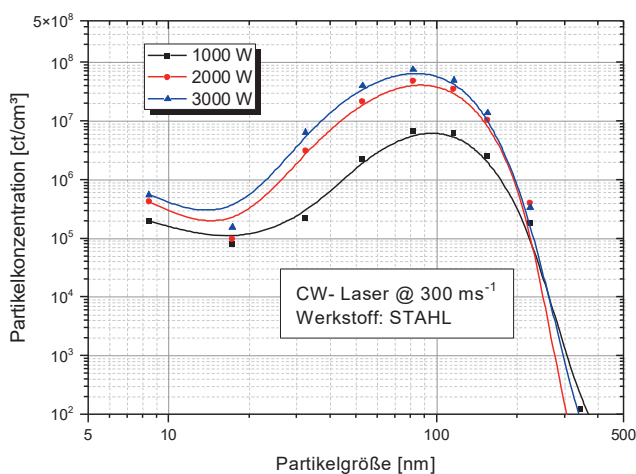


Abb.1, links: Partikelkonzentration bei der Hochrate-Laserbearbeitung von Stahl; rechts: entwickelte Flow-Box (2. Generation) zur Erfassung und Absaugung von Partikelemissionen aus großvolumigen Ablationsvorgängen.

Untersuchungen zur Herstellung rotationssymmetrischer mikrooptischer Bauelemente auf Basis der sequentiellen Maskenprojektion

Eric Syrbe, Sebastian Büttner, Michael Pfeifer, Steffen Weißmantel
Lasereinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Die optische Datenübertragung bietet viele Vorteile im Gegensatz zum rein elektronischen Stand der Technik: eine höhere Bandbreite, höhere Übertragungsgeschwindigkeiten sowie eine nahezu verlustfreie Übertragung über lange Strecken. Um diese Vorteile vollends auszunutzen zu können, dürfen keinerlei opto-elektronische Hybrid-Bauteile im Übertragungssystem vorhanden sein, da diese aufgrund der Signalumwandlung die Übertragungsgeschwindigkeiten verringern sowie den Stromverbrauch des Systems erhöhen. Das Ziel aktueller Forschung ist daher ein rein optischer Computer. Für die Informationsverteilung und -leitung innerhalb eines solchen Computers werden dafür eine Vielzahl unterschiedlichster Mikrooptiken benötigt. Es wird ein Verfahren auf Basis der sequentiellen Maskenprojektion zur Herstellung von Mikrolinsen mittels Fluorlasermikrostrukturierung vorgestellt. Hierfür wurde ein Versuchsaufbau konzipiert, getestet und für eine bestmögliche Formgenauigkeit der Mikrostrukturen optimiert. Mittels der Simulation des Strukturierungsprozesses und unter Vorgabe eines Sollkrümmungsradius werden geeignete Parametersätze berechnet. Der Krümmungsradius der entsprechend strukturierten Mikrolinsen kann somit gezielt eingestellt werden.

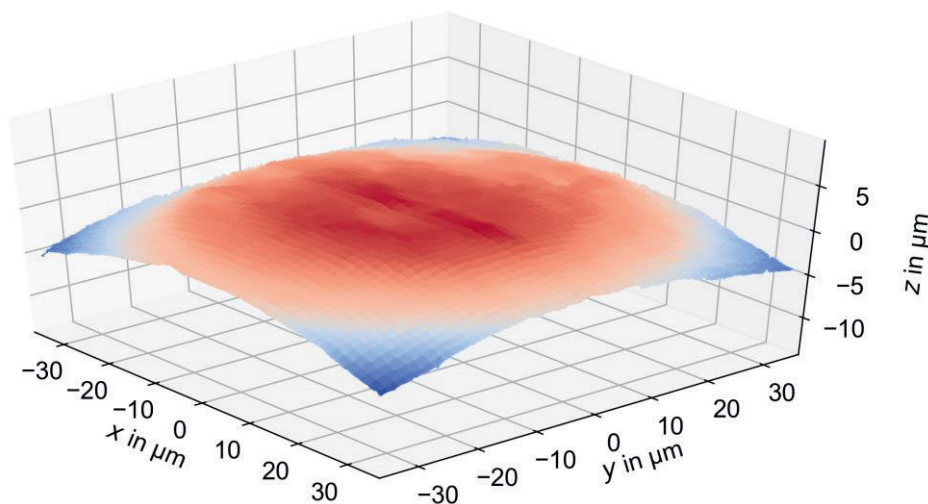


Abb. 1: Laserscanning-Mikroskopaufnahme einer gefertigten Mikrolinse mit einem Zielkrümmungsradius von 190 µm.

Lasermikrobearbeitung – Prozesssicher in der Großserienfertigung

Peter Leipe

SITEC Industrietechnologie GmbH, Bornauer Str. 192, 09114 Chemnitz

Als berührungsloses Werkzeug hat sich der Laser seit vielen Jahren in der Bearbeitung unterschiedlichster Werkstoffe etabliert. Nicht nur weil durch Lasertechnologien herkömmliche Bearbeitungsprozesse effizienter und ressourcenschonend gestaltet werden können, sondern auch die Herstellung neuer Produkte erst möglich wurde. Seit mehr als 30 Jahren steht der Name SITEC für Technologieführerschaft in der Lasermaterialbearbeitung. Insbesondere Kurzpuls- und Ultrakurzpulslaser erlauben die Mikrobearbeitung in den Verfahren Mikrobohren, Mikrostrukturieren und Mikroabtragen und die reproduzierbare Herstellung technischer Produkte, wie Membranen, Düsen, Matrizen oder medizinische Instrumente. Werkstoffe und Legierungen, wie Edelstähle, rostbeständige Chromstähle, Titan, Nitinol, aber auch Kunststoff und Borosilikat-Glas lassen sich mit dem Laser bearbeiten. Der Vortrag zeigt an Beispielen wie ultrakleine und ultragenau Geometrien prozesssicher mit Produktionsanlagen made by SITEC in Großserie gefertigt werden.



Abb. 1: Lasermikrobearbeitung von Nitinol

Tribologische Untersuchungen lasermikrostrukturierter Borkarbid-Schichten

Falko Jahn, Steffen Weißmantel

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Im Rahmen der vorgestellten Ergebnisse wird das Potential von dünnen Borkarbid-Schichten (B_4C) hinsichtlich tribologischer Anwendungen untersucht.

Dafür werden stöchiometrische B_4C -Schichten mit verschiedenen mechanischen Eigenschaften mittels Laserpulsabscheidung auf Stahl mit Schichtdicken von $1\ \mu m$ abgeschieden. Diese teils superharten Schichten werden anschließend mittels Lasermikrostrukturierung mit verschiedenen Mikrostrukturen versehen, deren Einflüsse auf die tribologischen Eigenschaften anschließend mittels ball-on-disc-Verfahren im Tribometerversuch bestimmt werden. Die Charakterisierung sowohl der unstrukturierten als auch der strukturierten Bereiche erfolgt neben Rasterelektronenmikroskopie und Atomkraftmikroskopie insbesondere mittels Ultrananindentation zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften.

Als Dritthärtetestes aller bisher bekannten Materialien in Verbindung mit besonderen chemischen und thermischen Eigenschaften verspricht Borkarbid (B_4C) großes Anwendungspotential in tribologischen und Verschleißschutzanwendungen. Insbesondere für extreme Umgebungsbedingungen wie z.B. Temperaturen $> 1000\ ^\circ C$ bietet B_4C deutliche Vorteile gegenüber den meisten anderen Materialien. Aber auch unter Normalbedingungen konnten bereits ultraniedrige Reibungskoeffizienten von $< 0,05$ gegen Stahl [1] bzw. $0,15$ gegen WC [2] nachgewiesen werden.

Ziel der präsentierten Untersuchungen am Laserinstitut Hochschule Mittweida ist es, die Einflüsse von mechanischen Schichteigenschaften in Verbindung mit verschiedenartigen Mikrostrukturen in B_4C -Schichten auf die tribologischen Eigenschaften (Reibungskoeffizient und Verschleiß) zu ermitteln.

Dafür werden stöchiometrische B_4C -Schichten mit Schichtdicken im Bereich von $1\ \mu m$ mittels Laserpulsabscheidung (PLD) auf Stahlsubstraten abgeschieden. Die Härte der unbearbeiteten Schichten können dabei über die Prozessparameter Fluenz und Substrattemperatur in einem Bereich zwischen $30\ GPa$ und $49\ GPa$ eingestellt werden (siehe Abb. 1). Anschließend werden die Schichten mittels Lasermikrostrukturierung bearbeitet. Es werden sowohl die Formen der Strukturen variiert als auch die Wirkung der Laserstrahlung. Diese kann von einer bloßen Umwandlung oberflächennaher Schichtbereiche zu B_2O_3 bei niedrigen Laserfluenzen bis hin zu einem definierten Tiefenabtrag bei höheren Fluenzen variieren. Sowohl bearbeitete als auch unbearbeitete Schichtbereiche werden mit verschiedenen Verfahren charakterisiert (u.a. REM, AFM und Ultrananindentation).

Die Bestimmung der tribologischen Eigenschaften der erzeugten Flächen bei Reibung sowohl gegen Stahl- als auch WC-Gegenkörper erfolgt mittels üblicher pin-on-disc-Verfahren. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden dargestellt und im Kontext der bekannten Literatur diskutiert.

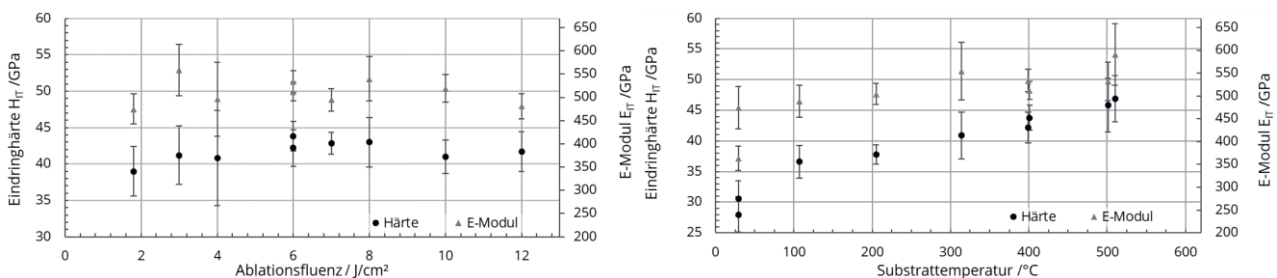


Abb. 1: Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften von Ablationsfluenz und Substrattemperatur.

[1] A. Erdemir, C. Bindal, G.R. Fenske, Formation of ultralow friction surface films on boron carbide, Appl. Phys. Lett. 68 (1996) 1637–1639. <https://doi.org/10.1063/1.115676>.

[2] J.K. Sonber, P.K. Limaye, T. Murthy, K. Sairam, A. Nagaraj, N.L. Soni, R.J. Patel, J.K. Chakravartty, Tribological properties of boron carbide in sliding against WC ball, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 51 (2015) 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2015.03.010>.

Spektrale Verbreiterung in Multipasszellen bis 2 mJ Impulsenergie

Kilian Fritsch^{1*}, Kevin Schwarz², Martin Kellert³, Christian Franke¹, Mikhail Pergament³,
Franz Kärtner^{3,4} und Oleg Pronin^{1,2}

¹ n2-Photonics GmbH, Hans-Henny-Jahnn-Weg 53, Hamburg

² Helmut-Schmidt-Universität / Univ. der Bundeswehr Hamburg, Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

³ Center for Free-Electron Laser Science, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Notkestraße 85,
22607 Hamburg

⁴ Physics Department & The Hamburg Centre for Ultrafast Imaging, University of Hamburg, Luruper
Chaussee 149, 22761 Hamburg

* Korrespondenz: info@n2-photonics.de

Wir präsentieren die nächste Ausbaustufe unseres kommerziellen Impulskompressors basierend auf Selbstphasenmodulation für 2 mJ Impulsenergie. Bei einer Transmission von 94 % erreichte das Ausgangsspektrum ein Bandbreitenlimit von etwa 100 fs bei 900 fs Eingangsimpulsdauer.

Keywords: Impulskompression, nichtlineare Optik, Ultrakurzpuls laser, Multipasszelle

Industrielaser sind in ihrer Impulsdauer durch die Emissionsbandbreite des aktiven Mediums limitiert. Dies kann durch nachgeschaltete Impulskompression via Selbstphasenmodulation überwunden werden. Besonders geeignet für die spektrale Verbreiterung und Kompression bei der herausfordernden Kombination aus hoher Impulsenergie und hoher Wiederholrate ist die Multipasszellentechnologie [1-4]. Als n2-Photonics GmbH, eine Ausgründung der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg, fokussieren wir uns auf die Kommerzialisierung dieser Technologie. Im Zuge der 12. Mittweidaer Lasertagung stellen wir unsere gasgefüllte Multipasszelle zur nichtlinearen Impulskompression (MIKS1 S) für 0,2 mJ Impulsenergie vor [5]. In diesem Konferenzbeitrag präsentieren wir unsere ersten Ergebnisse der 2,0 mJ Ausbaustufe (MIKS1 L) gemeinsam mit dem DESY in Hamburg.

In den ersten Erprobungen erreichten wir eine Ausgangsbandbreite von ca. 25 nm bei 1,5 mJ Ausgangsenergie und 94 % Leistungstransmission durch die Multipasszelle. Besonders erwähnt sei die exzellente Ausgangsstrahlqualität, siehe Strahlquerschnitt unten.

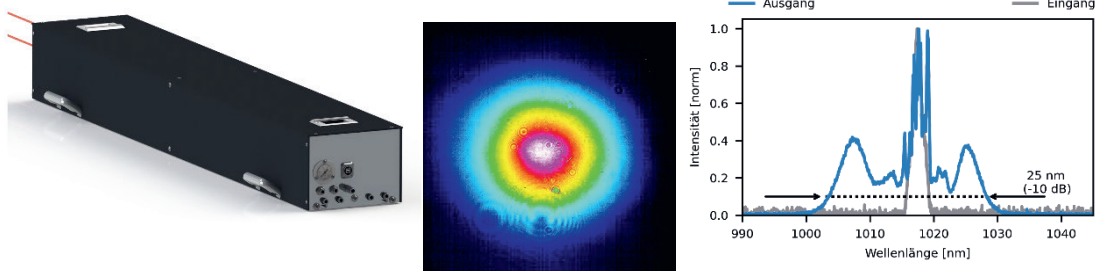


Abbildung Links: Außenansicht Kompressionsmodul, Mitte: Ausgangsstrahlprofil bei 1,5 mJ, Rechts: Ausgangsspektrum bei 1,5 mJ.

Referenzen

- [1] Russbuedt, P.; Weitenberg, J.; Schulte, J.; Meyer, R.; Meinhardt, C.; Hoffmann, H. D.; Poprawe, R. (2019): Scalable 30 fs laser source with 530 W average power. In Opt. Lett. 44 (21), p. 5222. DOI: 10.1364/OL.44.005222.
- [2] Grebing, C.; Müller, M.; Buldt, J.; Stark, H.; Limpert, J. (2020): Kilowatt-average-power compression of millijoule pulses in a gas-filled multi-pass cell. In Opt. Lett. 45 (22), p. 6250. DOI: 10.1364/OL.408998
- [3] Kramer, P.; Windeler, M.; Mecseki, K.; Champenois, E.; Hoffmann, M.; Tavella, F. (2020): Enabling high repetition rate nonlinear THz science with a kilowatt-class sub-100 fs laser source. In Opt. Express 28 (11), p. 16951. DOI: 10.1364/OE.389653.
- [4] Müller, M.; Buldt, J.; Stark, H.; Grebing, C.; Limpert, J. (2021): Multipass cell for high-power few-cycle compression. In Opt. Lett. 46 (11), p. 2678. DOI: 10.1364/OL.425872.
- [5] Fritsch, K.; Franke, C.; Pronin, O. (2021): Effiziente Impulskompression im industriellen Kontext mittels Multipasszellen. 12. Mittweidaer Lasertagung: Hochschule Mittweida (No. 003, pp 036-039). Available online at https://monami.hs-mittweida.de/files/12853/druckversion_fritschkilian.pdf.

Herstellung photokatalytisch aktiver Keramikbauteile durch selektives Lasersintern

Stefan Gronau¹, Christian Berger², Gabriela Schimo-Aichhorn³, Uwe Scheithauer², Sarah Seiringer³, Robby Ebert¹, André Streek¹

¹Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

²Fraunhofer IKTS, Winterbergstraße 28, D-01277 Dresden

³TIGER Coatings GmbH & Co KG, Negrellistraße 36, A-4600 Wels

Nach Angaben der Vereinten Nationen haben mehr als 2 Milliarden Menschen keinen direkten Zugang zu sicherem Trinkwasser. Da konventionelle Kläranlagen und bestehende dezentrale Systeme derzeit nicht in der Lage sind, die zunehmende Menge an Spurenstoffen anthropogenen Ursprungs wie Arzneimittelrückstände sicher und zuverlässig zu entfernen oder zurückzuhalten, droht die Anzahl weiter zu steigen. Photokatalytisch aktive Keramikfilter könnten diese Lücke schließen und damit die Wasserqualität verbessern.

Das selektive Lasersintern bietet hierbei die Möglichkeit, Filterelemente aus photokatalytisch aktiver Vollkeramik herzustellen, die eine lange Lebensdauer und eine große aktive Oberfläche gewährleisten. Da die photokatalytisch aktive Phase der Keramik bei zu hohen Temperaturen schnell zerstört wird, werden die Keramikpartikel in eine Duroplast-Matrix eingehüllt, die mit niedrigen Laserleistungen aufgeschmolzen werden kann. Die damit hergestellten Grünkörper können nachträglich bei definierten Temperaturen ausgehärtet, entbindert und gesintert werden und sollen damit ihre photokatalytische Aktivität behalten.



Abb. 1: Gyroid aus Titandioxid-Keramik mit Kantenlänge 5 cm, hergestellt mittels SLS und nachträglicher Sinterung.

Verfahren zur Funktionalisierung von Textilien mittels laserbasierter Pulverbeschichtung

Michael Seiler¹, Annika Gambke², Andrea Barz¹, Andreas Neudeck², Jens Bliedtner¹

¹Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07743 Jena

²Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V., Zeulenrodaer Straße, 42 07973 Greiz

Anwendungen im Bereich smarte Textilien oder smarte Wearables gewinnen in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Häufig ist die elektrische Leitfähigkeit der textilen Strukturen die Grundvoraussetzung für sensorische und aktuatorische Aufgaben. Leitende Strukturen, die mit momentan existierenden Technologien erzeugt werden, erfüllen jedoch nicht das hohe textile Anforderungsprofil an Widerstandsfähigkeit wie Waschbarkeit und Flexibilität. Bisherigen Lösungen, wie leitfähigen Garnen mangelt es an Knickbruchbeständigkeit und bei der Verwendung von leitfähigen Tinten ist die elektrische Leitfähigkeit zu gering. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Generierung elektrisch leitfähiger Strukturen mit Hilfe einer laserbasierten Pulverbeschichtungstechnologie. Dabei werden zwei möglich industriell einsetzbare Varianten vorgestellt und bewertet. Für die Beschichtung wird ein Gemisch aus TPU Pulver und Silberpartikeln verwendet. Dieses wird durch CO₂-Laserstrahlung auf dem Textil fixiert. Die entstehenden Strukturen werden mit analytischen und mikroskopischen Methoden ausgewertet.

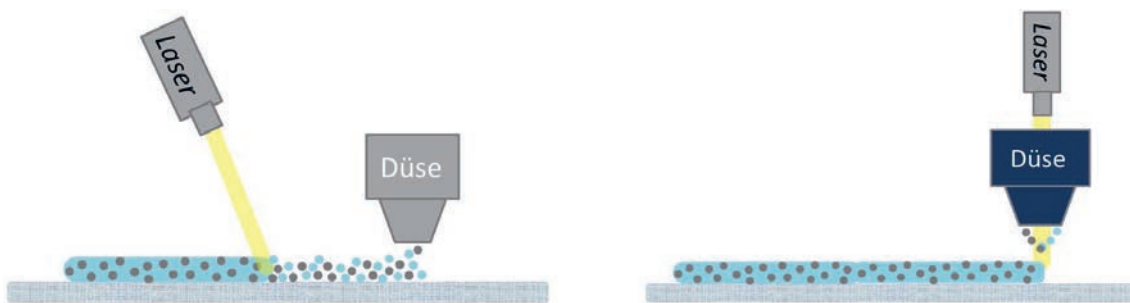


Abbildung 1: Schematische Darstellung von zwei Lösungsansätze, link: zweistufiger Prozess, rechts: einstufiger Prozess

Innovation in der Halbleiterinspektion auf der Nanoskala: Laserbasierte linsenlose Mikroskopie

Silvio Fuchs

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Die Inspektion von Halbleitern und der zu deren Herstellung benötigten lithografischen Masken ist ein kritischer Prozess in der Halbleiterfertigung. In den letzten Jahren hat die linsenlose digitale Bildgebung im extrem ultravioletten (EUV) Spektralbereich erhebliche Fortschritte gemacht. Linsenlose Techniken bieten den Vorteil, keine optischen Aberrationen zu verursachen und eine extrem hohe Auflösung zu ermöglichen. Dies wird erreicht, indem die eigentliche Abbildung aus kohärenten Beugungsbildern am Computer errechnet wird, statt sie mit Optiken direkt zu erzeugen. EUV-Licht ermöglicht die Untersuchung kleinster Strukturen, die in der Nanoskala moderner Halbleiter liegen. Durch die Kombination von digitaler linsenloser Bildgebung und laborbasierter lasergenerierter EUV-Strahlung können Struktur- und Materialinformationen in kompakten Aufbauten gewonnen werden, wie es bisher nur an Synchrotron-Großforschungsanlagen möglich war. Der innovative Ansatz steigert nicht nur die Qualität der Inspektion und vermindert somit die Fehlerquote und den Ausschuss. Durch seine Kompaktheit und das Fehlen einer der teuersten Komponente – nämlich der Optik – liegt in der Technologie auch ein großes wirtschaftliches Transformationspotential. Der Vortrag wird die Grundlagen der linsenlosen EUV-Bildgebung vorstellen und ihre potentiell transformative Rolle in der modernen Halbleitertechnologie beleuchten. Es ist von zentraler Bedeutung, diese Technologie weiterzuentwickeln, um den wachsenden Anforderungen der Halbleiterindustrie gerecht zu werden.

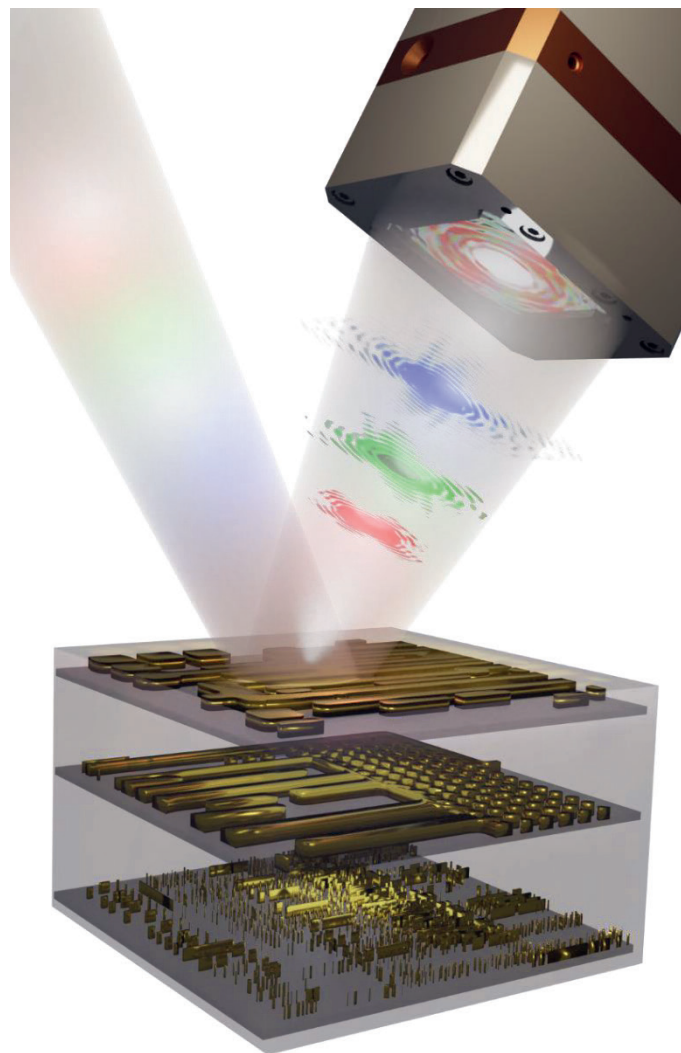


Abb. 1: Breitbandiges kohärentes Licht im extrem ultravioletten Spektralbereich wird auf eine dreidimensionale Halbleiterstruktur fokussiert. Aus den mit einem Detektor gemessenen polychromatischen Beugungsbildern kann mit Hilfe von modernen Phasenrekonstruktionsalgorithmen die vollständige Strukturinformation mit Nanometer-Auflösung rekonstruiert werden.

CO₂-Laser Bearbeitungsprozesse für die Herstellung optischer Faserendflächen

Jan Bachale, André Streek

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

In der Medizintechnik, insbesondere in der minimalinvasiven Chirurgie, wird der Laser häufiger als ein ideales Werkzeug genutzt, um operative Eingriffe mit kleinstmöglichem Trauma sehr effizient durchzuführen. Dabei muss die Strahlung des Lasers in der minimalinvasiven Laserchirurgie in eine medizinische Lasersonde eingekoppelt und zumeist mithilfe eines Katheters zum Ort der Behandlung geführt werden. Mit der Entwicklung von Laserquellen hin zu höheren Ausgangsleistungen, besserer Laserstrahlqualität und stärkerer Fokussierbarkeit ist auch die Entwicklung neuer Lichtwellenleiter notwendig. Im Rahmen eines geförderten ZIM-Projektes wurden neuartige Verfahrensprinzipien zur Herstellung von proximalen Endflächen durch Laserpolieren und die Realisierung unterschiedlicher End-Cap-Formen zur Laserstrahlformung am distalen Faserende entwickelt. Positive Begleiterscheinungen der neuentwickelten Lasertechnologien sind u.a. die Verbesserung der Oberflächenrauheit, der Abbau mechanischer Spannungen an den Endflächen und eine hohe Reproduzierbarkeit.

Grundlage für die Laserpolier- und Laserschneiduntersuchungen an den Faserendflächen war die Realisierung einer speziellen Bearbeitungsstation. Ausgestattet wurde die Anlage mit folgenden Grundkomponenten:



- 1.) CO₂-Laser
- 2.) Spezielle Bearbeitungsoptik
- 3.) 5-Achs-System; X, Y, Z und Goniometerachse (Dreh- Schwenk)
- 4.) Beobachtungskamera mit Monitor
- 5.) Oszilloskop für Laser-Puls-Messung
- 6.) Steuersoftware

Abb.1: Laseranlage zum Schneiden und Polieren optischer Endflächen

Die Bearbeitung der Faserendflächen erfolgt dabei im Dreh-Schwenkpunkt der Goniometer Achse. So können die Faserendflächen vertikal mit Einzelpulsen laserpoliert (Abb.2) und/oder horizontal lasergeschnitten/laserpoliert (Abb.3) werden. Eine, auf die Bearbeitungsposition, ausgerichtete Kamera ermöglicht die online Überwachung und Auswertung der Bearbeitungsergebnisse.

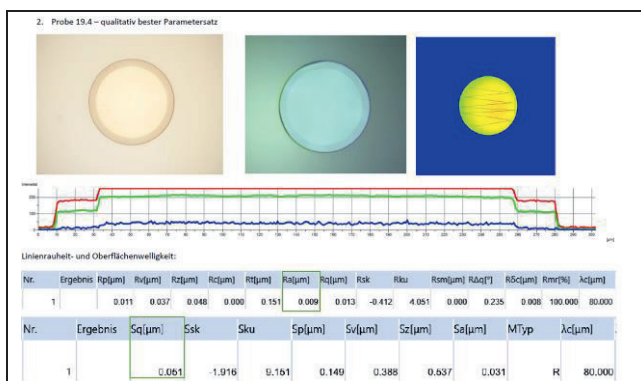


Abb.2: Laserpolitur mittel Lasereinzelpulsen

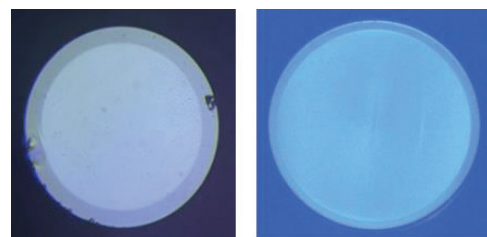


Abb.3: Endfläche einer konventionell gebrochenen Glasfaser (links) und einer lasergeschnittenen/-polierten Endfläche (rechts)

A Pressure controlled microfluidic system for automated single molecule sample preparation in fluorescence microscopy

Anxiong Yang¹, Falk Nicolas Lein¹, Joana Weiler², Julian Drechsel¹, Vanessa Schumann¹, Felix Erichson¹, André Streek¹, Richard Börner^{1,*}

¹ Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

² Institute of Physics, University of Lübeck, Ratzeburger Allee 180, 23556 Lübeck

Sample preparation is a crucial step in single molecule experiments and involves passivating the sample chamber, immobilizing the molecules, and setting buffer conditions. The efficiency of the experiment depends on the quality and speed of sample preparation, which is often performed manually and relies on the experience of the experimenter. This can result in an inefficient use of sample and time, especially for high-throughput applications. To address this, we propose a pressure-controlled microfluidic system for automate single molecule sample preparation. The hardware is based on microfluidic components from ElveFlow and is designed to be cost-effective and adaptable to various microscopy applications such as TIRF and confocal microscopy. The system includes a reservoir-pressure-adaptor and a reservoir holder designed for additive manufacturing. Two flow chamber designs, Ibidi μ -slide and GraceBioLabs HybriWell chambers, are characterized, and the flow characteristics of the liquid at different volume flow rates are simulated using CFD-simulations and compared to experimental and theoretical values to validate the approach.

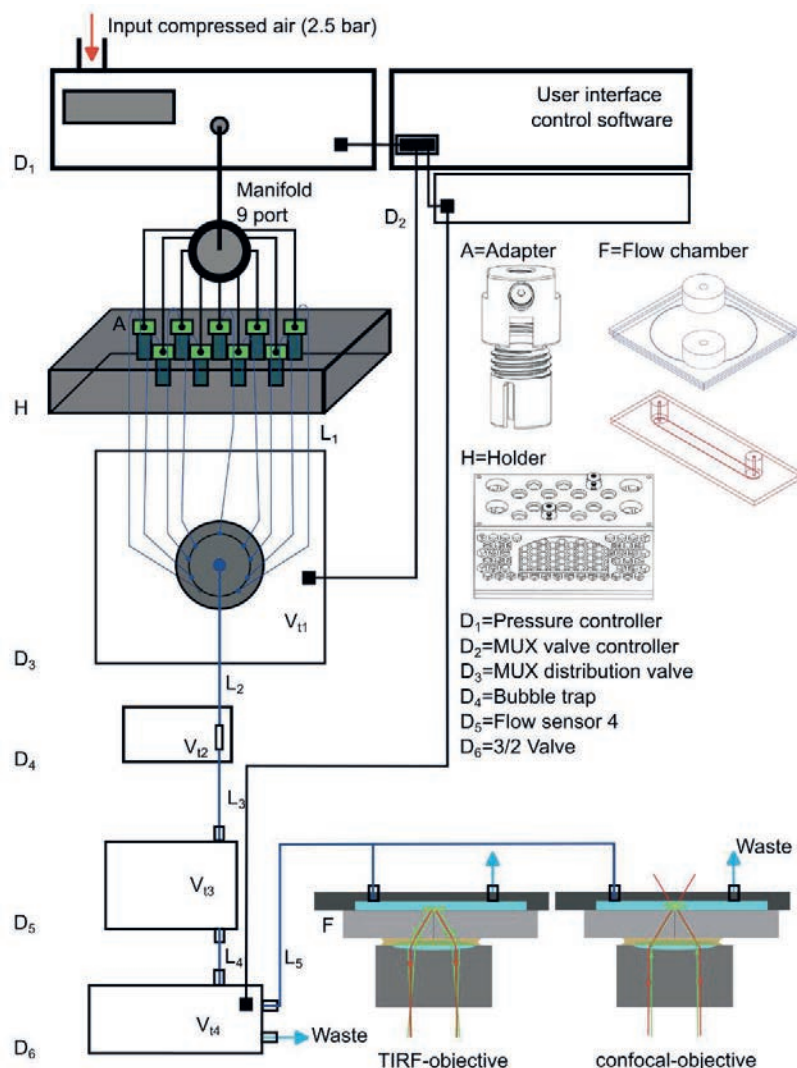


Fig. 1: Schematic representation of the pressure-controlled microfluidic system. D1-6. Commercially available components of the microfluidic system, A and H. Additive-manufactured components, F. Commercially available flow chambers. $L_{1...5}$. length of tubes; $V_{11...4}$ is the internal ("dead") volume of the different components including tubes. The holder H can be combined with a buffer heater which allows to keep constant temperatures in the sample flow chamber, i.e., if temperature controlled.

Prozesscharakterisierung des Laserstrahlhärtens bei dünnwandigen Bauteilen mit angepasstem Strahlprofil

Michael Güpner, Frank Rempt, Andreas Hopf, Jens Bliedtner

Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

Stahl ist nach wie vor einer der wichtigsten metallischen Werkstoffe unserer Zeit. Ein großer Vorteil gegenüber anderen Metallen ist die temperaturabhängige Mehrphasigkeit des Gefüges. Bei Temperaturen von ca. 900 °C kann ein Gittertyp dichter Packung eingestellt werden und durch eine rasche Abschreckung auch im festen Aggregatzustand erhalten bleiben. Die Härte und die Verschleißbeständigkeit des Bauteils steigen erheblich an. In der vorliegenden Veröffentlichung wird die Steigerung der Einhärtetiefe durch die Anpassung der Strahlgeometrie und Intensitätsverteilung an die Beschaffenheit der zu härtenden Zone des Bauteils dargelegt. Hierbei werden speziell dünnwandige, verzugsgefährdete Bauteile wie Dorne oder Messerschneiden betrachtet. Durch die Kombination aus angepasster Intensitätsverteilung und großem Aspektverhältnis kann der geometriebedingte Wärmestau für den Härteprozess nutzbar gemacht werden. Im Rahmen der Charakterisierung des Laserstrahlhärteprozesses konnten Einhärtetiefen von bis zu 6 mm erreicht werden.

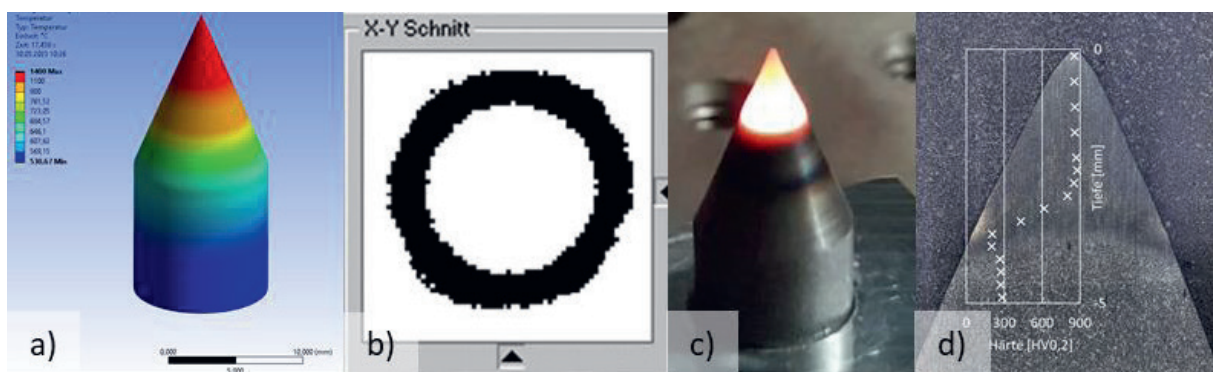


Abb. 1: a) FE-Simulation der Temperaturverteilung während des Härteprozesses bei einem konischen Bauteil, b) abgeleitetes angepasstes Strahlprofil, c) Prozessieren des Bauteils mit Ringverteilung und d) Prüfung des erzielten Härteergebnisses

Untersuchungen zum Hochgeschwindigkeits-Mikro-SLM unter Einsatz eines Polygonspiegelscanners

Florian Heinrich, Martin Erler, André Streek

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Der Einsatz von Polygonspiegelscannern zur ultraschnellen Strahlableitung im Mikro-SLM besitzt das Potential, die Effizienz dieses Fertigungsverfahrens um ein Vielfaches zu steigern. Durch die hohen Scangeschwindigkeiten von bis zu 100 m/s kann die Bestrahlungszeit deutlich reduziert werden, ohne dabei die hohe Auflösung des Verfahrens zu beeinträchtigen. In ersten Untersuchungen zeigte sich, dass aufgrund der kurzen Wechselwirkungszeiten im Bereich einiger 100 ns und der Verwendung von hohen mittleren Laserleistungen die Verdampfung von Pulvermaterial den für die Schichtbildung maßgeblichen Prozess darstellt. Die so entstehenden Schmelzspuren weisen eine inhomogene Oberflächenstruktur sowie eine hohe Porosität auf. Durch die Anpassung der Prozessparameter konnten dennoch Strukturbreiten kleiner 100 µm und relative Dichten größer 94 % erzeugt werden.

Das Mikro-SLM ist, wie alle laser-pulverbettbasierten, additiven Fertigungsverfahren, durch einen schichtweisen Aufbau der Werkstücke charakterisiert. Um einen erfolgreichen Prozess zu ermöglichen ist eine ausreichende Vernetzung der einzelnen Schichten zueinander entscheidend. Die Gewährleistung dieser vertikalen Vernetzung stellt die größte Herausforderung bei der Verwendung von sehr hohen Scangeschwindigkeiten dar und erforderte in den Untersuchungen die Verwendung von hohen mittleren Laserleistungen bis zu 350 W. Die dadurch induzierte Verdampfung von Pulvermaterial führte zur Überhöhung der Schmelzspuren, da die Schmelze aufgrund des Gasdrucks seitlich aufgeworfen wurde und so in Form einer Näpfchenstruktur erstarrte. Eine Reduzierung dieser Überhöhungen war zwar durch die Anpassung der Prozessparameter, etwa durch eine Verringerung der Laserleistung, möglich, allerdings hatte dies stets porösere Strukturen zur Folge.

Eine Vermeidung der für den Beschichtungsprozess hinderlichen Überhöhungen gelang erst durch die Implementierung einer neuen Bestrahlungsstrategie, bei welcher die in der vorherigen Schicht entstandenen Überhöhungen in der darauffolgenden Bestrahlung abgetragen wurden. Ein weiterer Schritt zur Optimierung des Prozesses war die Senkung der Schichtdicke auf bis zu 3 µm, wodurch die Porosität der Bauteile deutlich verringert werden konnte.

In den Untersuchungen konnte somit gezeigt werden, dass der Einsatz von sehr hohen Scangeschwindigkeiten bis zu 100 m/s im Mikro-SLM die Erzeugung von ausreichend dichten Strukturen erlaubt. Durch weitere Optimierung der Prozessparameter kann sowohl eine Steigerung der Bauteilqualität sowie der Effizienz des Verfahrens erwartet werden.

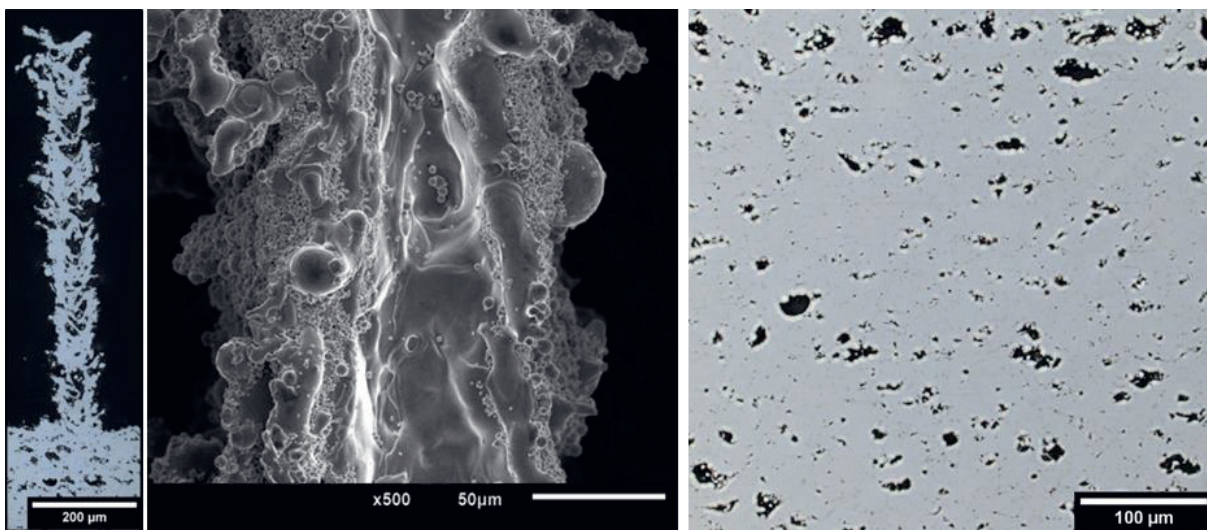


Abbildung 1 – 3 (v.l.n.r.): Querschliff einer Wand mit einer Breite von 70 µm, REM-Aufnahme der inhomogenen Oberflächenstruktur einer dünnen Struktur und Querschliff eines Bauteils zur Bestimmung der relativen Dichte.

Entwicklung eines SLM-Prozesses für die Fertigung eines topologieoptimierten Aufbohrwerkzeuges

Matthias Horn¹, Marie Peter², Jan Arndt³, Sascha Grieser⁴, André Streek¹

¹ Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

² Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Straße 70, 09126 Chemnitz

³ PDSVISION GmbH, Schellerdamm 16, 21079 Hamburg

⁴ GBZ Mannheim GmbH & Co.KG, Adam-Opel-Str. 7, 67227 Frankenthal

Mittels des additiven Pulverbettverfahrens Selective Laser Melting (SLM) können schichtweise Bauteile mit gleichwertigen Werkstoffeigenschaften des Vollmaterials generiert werden, wodurch sich viele Vorteile gegenüber den traditionellen Fertigungsprozessen ergeben. So können Features wie innenliegende Bohrungen für Kühlschmiermittel, bionische Strukturen zur Gewichtsreduktion oder Verstärkungen entsprechend mechanischer Belastungen in das Bauteil integriert werden. Ein weiterer Ansatz ist Gegenstand des ZIM-Projektes „FlexROUND“ und wird hier dargestellt. Durch Einbringung von filigranen Strukturen bzw. Gitternetzen in Bauteile soll eine definierte elastische Verformung unter Vorgabe einer konkreten Belastung ermöglicht werden. Dies geschieht durch Variation der Elementarzellengeometrie und der Anpassung der Gitterkonstante um eine gewünschte Nachgiebigkeit zu erhalten. Durch gezielte Veränderung der Füllstrategie können somit elastische Wände aus nur einer einzelnen Laserspuren generiert werden. Erste Prüfkörper aus Werkzeugstahl 1.2709 wurden im orthogonalen Drehversuch am Material AW-2007 und C45 getestet und deren Verformung über entsprechende Sensorik erfasst. Die aufgenommenen mechanischen Kennwerte wurden in einer Werkstoffdatenbank zusammengetragen und dienen als Basis für die simulationsbasierte Auslegung neuer Gitternetze für eine definierte Verformung bei entsprechender Belastung. Die gezeigten Ergebnisse fließen später in die Entwicklung eines Bohr- und Reibwerkzeuges für die CFK-Bearbeitung ein, um die Prozessstabilität zu steigern, die Werkzeugstandzeit zu erhöhen und die Bohrlochqualität zu verbessern.

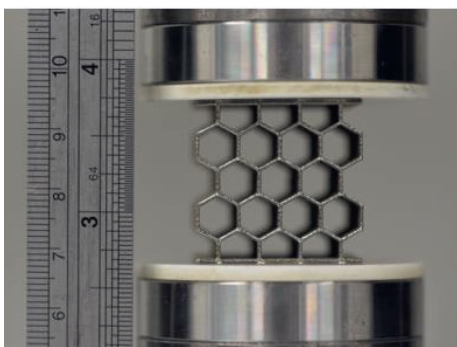


Abb.1: Prüfkörper mit Wabengitter

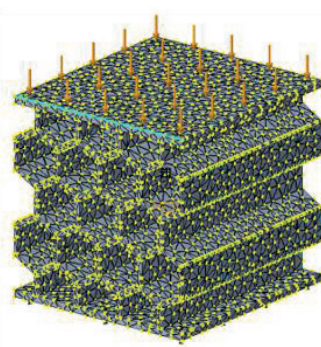
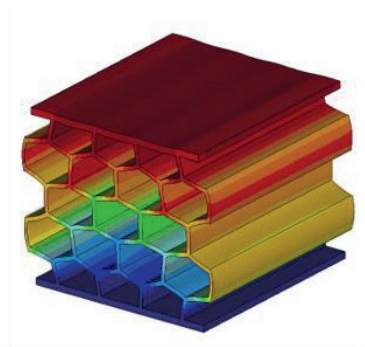


Abb.2: Simulation der Verformung bei Druckbelastung



Optimierung der Strahlenschutzeinhausung für UKPL-Maschinen

Sebastian Kraft, Jörg Schille, Udo Löschner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Infolge der raschen Entwicklung in der Lasertechnik werden in modernen Laserbearbeitungsmaschinen immer öfters Ultrakurzpuls-Laser (UKPL) verwendet. Die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten eröffnen industrielle Anwendungen in den Bereichen der Oberflächenfunktionalisierung, Medizin und vielen mehr. Durch die Eigenschaften der UKPL-Strahlung können neben der Primärgefährdung auch Sekundärgefährdungen, wie die laser-induzierte Röntgenstrahlung entstehen. Um diese meist weiche Röntgenstrahlung abzuschirmen und die Reglementierung nach §23 StrlSchV einzuhalten, werden theoretische Abschwächungen von verschiedenen Materialien simuliert, validiert und an Messungen aus der Literatur angewendet. Dadurch soll es ermöglicht werden, die Schutzfunktion der UKPL-Maschineneinhausung an verschiedene Szenarien anzupassen und zu optimieren.

Lasermaschinen mit Ultrakurzpuls-(UKP)-Laserstahlquellen haben sich als ein innovatives Werkzeug für die Präzisionsfertigung oder in der Oberflächenbearbeitung erwiesen. Dank neuester technologischer Entwicklungen hin zu Laserstrahlleistungen von mehreren Kilowatt können zukünftig Prozesszeiten deutlich reduziert und Fertigungskapazitäten erhöht werden, was den UKP-Laserverfahren vielfältige Einsatzmöglichkeiten in der industriellen Produktion eröffnet. Neben der primären Gefährdung durch die Laserstrahlung selbst müssen die Anlagenbediener auch vor gesundheitsschädlichen Sekundärgefährdungen geschützt werden, wie sie während der Laserprozessierung entstehen. Dies geschieht idealerweise durch das Umhauen des Laserbereiches zum Erreichen des Sicherheitsstandards Laserklasse 1. Zu einer dieser Sekundärgefährdungen zählt die laser-induzierte Röntgenstrahlung, wie sie kürzlich für die Bearbeitung mit hoch-intensiven UKP-Laserpulsen auch in Industrieprozessen nachgewiesen wurde. Die richtige Auslegung und Dimensionierung der Schutzgehäuse zum Strahlenschutz ist infolge der stark prozessabhängigen spektralen Verteilung der laserinduzierten Röntgenstrahlung mit Dosisleistungen von mehreren mSv/h bis in den Sv/h-Bereich herausfordernd. Vorgestellt wird ein Verfahren zur Auslegung geeigneter Gehäuseeinrichtungen, die ausreichend Schutzwirkung zur Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte im Strahlenschutz gewährleistet. Die Basis für die richtige Berechnung des Schutzgehäuses bilden reale, im Laserprozess gemessenen Röntgenspektren. Es wird gezeigt, dass Schichtstapel aus verschiedenen Materialien unterschiedlicher Dicke die bestmögliche Abschwächung der Röntgenstrahlung auch unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten bieten. Die modellhaft dimensionierten Abschirmeinrichtungen werden anschließend experimentell hinsichtlich ihrer Schutzwirkung validiert.

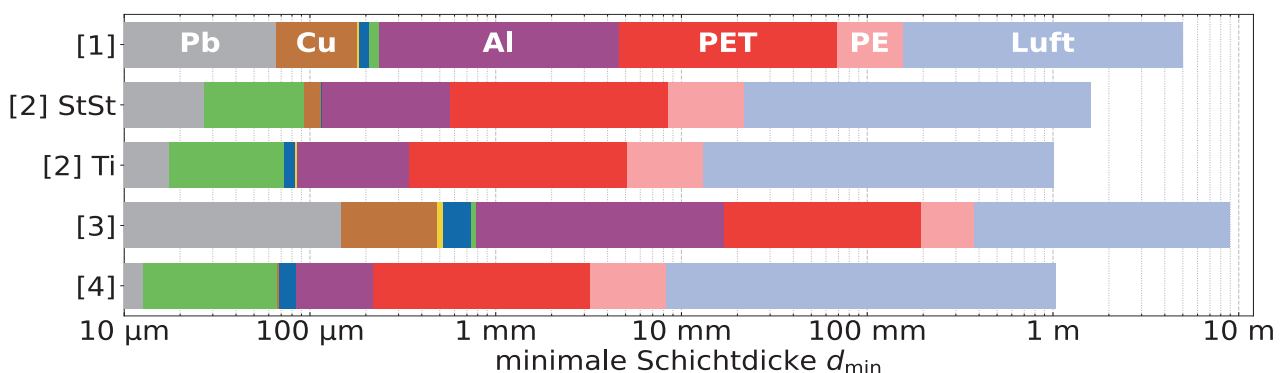


Abbildung 1: Minimal notwendige Schichtdicken zur Reduzierung der spektralen Verteilungen (s.u.) auf 1 $\mu\text{Sv/h}$ ($\pm 10\%$) in 10 cm Abstand zur berührbaren Oberfläche (Grenzwert StrlSchV §23) für verschiedene einlagige Materialien im jeweiligen Messabstand d_0 der spektralen Verteilungen

[1] K. Böttcher et al. Materials 2022, 15(24), 8996; <https://doi.org/10.3390/ma15248996>

[2] D. Kattan Masterarbeit Heinrich-Heine-Universität zu Düsseldorf 2021

[3] theoretische Bearbeitung mit 1 Sv/h angelehnt an R. Weber et al. Appl. Phys. A 125, 635 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00339-019-2885-1>

[4] Eigene Untersuchungen

Strukturiertes ta-C als alternative Verschleißschutzschicht für mechanisch belastete Oberflächen in Knie-Endoprothesen

Alexander Kratsch^(a), Maren Nieher^(a), Vadym Voropai^(b), Steffen Weißmantel^(a), Joachim Döring^(b), Wilhelm Kirchner^(c), Bernd Giggel^(d)

(a) Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

(b) Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Universitätspl. 2, 39106 Magdeburg

(c) Atherna GmbH, Am Kraehenberg 15, 13505 Berlin

(d) Vorrichtungsbau Giggel GmbH, Am Iserfeld, 139359 Boesdorf

Wir verglichen die Reib- und Verschleißigenschaften von verschiedenen beschichteten CoCrMo-Proben unter Belastungen, wie sie typischerweise im Knie auftreten. Es wurden verschiedene ta-C-Beschichtungen und die in der Medizin verbreiteten TiNbN-Beschichtungen verglichen. Dabei wurden die bei Ball-on-Disk-Tribometerversuchen an der Tribometerspitze entstehenden Kalotten ausgewertet. Wir konnten feststellen, dass unsere strukturierten ta-C-Oberflächen, gegenüber den üblichen Beschichtungen, weniger als 1/40 des Verschleißes zeigen, bei einer gleichzeitigen Reibwertreduzierung um bis zu 80%.

Abstract

Operationen am Knie gehören zu den häufigsten Eingriffen in Deutschland. Ein großes Problem derzeit ist der Metall-Polyethylen-Abrieb, sowie die Metallionenfreisetzung. Diese können zu Entzündungsreaktionen führen, welche Revisionseingriffe erfordern und somit die Kassen stark belasten und das Patientenwohl gefährden. Ziel des Projektes war es, Implantate zu entwickeln, welche langlebiger sind. Hierfür sollten verschleißmindernde Hartstoffschichten aus biokompatiblen Kohlenstoff (ta-C) und reibungsmindernde laserinduzierte Strukturen auf die artikulierenden Flächen von neuartigen CoCrMo-Implantaten aufgebracht werden. Wir konnten in angepassten tribologischen Untersuchungen zeigen, dass unsere Schicht-Struktur-Systeme, gegenüber den heute in der Medizin gebräuchlichen TiNbN-Schichten, deutlich verbesserte mechanische Eigenschaften aufweisen. Die verbesserten mechanischen Eigenschaften kommen in Kalottenschliffbildern zum Ausdruck. Wir konnten feststellen, dass unsere strukturierten ta-C-Oberflächen gegenüber den üblichen Beschichtungen weniger als 1/40 des Verschleißes zeigen. Gleichzeitig wurde eine Reibwertreduzierung von bis zu 80% erreicht. Dies könnte einen großen Fortschritt in diesem Bereich der Endoprothetik darstellen.

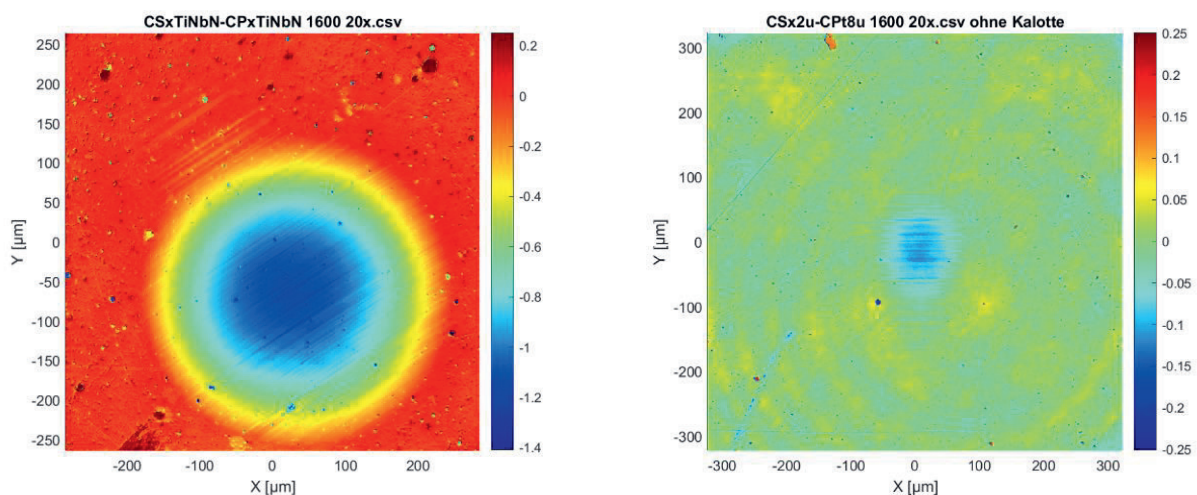


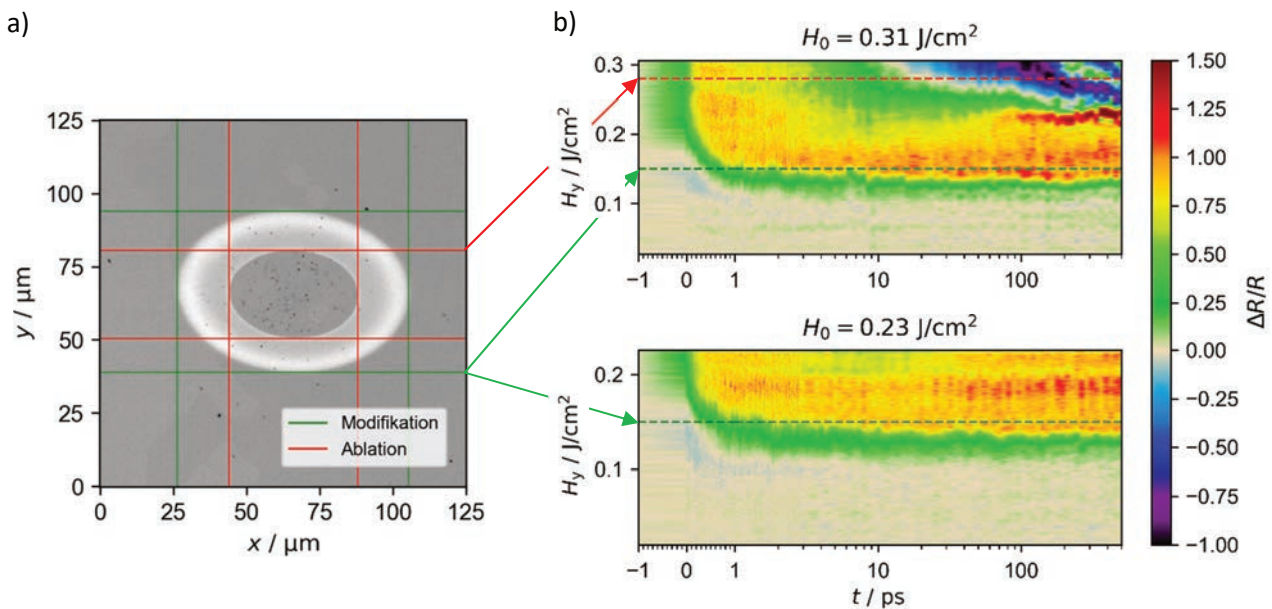
Abbildung 1 : Laser-Scanning-Aufnahmen der an einer Tribometerspitze eines Ball-on-Disk-Tribometers nach Reibversuchen entstehenden Kalotten unter gleichen Bedingungen ($s=1600\text{m}$; $F_N=1\text{N}$; $v=40\text{mm/s}$; Schmiermittel: Rinderserum mit 20g/l Protein). Die Krümmung der Spitze ($r_s=16\text{mm}$) wurde herausgerechnet. Links: CoCrMo mit TiNbN-Beschichtung (Probe und Spitze); rechts: $8\mu\text{m}$ Kohlenstoff (Probe und Spitze) mit strukturierter Probe.

Spektrale Pump-Probe-Reflektometrie an NIR angeregtem Silizium

Philipp Lungwitz, Nick Börnert, Theo Pflug, und Alexander Horn
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Ultrakurz gepulste Laserstrahlung mit Photonenenergien unterhalb der indirekten Bandlücke von Silizium ermöglicht die Strukturierung unterhalb der Materialoberfläche durch Multiphotonenprozesse. Bei der Wechselwirkung von ultrakurz gepulster Laserstrahlung im nahen Infrarot (NIR) ($\lambda_{\text{pump}} = 1950 \text{ nm}$, $\tau_{\text{H}} < 50 \text{ fs}$) mit Silizium wirken sich die nichtlinearen Anregungsvorgänge von Elektronen auch auf die optischen Eigenschaften im sichtbaren Spektralbereich aus. Die bildgebende Pump-Probe-Reflektometrie ermöglicht die Messung der transienten Reflektivitätsänderung für verschiedene Wellenlängen ($420 \text{ nm} < \lambda_{\text{probe}} < 1000 \text{ nm}$, $\tau_{\text{H}} < 50 \text{ fs}$), Fluenzen und Zeitverzögerungen bis zu $\Delta t = 500 \text{ ps}$ nach Bestrahlung. Unterhalb der Fluenz für die Materialmodifikation H_{th} wurde mit zunehmender Probe-Wellenlänge eine Abnahme der Reflektivität beobachtet. Für Fluenzen $H > H_{\text{th}}$ steigt die Reflektivität nach der Bestrahlung schnell an und zeigt im zeitlichen Verlauf für alle Probe-Wellenlängen ein lokales Minimum zwischen zu $\Delta t = 2 \text{ ps}$ und $\Delta t = 50 \text{ ps}$.

Ultrashort pulsed laser radiation with photon energies below the indirect bandgap of silicon enables the in-volume structuring of wafers due to multiphoton processes. During laser mater interaction of ultrashort pulsed laser radiation ($\lambda_{\text{pump}} = 1950 \text{ nm}$, $\tau_{\text{H}} < 50 \text{ fs}$) with silicon, the resulting nonlinear excitation of electrons by NIR radiation also affects to the optical properties in the visual spectral range. Imaging pump-probe reflectometry enables the measurement of the transient reflectance for different probe wavelengths ($420 \text{ nm} < \lambda_{\text{probe}} < 1000 \text{ nm}$, $\tau_{\text{H}} < 50 \text{ fs}$), fluences and time delays up to $\Delta t = 500 \text{ ps}$ after irradiation. Below the fluence for material modification H_{th} , a reduction of reflectance was detected which become more and more significant with an increasing probe wavelength. For fluences $H > H_{\text{th}}$, the reflectance increases rapidly after irradiation and features a local minimum between $\Delta t = 2 \text{ ps}$ and $\Delta t = 50 \text{ ps}$ for all probe wavelengths.



a) Ex Situ Mikroskopieaufnahme einer erzeugten Struktur mit gekennzeichneten Bezugspunkten zur Ermittlung der Schwellfluenzen. b) Fluenz- und Zeitaufgelöste Reflektivitätsänderung bei $\lambda_{\text{probe}} = 500 \text{ nm}$ und markierten Schwellfluenzen für Modifikation und Ablation.

Untersuchungen zur Laserfilamentierung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung

Lucas Naumann, Theo Pflug, Jörg Schille, Alexander Horn, Udo Löschner
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Mittels ultrakurz gepulster Laserstrahlung, generiert von einem Ti:Saphir-Laser (800 nm Wellenlänge, 40 fs Pulsdauer und 7 mJ Pulsenergie), konnten Filamente an Luft induziert werden. Das Filament beschreibt dabei die Ausbreitung von Laserstrahlung in einem Medium, wobei der Durchmesser konstant bleibt. Voraussetzung ist das Überschreiten einer kritischen Leistung, die vom durchstrahlten Medium und der verwendeten Wellenlänge abhängt. Dies führt zu einem nichtlinearen Verhalten des Mediums, wodurch der Brechungsindex erhöht wird und Selbstfokussierung eintritt. Unter den vorliegenden Versuchsbedingungen musste eine kritische Leistung von 9 GW, repräsentiert durch die applizierte Pulsspitzenleistung, überschritten werden. Die Selbstfokussierung setzt direkt nach Beginn der Propagation im Medium ein, wobei die Distanz bis zum Eintreten der Filamentbildung vom Rohstrahldurchmesser und der Pulsspitzenleistung abhängig ist. Zur Visualisierung der Filamentquerschnitte entlang der Propagation wurde Fotopapier mit geringer Ablationsschwelle verwendet. Das ausgebildete Filament hatte einen Durchmesser von einigen hundert Mikrometern und eine Länge von 10 cm. Die im Filamentkern eingeschlossene Intensität von 4×10^{13} W/cm² ist unabhängig von der eingebrachten Laserleistung und wurde experimentell von J. Kasparian bestimmt [1]. Es zeigte sich zudem, dass sich rund um den Abtrag im Strahlzentrum ein konzentrischer Ring bildet. Mit fortschreitender Propagation weist dieser eine divergente Ausbreitungscharakteristik auf. Während die kritische Leistung im Zentrum überschritten wird und das Filament erhalten bleibt, erreicht der umliegende Bereich diese Leistung nicht und erfährt Divergenz, Abb. 1 b) bis d). Die Erzeugung solcher Laserfilamente eröffnet neue Möglichkeiten in der Lasermaterialbearbeitung, wobei die Generierung von Mikro- und Nanostrukturen wie LIPSS in ersten Studien bereits nachgewiesen wurde [2].

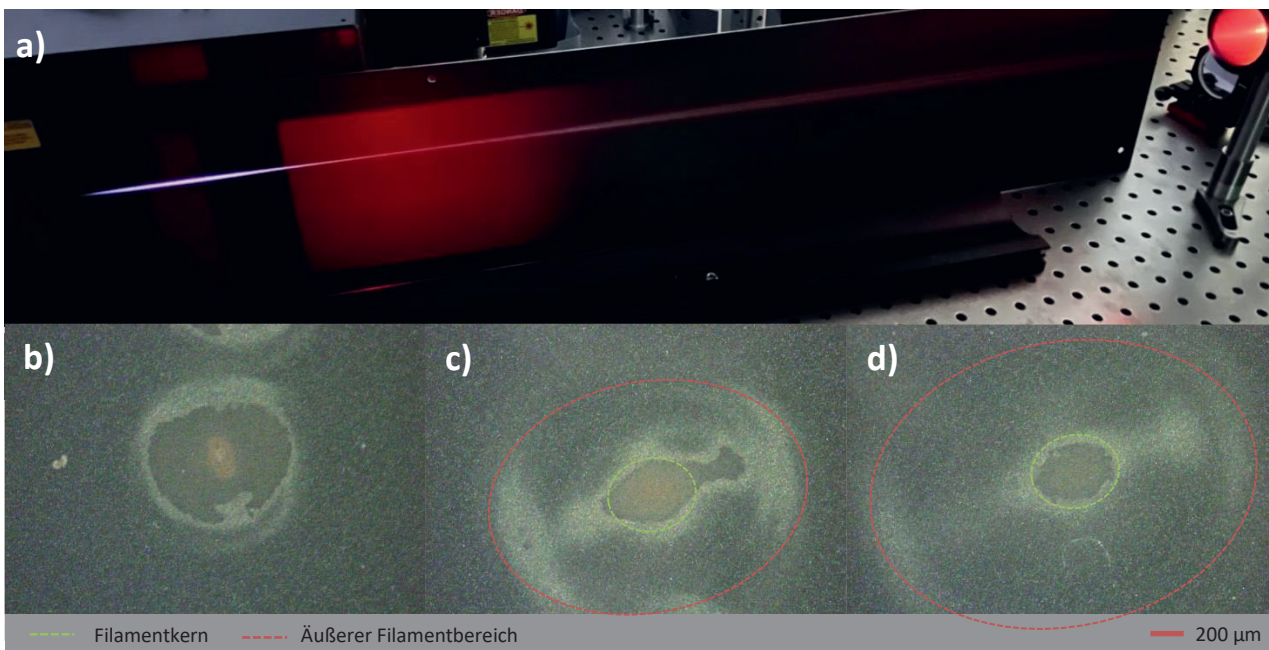


Abb. 1: a) Laserfilamentpropagation bei 164 GW mit einer verwendeten Linse $f = 1000$ mm. Die Propagationsrichtung der Laserstrahlung ist von rechts nach links. Dieses divergiert im weiteren Strahlverlauf. b) bis d): Lichtmikroskopie Aufnahme des Abtrags auf Fotopapier im Strahlverlauf bei b) $z = 102$ cm c) $z = 110$ cm und d) $z = 115$ cm. Der geometrische Fokus lag bei $z = 100$ cm.

- [1] J. Kasparian et al., The critical laser intensity of self-guided light filaments in air, *Applied Physics B*, **71**, 877-879 (2000)
[2] J. Schille et al., Formation of Nano- and Micro-Scale Surface Features Induced by Long-Range Femtosecond Filament Laser Ablation, *Nanomaterials*, **12**, 2493 (2022)

Hochrateglätten von Edelstahl mittels 5 kW Multimode-Laser

Linda Pabst, Robby Ebert, André Streek

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Die Oberflächenrauheit beeinflusst wesentlich die Eigenschaften, Funktionalität und die visuelle Erscheinung von Werkstücken. Deshalb wurde das Hochrate-Laserglätten an Edelstahl X5CrNi18/10 (1.4301) untersucht. Die Stahlbleche wurden vor der Bearbeitung sandgestrahlt, dadurch konnte eine homogene, raue Oberfläche erzeugt werden. Die Oberflächenrauheit des Ausgangsmaterials betrug $S_a = 0.42 \mu\text{m}$. Durch die Kombination eines 5 kW Multimode Faserlasers mit einer ultraschnellen Strahlableitung mittels Polygonscanner können sehr hohe Geschwindigkeiten und damit hohe Flächenraten umgesetzt werden. Durch das Laserglätten konnte eine minimale Oberflächenrauheit von $S_a = 0.11 \mu\text{m}$ erzielt werden, was einer Verbesserung der Oberflächenrauheit von 75% entspricht. Die Flächenrate für die Bearbeitung betrug dabei $800 \text{ cm}^2/\text{min}$.

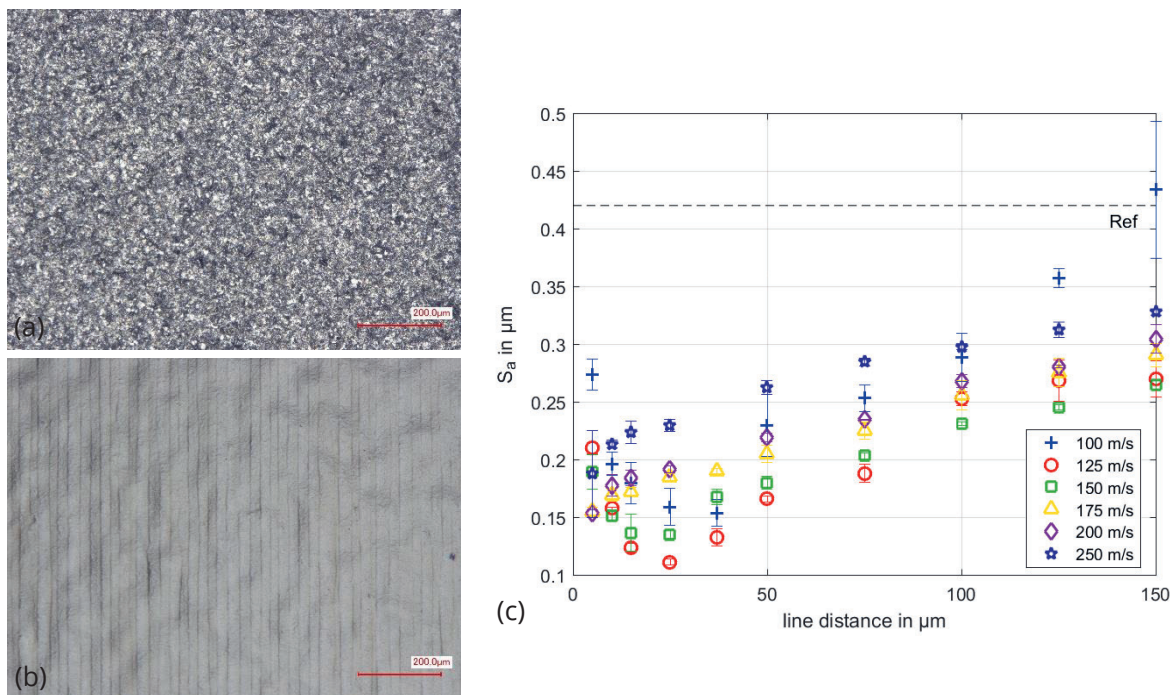


Abb. 1: Lichtmikroskopaufnahmen (a) der Ausgangsoberfläche und (b) der Laserglätten Oberfläche ($P_{av} = 5 \text{ kW}$, $w_{86} = 140 \mu\text{m}$, $v = 125 \text{ m/s}$, $L_d = 25 \mu\text{m}$) und (c) Oberflächenrauheit in Abhängigkeit des Linienabstandes bei verschiedenen Bearbeitungsgeschwindigkeiten bei einer Laserleistung von 5kW und einem Fokusradius von 140 μm

Erzeugung von laserinduzierten Schockwellensignalen für die mobile Vermessung von Asphaltsschichten

Manuel Pfeiffer, Jörn Hübelt, Steffen Weißmantel
Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Ziel dieser Untersuchungen war die Entwicklung und Anwendung einer neuartigen opto-akustischen Messtechnologie für eine mobile, berührungslose, zerstörungsfreie Bestimmungsmethode des strukturellen Zustands von Asphaltfahrbahnen, speziell der dafür notwendigen laserinduzierten Signalerzeugung. Diese Messtechnologie basiert auf der Impulseinkopplung hochenergetischer Laserpulse, die in die Fahrbahnoberfläche eingetragen werden und aus der Auswertung der Ausbreitungs- und Reflexionsmustern der so generierten Körperschallwellen. Notwendig hierfür waren Versuche und grundlegende Untersuchungen zur Generierung von laserinduzierten Schockwellensignalen im Frequenzbereich von 1 Hz bis 40 kHz mit ausreichender Signalstärke & -reichweite für die Anwendung einer MASW-Vermessungsmethode (MASW – „Multichannel Analysis of Surface Waves“), welche für die anschließende Signalzuordnung in einem horizontal geschichteten Medium (Asphaltfahrbahn), notwendig ist.

Anlagentechnik

Die Grundlage des mobilen Aufbaus für die Untersuchungen an den Asphaltsschichten zur Schockwellenanregung mittels hochenergetischer Laserpulse bildet ein SpitLight Festkörperlasersystem von der Firma InnoLas Laser GmbH mit einer Wellenlänge von 1064 nm, einer Pulsdauer von 6 - 8 ns und einer Pulsenergie auf der Probenoberfläche von bis zu 1250 mJ. Die Pulsrepetitionsrate konnte im Bereich von 1 - 10 Hz variiert werden. Für die ersten mobile Untersuchungen von Asphaltfahrbahnen wurde eine Objektivbrennweite von $f = 300$ mm verwendet.

Grundlagen zur laserinduzierten Schockwellenanregung

Die laserinduzierte Schockwellenanregung basiert auf der Absorption hochenergetischer Laserpulse in der Probekörperoberfläche. Bei ausreichend kurzen Pulsdauern im Nanosekundenbereich und gleichzeitig hohen Laserstrahlintensitäten $> 10^8$ W/cm² erfolgt infolge des Materialabtrags vom Probekörper mit Abtragstiefen pro Puls von 10 nm bis 100 nm eine explosionsartige Plasmabildung. Durch die Plasmaexpansion wird ein gegenwirkendes Kräfteintrag hervorgerufen, in dessen Folge eine resultierende Schockwellenfront im Probekörper entsteht und sich in Form eines Körperschallfeldes u. a. durch Rayleighwellen ausbreitet. Das so generierte Schockwellenprofil folgt dabei grob den zeitlichen Eigenschaften der verwendeten Laserstrahlung, wobei der Schockwellendruck von der Laserstrahlwellenlänge, der Pulsdauer, der Fokus-Spot-Größe, sowie vom Probekörpermaterial selbst als auch von der Plasmaexpansion abhängt.

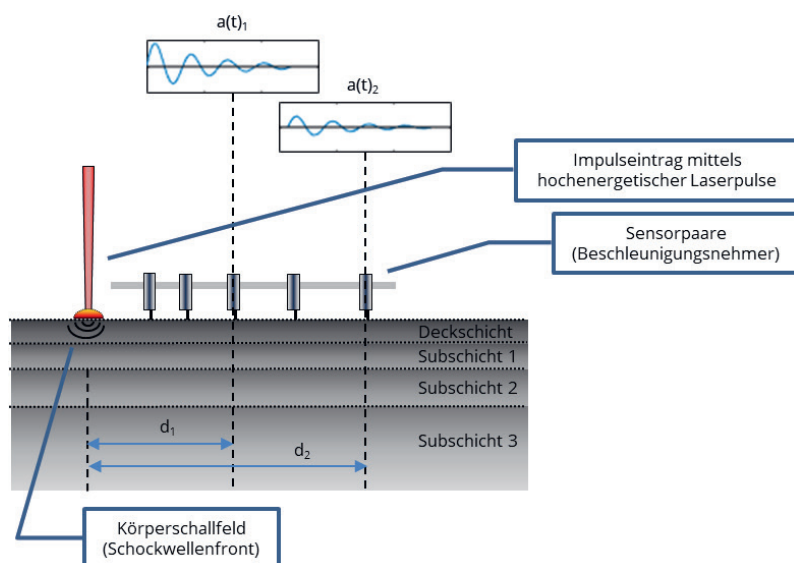


Abb. 1: Schematische Darstellung des MASW-Verfahrens zur zerstörungsfreien Bewertung der strukturellen Substanz von mehrschichtigen Asphaltfahrbahnen. Der Impulseintrag und infolgedessen die Schockwellenanregung erfolgt durch hochenergetische Laserpulse berührungslos.

Fallstudie zur Legierungsbildung auf WC-Co Hartmetall unter Verwendung ultrakurz gepulster Laserstrahlung im Burst-Modus

Philipp Rebentrost, Andy Engel, Daniel Metzner, Steffen Weißmantel
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Die Studie beschäftigte sich mit einer möglichen Legierungsbildung durch ein Aufschmelzen der Oberfläche des Verbundwerkstoffes WC-Co Hartmetall durch die Bestrahlung mit Burst Pulsen einer mittleren Pulsdauer von 10 ps. Ein Burst bestand aus acht Laserpulsen mit einer Pulswiederholzeit von 12 ns, wobei jeder der acht Laserpulse durch einen externen optischen Aufbau in einen Doppelpuls mit Pulswiederholzeiten von 0,2 ns bis 6,2 ns aufgeteilt wurde. In Abhängigkeit von der Pulswiederholzeit, von der Fluenz pro Burstpuls und von der Anzahl an Überfahrten wurden die erstarrten Schmelzen hinsichtlich der resultierenden Topografie, Dicke und chemischen Zusammensetzung charakterisiert. Eine Legierungsbildung sowie die Entstehung verschiedener Oberflächentopografien wurden nachgewiesen.

The study dealt with a possible alloy formation by melting the surface of the composite material WC-Co by irradiation with burst pulses of a pulse duration of 10 ps. A burst consisted of eight laser pulses with a temporal distance of 12 ns, whereby each of the eight laser pulses was divided into a double pulse with temporal distances between 0.2 ns to 6.2 ns by an external optical setup. Depending on the temporal distance, the fluence per pulse and the number of scans, the resolidified melt was analysed with regards to the resulting topography, thickness and chemical composition. Alloy formation and the emergence of different surface topographies was demonstrated.

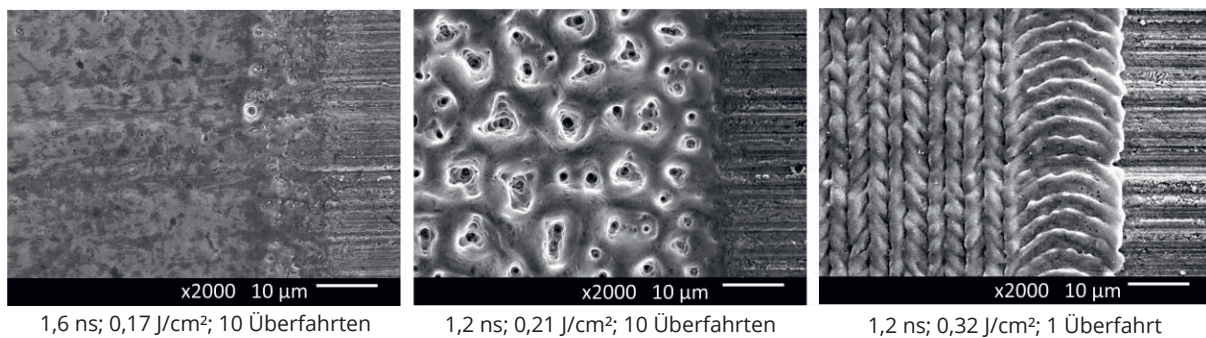


Abbildung 1: Beispiele generierter Strukturen mit dazugehörigen Parametern.

Spektrale und optische Überwachung der selektiven Entschichtung von Oberflächenmaterial auf Glasproben

Clemens Richter ², Karsten Schmiedel ^{1,2}, Tobias Baselt ^{1,2}, Peter Hartmann ^{1,2}

¹ Fraunhofer IWS, Institut für Werkstoff- und Strahltechnik, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden

² Westsächsische Hochschule Zwickau (WHZ), Leupold Institut für angewandte Naturwissenschaften (LIAN), Kornmarkt 1, 08056 Zwickau

Die Zielsetzung bei der Entschichtung des Glassubstrats besteht darin, eine vollständige Ablation der Metallbeschichtungen im Randbereich zu erreichen, ohne dabei das Glassubstrat im Bearbeitungsbereich zu bearbeiten, zu zerstören oder seine Dimensionen zu verändern. Zu diesem Zweck wird die thermische Belastung minimiert, indem Laserparameter mit kurzen Pulslängen, niedrigen Pulsenergien und einer Laserwellenlänge gewählt werden, die eine geringe Absorption im Glassubstrat aufweist. Um den Reinigungserfolg auf beschichteten Glassubstraten systematisch zu analysieren und die Anzahl der Variablen zu begrenzen, wurden verschiedene Parameterkombinationen mit Variation der Lasereinstellungen und Bewegungsregimen durchgeführt. Durch die Evaluierung des Systems konnte nachgewiesen werden, dass Schichten selektiv entfernt werden können, wodurch der Einsatz chemischer Verfahren vermieden werden kann. Zusätzlich wurde im Rahmen der Prozessentwicklung eine kamerabasierte und spektrale Überwachung implementiert, um die Selektivität zu erhöhen und das Grundsubstrat weiterhin zu schonen.

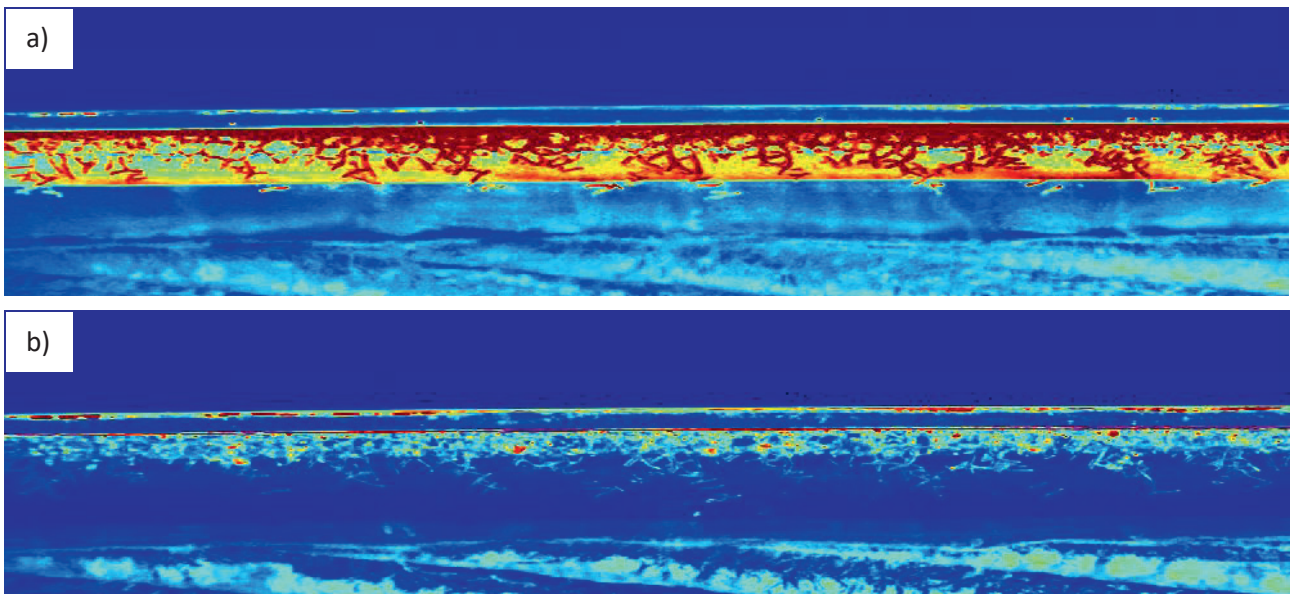


Abb. 1: Falschfarbenausschnitt des zu bearbeitenden Glassubstrates vor (a) und nach (b) selektiver Laserablation metallischer Schichten. Dabei sind besonders die Inhomogenitäten der zu entfernenden Elemente und in der Oberflächenbeschaffenheit sichtbar, wodurch eine optische Überwachung bei der Entschichtung unbedingt erforderlich ist.

Einfluss organischer Fremdstoffe in additiv gefertigtem Ti-6Al-4V

Kerstin Winkler¹, Husam Ahmad², Andre Danzig³, Philipp Gloetter³, Frank Schubert¹,
Guntram Wagner², Lothar Kroll¹

¹TU Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau, Reichenhainer Straße 31/33, 09126 Chemnitz

²TU Chemnitz, Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik, Erfenschlager Straße 73, 09125 Chemnitz

³Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH, Pfaenderstraße 50-52, 88161 Lindenberg

Das Selektive Laserschmelzen ist einer der vielen pulverbettbasierten Fertigungsverfahren, die in vielen Industriebereichen ihren Einsatz findet. Vorallem in der Luftfahrtbranche werden vermehrt Bauteile aus Titanlegierungen mit diesem Verfahren hergestellt. Hohe Sicherheitsanforderungen zwingen daher, die Pulverqualität stets zu gewährleisten, weswegen die Auswirkungen bei Verunreinigungen in diesem Beitrag Untersuchungsgegenstand waren.

Selective laser melting is one of the many Laser Powder Bed Fusion manufacturing processes (LPBF) used in many industrial sectors. Especially in the aerospace industry, components made of titanium alloys are increasingly produced with this process. High safety requirements therefore force the powder quality to be guaranteed at all times, which is why the effects of impurities were the subject of investigation in this article.

Titanlegierungen sind besonders in der Luft- und Raumfahrtindustrie, die mitunter am meist verwendeten Metalle für hoch belastete Bauteile. Sie bestehen durch herausragende Werkstoffeigenschaften bei einer verhältnismäßig geringen Dichte. Da es sich jedoch um sehr kostspielige Materialien handelt, spielen seit einigen Jahren pulverbettbasierte Verfahren wie bspw. das Selektive Laserschmelzen eine übergeordnete Rolle. Sie stellen Bauteile nahezu werkzeuglos her und durch das Wiederverwenden des genutzten Pulvers extrem material-effizient. Die Legierungen und Verfahren müssen jedoch bis zum fertigen Bauteil hohe Sicherheitsstandards und Bedingungen der Luftfahrt erfüllen wie z. B. einen geschlossenen Pulverkreislauf oder Zertifizierungen für die Verfahren der Additiven Fertigung.

Da das Pulver jedoch durch die vielen manuellen Schritte wie z. B. durch Umfüllen in Behälter oder das Ausräumen des Baujobs unter Atmosphäre gerät, besteht das Risiko, dass Fremdstoffe in den Pulverkreislauf gelangen. Werden diese dann aufgrund ihrer Morphologie nicht aus dem Pulver gesiebt, können diese schon während (Abbildung 1) und nach dem Umschmelzprozess Störungen im Material hervorrufen (Abbildung 2). Im Prozess pyrolysieren sie überwiegend zu Kohlenstoff, der sich durch die hohe spezifische Oberfläche an die Pulverpartikel haftet. Sie verändern nicht nur lokal, sondern auch die gesamte werkstoffmechanische Eigenschaft des Materials. Frühzeitiges Bauteilversagen ist die Folge. In dieser Untersuchung wurden Fremdstoffe in den Schmelzprozess eingearbeitet (Abbildung 1) und die Auswirkungen untersucht.

Dabei wurde festgestellt, dass sich die Emissionen aus dem Schmelzbad erhöhen. Zudem verändert sich das Gefüge und die mechanischen Materialeigenschaften weichen von den Standardwerten ab. Durch die Mischkristallverfestigung nimmt die Zugfestigkeit zu und Bruchdehnung ab. Organische Fremdstoffe bilden bei gewisser Konzentration eine Materialstörung in Form einer neuen Phase aus. (Abbildung 2).

Mehr dazu unter: Winkler, K. et al.: Effect of organic impurity in additive manufactured Ti-6Al-4V. Additive Manufacturing Letters Vol. 5, 2023. doi: 10.1016/j.addlet.2022.100116.

Kontakt: kerstin.winkler@mb.tu-chemnitz.de; Tel: 0371/531-34067

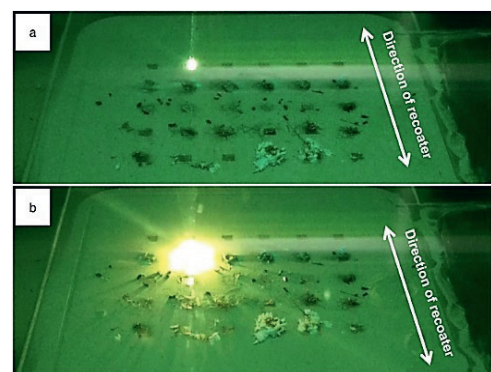


Abbildung 1: a) Lasereintrag auf fremdstofffreier Geometrie, b) Lasereintrag auf Geometrie mit Fremdstoff

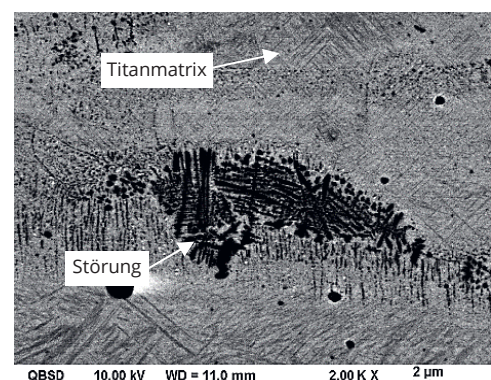


Abbildung 2: Materialstörung eingebettet in der Titanmatrix

Untersuchungen zu den Beschädigungsgrenzen des Polygonscansystems durch die genutzte Laserstrahlung

Marcel Wolf, Mathias Müller, André Streek

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Um die immer weiterwachsenden Laserleistungen der Lasergeräte auf dem Markt effektiv auf der Werkstoff Oberfläche umsetzen zu können, werden extrem schnelle Laserstrahlablenssysteme benötigt. Zu diesem Zweck wurde in der Vergangenheit an der Hochschule Mittweida ein komplett neuartiges Polygonscansystem entwickelt. Durch den steigenden Bedarf von immer kürzeren Laserpulsen und höheren Spitzenintensitäten der Industrie sollte das System hinsichtlich der Zerstörschwelle charakterisiert werden um die Grenzen der optischen Schichten und somit die des Scan-Systems auszuloten. In der folgenden Arbeit wurde jedes optische Bauteil hinsichtlich der optischen Belastungsgrenze untersucht und charakterisiert. Augenmerk hierbei lag vornehmlich auf der Verwendung ultrakurzer Laserpulse. Weiterhin wurden auch thermale Belastungstests mittels kontinuierlichen Hochleistungsstrahlungsquellen durchgeführt.

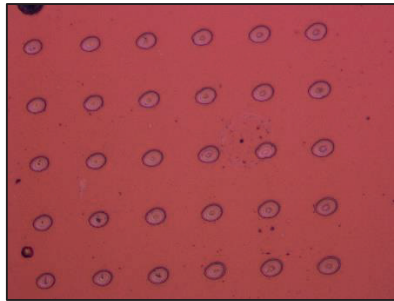


Abb. 1: Einzelpulsabträge auf der Spiegelfläche des im Polygonscanner verbauten Galvanometerscanner

Sponsoring



AFS - Active Fiber Systems GmbH

Member of the TRUMPF Group

AFS – Active Fiber Systems GmbH [Member of the TRUMPF Group] is located in Jena known as the ‘City of Photonics’ in Germany. Active Fiber Systems GmbH (AFS) is a technological leader for high-power femtosecond laser systems. Our employees have pushed the boundaries of what is possible over the last decade. Our solutions range from compact options all the way to complex high-power femtosecond laser beamlines with multiple output ports. All of our high-power laser systems are fully-based on fiber amplifier technology – developed in Jena, Germany.

Fiber lasers enjoy an excellent reputation as power-scalable diode-pumped solid-state laser concept. Their immunity against thermo-optical issues is combined with efficiency, excellent performance and turnkey reliability. During the last two decades, ultra-short-pulse fiber-laser systems have been continuously improved in Jena’s research institutes (e.g. Fraunhofer IOF, Institute for Applied Physics). The laboratory results are ground-breaking; several world records in performance are held in Jena. Today, as a spin-off, AFS even surpassed the performance of these research laser systems in many parameters and has become a world-wide technological leader in many fields of high-power laser development. The self-defined mission of AFS is to transfer laboratory setups with world-record parameters to reliable laser systems suitable for scientific and industrial applications. We have been selling high-power fiber lasers for more than a decade now and continue to push the boundaries of what is possible.


Since January 2022 we are a Member of the TRUMPF Group

Kontakt:

sales@afs-jena.de | Phone +49 3641 6337921 www.afs-jena.de

AFS - Active Fiber Systems GmbH | Member of the TRUMPF Group

Ernst-Ruska Ring 17 | 07745 Jena | Germany



FIBER-BASED ULTRAFAST LASERS	
up to 20 mJ up to 2 kW	<Hz - 80 MHz 250 fs $M^2 < 1.2$ 515 nm 1950 nm 343 nm 1030 nm
POST-COMPRESSION	ADD-ON: XUV GENERATION
<250fs <6.5fs	20 eV to >150 eV >10 ¹⁵ photons/s



LIM Laserinstitut Mittelsachsen GmbH

Die LIM Laserinstitut Mittelsachsen GmbH führt für ihre Kunden diskret und flexibel Forschung zu speziellen Lasermaterialbearbeitungstechnologien sowie Dienstleistungen mit Laserverfahren aus, die nicht im Laser Job Shop angeboten werden. Dafür stehen

der gesamte Anlagenpark des exzellent ausgestatteten Laserinstitut Hochschule Mittweida und derzeit 15 motivierte Mitarbeiter zur Verfügung. Es werden solch hochspezialisierte Verfahren wie Mikrostrukturierung durch Schichtabtrag für Sensoren, Mikroschneiden und Mikrobohren mit ultrakurzen Pulsen und UV-Laser für hochpräzise Masken, Hochratelaserbearbeitung mit Monomode-Faserlaser zum extrem schnellen Schneiden verschiedenster Werkstoffe oder zur effektiven Oberflächenbearbeitung, Lasermikrostrukturierung mit UKP-Lasern mittels Polygonspiegelscanner und 3D Druck von Metall zur Generierung von Mikrostrukturen mit höchster Auflösung für Kundenapplikationen untersucht und teilweise in Kleinserien umgesetzt. Gemeinsam mit den Kunden werden so in kurzer Zeit eigenständige Lösungen fernab vom Mainstream gefunden, die einen großen Knowhow Vorsprung garantieren. Die Tradition der Laserforschung an der Hochschule Mittweida reicht bereits über 40 Jahre zurück. Der langjährige Erfahrungsschatz kommt auch den Kunden der GmbH zugute. Pro Jahr werden 100 - 150 Aufträge im Umfang von 100 bis 100.000 Euro bearbeitet.

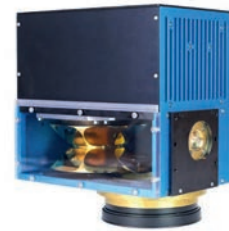


MOEWE Optical Solutions GmbH

Die MOEWE Optical Solutions GmbH wurde im August 2018 als Startup aus dem Laserinstitut Hochschule Mittweida ausgegründet. Sie ist ein junges dynamisches Unternehmen, mit derzeit 12 Mitarbeitern und Vertriebspartnern in China, Südkorea und Japan.

Das internationale Team hat eine ausgewiesene Expertise in den Bereichen Lasertechnik, Optik, Mechanik, Digitalelektronik und Programmierung. MOEWE ist ein zuverlässiger Ansprechpartner für hochwertige industrietaugliche Polygonscanner, mit exklusiven Eigenschaften wie großer Apertur, Kompaktheit, hoher Genauigkeit, Echtzeitfähigkeit, Synchronisierbarkeit und hoher Laserstrahlbelastbarkeit.

MOEWE Optical Solutions GmbH | Leipziger Straße 27 | 09648 Mittweida
03727/9989407 | info@moewe-optik.de | www.moewe-optik.de



Firmenausstellung

acal^{bfi}



ACSYS ▲



COHERENT



HIWIN®



Sill
OPTICS

SITEC





ACAL BFi Germany GmbH Photonics

Acal BFi ist ein Technologieunternehmen, das im Jahr 1956 gegründet wurde und in 11 Ländern in Europa aktiv ist. Wir beschäftigen über 400 Mitarbeiter, darunter 150 Ingenieure und 40 Entwickler in unseren Technologie- und Logistikzentren in Deutschland, Großbritannien und Hongkong. Unser Unternehmen beliefert OEMs, Forschungsinstitute, Firmen und Regierungsbehörden weltweit mit seinen technologischen Produkten. Acal BFi hat sich insbesondere im Bereich der Photonik als etablierter Marktteilnehmer und Solution Provider positioniert. Unser Schwerpunkt liegt hier unter anderem auf DPSS-Lasern, hochwertigen Laseroptiken, akusto-optischen Modulatoren, OEM-Laserleistungsmessgeräten und Hochgeschwindigkeits-Energiemessgeräten. Zusätzlich bieten wir Infrarot-Detektoren, IR-Spektrometer und Wärmebildkameras an. Dank unserer zahlreichen Niederlassungen in ganz Europa können wir unseren Kunden schnelle Lieferungen, direkten Zugang zu ihren Ansprechpartnern vor Ort und kurzfristige Besuche ermöglichen. Neben Standardartikeln bieten wir auch kundenspezifische Lösungen für komplexe Design-Herausforderungen und Anwendungen an.

Acal BFi Germany GmbH | Oppelner Straße 5 | 82194 Gröbenzell | www.acalbfi.de



ACI Laser GmbH

Laser zum Gravieren, Markieren und Trimmen

Seit 1999 entwickelt, fertigt und vertreibt die ACI Laser GmbH kompakte Laserbearbeitungsmaschinen, welche vorwiegend zur effizienten und präzisen Materialkennzeichnung und zum Lasertrimmen im industriellen Bereich eingesetzt werden. Mit dem umfangreichen Produktportfolio – bestehend aus Nd:YAG-Lasern, Faserlasern, CO₂-Lasern, UV-Laser, grüner Laser sowie Pikosekundenlaser – lassen sich nahezu alle Materialien dauerhaft und hochwertig bearbeiten.

Als schlüsselfertige Komplettlösung bietet ACI eine Auswahl an Schutzgehäusen an, welche den sicheren Betrieb des Lasersystems nach Laserschutzklasse 1 garantieren. Die Lasersysteme sind sowohl als flexible Handarbeitsplätze als auch als Integrationskomponente zur Verwendung in automatisierten Anlagen einsetzbar. Dabei sind die Workstations mit allen Lasern von ACI anwendungsabhängig kombinierbar und können in ihrem Funktionsumfang durch Vision-Systeme, Code- und ID-Lesesysteme, Handling-Systeme sowie verschiedene Achslösungen ergänzt werden. Die herstellereigene Lasersoftware ergänzt die hochwertigen Produktlösungen mit einem Maximum an Flexibilität. Komplexe Layouts können schnell und intuitiv programmiert und mit der Programmierschnittstelle in bestehende Fertigungslinien integriert werden.

Dank flexibler Fertigung ‚Made in Germany‘ bietet ACI neben seinen Standardprodukten auch eine Vielzahl von kundenspezifischen Sonderlösungen an. Entsprechend den Applikationsanforderungen können Hard- und Software an kundenseitige Prozesse angepasst und weitere Handling-Abläufe in die Laserstation integriert werden.

Besonderer Wert wird bei ACI auf eine professionelle und individuelle Kundenberatung sowie auf kompetenten und umgehenden Service gelegt. Im hauseigenen Applikationslabor werden ausführliche, kostenfreie Bemusterungen durchgeführt. Bei der Wahl eines geeigneten Lasersystems wird der Kunde vom Team des technischen Vertriebs begleitet. ACI bietet von der ersten Musterbeschriftung auf dem Werkstück bis weit über den Kauf des Lasersystems hinaus einen umfassenden und langfristigen Support.

Mit mehr als 5000 installierten Lasersystemen weltweit gehört die ACI Laser GmbH zu den führenden Herstellern von Lasersystemen. Entwicklung, Herstellung, Service und Vertrieb der Lasersysteme wurden erfolgreich nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert.

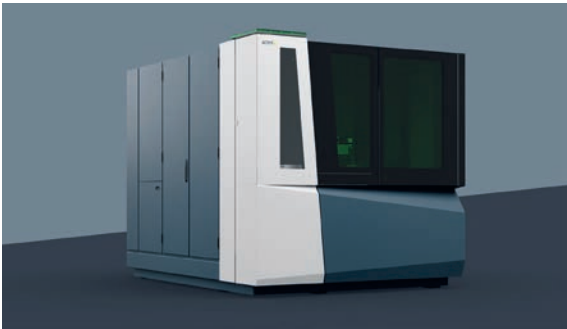
ACI Laser GmbH | Steinbrüchenstr. 14 | 99428 Grammetal | <https://aci-laser.de>

ACSYS ACSYS Lasertechnik GmbH

ACSYS ist führender Anbieter hochpräziser Standard- und Spezialmaschinen im Bereich Lasertechnik. Mit Pioniergeist, Erfahrung und Know-how entwickelt, fertigt und vertreibt wir als inhabergeführtes, mittelständisches Unternehmen seit 2003 kundenspezifische Lasersysteme in Verbindung mit effizienten Fertigungsprozessen für industrielle Anwendungen. Als technologischer Vorreiter für die Lasermikrobearbeitung ist ACSYS die erste Adresse für hochwertige Lösungen zum Gravieren, Markieren, Strukturieren, Schweißen und Schneiden mittels Lasertechnik. Zuverlässigkeit, Nachhaltigkeit und Qualität „Made in Germany“ sind unser Anspruch. Deshalb lassen wir uns regelmäßig nach den weltweit anerkannten Standards DIN ISO 9001 sowie 14001 zertifizieren.

Was uns antreibt sind Herausforderungen im Bereich hochpräziser Laserbearbeitung. In Verbindung mit dem Know-how von mehr als 120 Mitarbeitenden entstehen an den Standorten Kornwestheim und Mittweida innovative Lasersysteme für unterschiedlichste Anwendungen und Branchen. Unser einzigartiges Know-how für Prozesse, Hardware und Software sowie unsere langjährige Material-, System- und Laserkompetenz haben in den letzten 20 Jahren dazu beigetragen, die Grenzen des Machbaren zugunsten unserer Kunden zu verschieben und kundenspezifische Anforderungen optimal zu erfüllen.

Leipziger Straße 37 | 09648 Mittweida | T: +49 3727 996909 0 | E: info@acsys.de | W: www.acsys.de



asphericon GmbH

About asphericon

Founded in 2001, asphericon is one of the technology leaders in the field of aspheric optics and systems. By combining a worldwide unique CNC control technology with high-end manufacturing processes, asphericon routinely achieves unique levels of dimensional precision for optical components, assemblies and systems. The latest manufacturing technologies, continually evolving proprietary control software, world-class metrology equipment, and highly qualified employees ensure that asphericon can provide more than 800 customers worldwide with innovative solutions. asphericon assists its customers from the initial optical design, through manufacturing and coating, precision metrology, optical characterization to the assembly of optical modules to complete ready-made systems - everything at a space approved quality level.

Contact

asphericon GmbH | Mr. Alex Ponomarew | Stockholmer Str. 9 | 07747 Jena
Phone: +49-(0)3641-3100566 | www.asphericon.com | <https://www.linkedin.com/company/asphericon>





Hersteller von innovativen Femto-, Piko- und Nanosekunden-Lasern. Ein Forschungs- und Entwicklungsteam mit mehr als 30-jähriger Erfahrung garantiert professionelles Lasersesign und die Herstellung von zuverlässigen und hochmodernen Produkten.

Eine der Hauptkompetenzen von EKSPLO ist die Fähigkeit, Laser an kundenspezifische Anforderungen anzupassen. EKSPLO bietet somit optimierte und maßgeschneiderte Lösungen sowohl für Industriekunden mit 24/7 Anforderungen als auch für Anwender im Bereich der Forschung und Entwicklung.

Neben dem Hauptsitz in Vilnius, Litauen unterhält EKSPLO eigene Niederlassungen in den USA, China und Großbritannien. Darüber hinaus sorgen mehr als 20 Vertretungen weltweit für einen schnellen und zuverlässigen Laserservice und kompetente Beratung.

Auf der Lasertagung in Mittweida präsentiert EKSPLO u.a. seinen neuen Femtosekunden-Laser **FemtoLux30** für die industrielle Materialbearbeitung. Die charakteristischen Laserparameter sind: Ausgangsleistung 30W @ 1030nm, >90µJ maximale Pulsenergie, >250µJ mit Burst Mode, bis 4MHz Repetitionsrate, Pulse-on-Demand, variabel einstellbare Pulslängen zwischen einigen hundert fs bis ps, innovatives wartungsfreies Kühlkonzept.

Kontaktdaten:

EKSPLO Ltd. | Savanoriu av. 237 | LT-02300 Vilnius, Litauen

Ansprechpartner: Lukas Rimgaila | Phone: +37052649629 | E-Mail: l.rimgaila@ekspla.com

Web: www.eskpla.com



Die GFH GmbH ist einer der globalen Marktführer und technologischen Vorreiter in der Konzeption und Konstruktion von hochpräzisen Lasermikrobearbeitungsanlagen mit Ultrakurzpuls-Lasern (UKP). Wir bieten Serien- und Individualmaschinen aus einer Hand.

Hauptschwerpunkt ist dabei die stetige Weiterentwicklung des „Werkzeugs“ Laser, mit dem sich bereits heute ganz unterschiedliche Prozesse vom Schneiden über das Drehen und Bohren bis zum Strukturieren innerhalb geringster Toleranzen und ohne Verschleiß abdecken lassen. Damit steigert die Lasertechnik von GFH nicht nur die Produktivität in der Serienfertigung, sondern legt auch die Basis für innovative Herstellungsverfahren und zukünftige Fertigungsansprüche. Zusätzlich bieten wir eine professionelle Auftragsfertigung nach individuellen Kundenwünschen und spezifischen Anforderungsprofilen auf den betriebseigenen Bearbeitungszentren an. Dies beinhaltet Prozesse wie Mikrobohren, Feinschneiden, Abtragen und Laserdrehen.

Kontakt:

GFH GmbH | Großwaldring 5 | 94469 Deggendorf | Telefon +49 991 290920 | info@gfh-gmbh.de



BEWEGUNG IST UNSERE LEIDENSCHAFT.

Wir erzeugen und führen Bewegung mit Produkten der Antriebstechnik. Weltweit. Von der Einzelkomponente bis zum mechatronischen System. Von der Medizintechnik zur Photovoltaik. Von der Werkzeugmaschine bis zur Automatisierung. Unsere Produkte finden ihren vielfältigen Einsatz im Maschinenbau der verschiedensten Branchen.



Profilschienenführungen
Führen mit Präzision – steif, spielfrei, exakt. Profilschienenführungen ermöglichen exakte Linearbewegungen von der Mikropositionierung bis zur Schwerlastwerkzeugmaschine.



Granitsysteme
Für höchste Präzision und Dynamik - auf Wunsch angepasst bis zum einbaufertigen Subsystem auf Granitblock inkl. Schaltschrank und Antriebsverstärker.



ED1
Antriebsverstärker für Linear-, Servo- und Torquemotoren – universell einsetzbar.



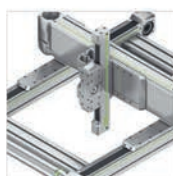
Kugelgewindetriebe
Kugelgewindetriebe vom Weltmarktführer – für jede Positionieraufgabe die passende Spindel.



Torquemotoren
Direktantriebe mit weitem Drehzahlspektrum für Werkzeugmaschinen und die Automatisierung.



DATORKER®
Wellgetriebe für große Untersetzungen mit vielfältigen Einsatzmöglichkeiten.



Linearachsen
Individuell konfigurierbares Baukastensystem: Linearachsen und Mehrachssysteme für Positionieraufgaben in der Automatisierung.



Kreuztische
Fertig montierte und präzise ausgerichtete Linearmotorachsen der LMSSA- und LMX-Reihe.



Linearmotoren
Linear-Direktantrieb für unterschiedliche Anforderungen – Linearmotorkomponenten zum individuellen Achsaufbau sowie einbaufertige Linearmotor-Achssysteme.

HIWIN GmbH | Brücklesbünd 1 | 77654 Offenburg

Tel +49 781 93278-0 | info@hiwin.de



IPG Laser GmbH & Co. KG

Die IPG Laser GmbH & Co. KG ist der weltweit führende Hersteller von Hochleistungs-faserlasern und Systemen. Mit über 1.400 Mitarbeitern am Standort Burbach entwickeln und produzieren wir seit über 30 Jahren Faserlaser höchster Qualität. Die Faserlaser in unterschiedlichen Leistungsklassen finden in einer Vielzahl von Märkten Anwendung und revolutionieren diese durch innovative Technologien. Dabei legen wir großen Wert auf Nachhaltigkeit und verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen.

Unsere einzigartige Fertigungstiefe ermöglicht es uns, schnell auf individuelle Kundenbedürfnisse einzugehen und innovative Lösungen für anspruchsvolle Herausforderungen zu entwickeln.

Mit Produktionsstätten in Deutschland, Italien, Polen, den USA und einem globalen Netzwerk von Vertriebsstandorten beliefern wir weltweit OEMs, Systemintegratoren als auch Endkunden. Die IPG Laser GmbH & Co. KG ist die deutsche Tochtergesellschaft der IPG Photonics Corporation.

IPG Laser GmbH & Co. KG | Carl-Benz-Straße 28 | D-57299 Burbach

Light Conversion wurde 1994 als Spin-off der Universität Vilnius gegründet und ist heute ein bedeutendes Unternehmen für Lasertechnologie im Ultrakurzpulsbereich mit über 480 Mitarbeitern und mehr als 5000 installierten Systemen weltweit. Light Conversion entwickelt und fertigt Ultrakurzpulslaser, optische parametrische Verstärker (OPAs) und Oszillatoren (OPOs), nichtkollineare optisch parametrischen Verstärkersysteme mit gestreckten Pulsen (OPCPAs) für industrielle, wissenschaftliche und medizinische Anwendungen sowie Laser - Spektroskopiesysteme. Die bekannten fs-Laser Modelle PHAROS und CARBIDE werden sowohl in der Grundlagenforschung als auch in der Mikromaterialbearbeitung in Wissenschaft und Industrie (24/7) erfolgreich eingesetzt. Laserausgangsleistungen bis zu 120 Watt und Pulsenergien von bis zu 4 mJoule können im Femtosekunden Bereich erreicht werden. HARPIA ist eine von Light Conversion schlüsselfertige Lösung für Femtosekunden- und Nanosekunden-Pump-ProbeSpektroskopie und Mikroskopiesystem während die bekannten Produktlinien TOPAS und ORPHEUS ca. 80% des globalen Marktes für optisch parametrische Verstärker abdecken.

Arbeitsgebiete

- R&D
- Produktion
- Vertrieb

Spezielle Ausstattung

- ca. 1800 m² Reinraum ISO 5

Leistungsangebot

- Femtosekundenlaser PHAROS und CARBIDE
- Optisch parametrierbare Verstärker TOPAS und ORPHEUS
- Laserstrahlquellen für 2- und 3-Photonen-Anregung CRONUS
- Spektroskopiesystem HARPIA



Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte

- Femtosekundenlaser
- Optisch parametrierbare Verstärker
- Durchstimmbare Laserstrahlquellen
- Laserstrahlquellen für 2- und 3-Photonen-Anregung
- "Few-cycle" OPCPA mit hohen Pulsspitzen- und Durchschnittsleistungen

Light Conversion UAB | Keramiku st 2 B | 10233 Vilnius, Litauen | www.lightcon.com

Photonics **n2-Photonics GmbH**

Wir freuen uns, das Team von n2-Photonics bei seiner Aufgabe zu unterstützen, neue Anwendungen mit ultrakurzten Laserpulsen zu ermöglichen.

Heutzutage sind industrielle Hightech-Femtosekundenlaser auf eine minimale Pulsdauer von 300 fs limitiert.

Das 8-köpfige Team bringt eine neue Technologie auf den Markt, mit der diese Pulsdauer um den Faktor 10 bis 30 verkürzt werden kann.

Dies ermöglicht eine Vielzahl neuer wissenschaftlicher Experimente. Das Team von n2-Photonics geht davon aus, dass dies auch neue Anwendungen in der nichtlinearen Lasermikroskopie und der Mikromaterialbearbeitung eröffnen wird. Wir wünschen n2-

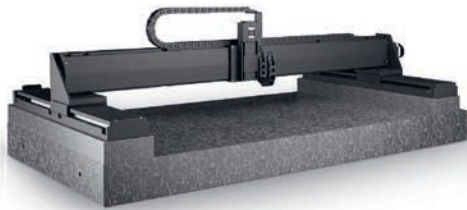
Photonics viel Erfolg mit ihrem wirklich innovativen Deep-Tech-Hardware-Produkt.



n2-Photonics GmbH | Hans-Henny-Jahnn-Weg 53 | 22085 Hamburg | www.n2-photonics.de

Laser lieben OWIS - nicht ohne Grund. Unser breites Produktportfolio zeichnet sich ganz besonders durch höchste Präzision und Zuverlässigkeit aus. Mit OWIS Engineering und Nähe zu Markt und Anwendung sind wir perfekter Entwicklungspartner für Ihre individuelle Lösung - das gilt auch für spezifische Anforderungen im Reinraum und Vakuum.

Lasermesstechnik



Hochgeschwindigkeits-Laserbearbeitung Lasermikrobearbeitung



Direktangetriebene Positionierer



OWIS GmbH - Im Gaisgraben 7 - 79219 Staufen i. Br. - Germany

PRIMES PRIMES

Seit über 30 Jahren entwickelt und fertigt PRIMES Geräte zur Diagnose von Laserstrahlung für die industrielle Anwendung. Ausgehend vom FocusMonitor zur Vermessung der Strahlqualität stehen heute verschiedene Geräte zum Messen der Strahlqualität und

Leistung von Laserstrahlung zur Verfügung.
Die Bandbreite der Geräte umfasst:

- Messen der Leistungsdichteverteilung in der Bearbeitungszone
- Messen der Strahlakustik im Fokus und bei freilaufendem Strahl
- Messen von Laserleistungen im Multikilowattbereich
- Messen kleinster Fokusradien und Strahleigenschaften von Lasern mit hoher Brillanz oder kurzer Pulsdauer

Die Entwicklung und Anwendung der Geräte werden durch Tests im eigenen Laserlabor unter realen Einsatzbedingungen unterstützt und die Funktionalität durch das eigene Kalibrierlabor abgesichert.

PRIMES steht für Innovation und Kompetenz in Sachen Strahldiagnose. Mit rund 120 Mitarbeitern arbeitet am Firmensitz in Pfungstadt ein hoch motiviertes Team, international unterstützt durch ein Netz von Distributoren in Europa, Amerika, Asien und Australien sowie einer Tochtergesellschaft in Japan.

Mit den Strahldiagnosegeräten von PRIMES stehen dem Anwender modernste Geräte mit innovativen Messverfahren zur Verfügung. Funktionalität und Verlässlichkeit der Geräte werden durch vollständige Eigenentwicklung, hohe Eigenfertigungstiefe sowie durch anwendungsorientierte Validierung und Abnahme für jedes Gerät gewährleistet. Das Lösen von anspruchsvollen Messaufgaben in der industriellen Fertigung bis hin zur Forschung und Verfahrensentwicklung, gemeinsam mit den Fachleuten vor Ort, ist die Stärke von PRIMES.



Für neue Herausforderungen im Bereich der Laserstrahldiagnose stehe ich Ihnen als Ansprechpartner gern zur Verfügung:

Björn Krämer
Technischer Support
Mail: b.kraemer@primes.de



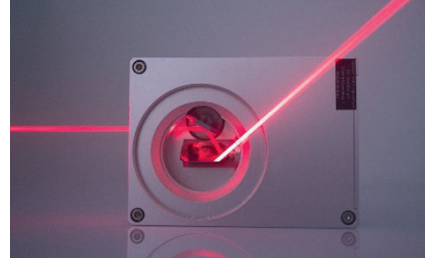
SCANLAB GmbH

Die SCANLAB GmbH ist mit rund 40.000 ausgelieferten Systemen jährlich der weltweit führende und unabhängige OEM-Hersteller von Scan-Lösungen zum Ablenken, Positionieren und Führen von Laserstrahlen. Die schnellen und besonders präzisen Galvanometer-Scanner, Scan-Systeme und Ansteuerlösungen werden in Deutschland entwickelt und mit

höchsten Qualitätsstandards in Puchheim bei München hergestellt.

Produktspektrum

- Galvanometer-Scanner
- Scan-Systeme (2D / 3D)
- Z-Achsen und 3D-Erweiterungen
- Steuerungselektronik
- Software & Kalibrierlösungen
- Erweiterte Scan-Lösungen



Anwendungsgebiete

- Industrielle Lasermaterialbearbeitung (z. B. Markieren, Schweißen, Schneiden, Bohren, Additive Fertigung / 3D-Druck, Solarzellenfertigung, Mikro-Materialbearbeitung)
- Bio- und Medizintechnik (z. B. Ophthalmologie, Dermatologie, konfokale Mikroskopie, OCT)
- Wissenschaft und Forschung (z.B. DNA-Sequenzierung, Laserprozess-Entwicklung)

Technologie- und Entwicklungsschwerpunkte

- Hochdynamische und hochpräzise Galvanometer-Scanner
- Digitale, hochintegrierte Positionsdetektoren
- Intelligente Regelungskonzepte (z.B. vorausschauende Regler)
- Industrietaugliches Hochgeschwindigkeits-Scannen mit UKP-Lasern

SCANLAB GmbH | Siemensstr. 2a | 82178 Puchheim

Telefon: +49 89 800746-0 | E-Mail: info@scanlab.de | Web: www.scanlab.de



Sill Optics GmbH

Sill Optics steht für Qualität und Innovation auf dem Gebiet photonischer Technologien. Sill Optics ist als Spezialist für kundenspezifische Produktentwicklungen international bekannt. Darüber hinaus führt das Unternehmen ein hochwertiges Sortiment an Portfolio-Produkten. Mit hoch qualifizierten und motivierten Teams besitzt Sill Optics die Flexibilität photonische Lösungen zielgerichtet, effizient und wirtschaftlich für seine Kunden zu erschaffen.

Arbeitsgebiete

Das Produktionsspektrum umfasst eine breite Palette von der Herstellung von Objektiven bis hin zu kompletten Systemen für folgende Bereiche:

- Lasertechnik: industrielle Materialbearbeitung, z.B. Mikromaterialbearbeitung, additive Fertigung
- Abbildende Optiken, z.B. Messtechnik, Qualitätssicherung
- Medizintechnik, z.B. Mikroskopie, Analysetechnik
- Wissenschaft und Forschung, z.B. Trapped-Ion Objektive

Leistungsangebote

Entwicklung und Produktion von

- Sphärischen Präzisionslinsen
- Präzision-Asphären
- Absorptionsarmen optischen Schichten
- Mechanischen Komponenten
- Optomechanischen Systemen
- Elektronik

Technologieschwerpunkte

- Optische und optomechanische Lösungen im High-End Bereich
- Justierdrehmaschinen
- Hochpräzisionsmontage
- Optische Dünnschichten und Absorptionsmeßsysteme
- MRF Technologie

Kontakt:

Sill Optics GmbH | Johann-Höllfritsch-Str. 13 | D-90530 Wendelstein | Germany

SITEC SITEC Industrietechnologie GmbH

SITEC ist ein international geschätzter Partner und Systemlieferant für automatisierte High-Tech Produktionsanlagen und der Serienfertigung von Präzisionsteilen und Baugruppen.

Basierend auf höchsten Qualitäts- und Umweltstandards bietet SITEC effiziente Fertigungstechnologien sowie schlüsselfertige Komplettlösungen.

Dem Einsatz innovativer Technologien widmen wir unsere ganze Aufmerksamkeit. SITEC entwickelt für seine Kunden der Automobilindustrie, Elektronik und Halbleiterindustrie, Metallbearbeitung und automatisierten Montage. Das gelingt dem Unternehmen mit hoch motivierten und qualifizierten Mitarbeitern und einem optimalen Teamwork.

Medizintechnik und alternativen Energietechnik serienreife Lösungen zur Lasermaterialbearbeitung, elektrochemischen

Medizintechnik und alternativen Energietechnik serienreife Lösungen zur Lasermaterialbearbeitung, elektrochemischen Metallbearbeitung und automatisierten Montage. Das gelingt dem Unternehmen mit hoch motivierten und qualifizierten Mitarbeitern und einem optimalen Teamwork. SITEC wächst dabei mit den Herausforderungen seiner Kunden und des Marktes, wie beispielsweise der Entwicklung neuer Produkte im Bereich der E-Mobilität oder autarker Speichertechnologien auf Basis von Brennstoffzellen. Zum Portfolio gehören heute vollautomatisierte Laserbearbeitungsanlagen zum Laserschweißen, Laserschneiden, Laserhärten, Laserauftragsschweißen und der Mikrobearbeitung insbesondere für Bauteile im E-Antrieb, Batteriesystem, der Leistungselektronik und für Interior Designs.



Sicherheitskomponenten, wie beschichtete Bremscheiben, Airbag-Baugruppen und Fahrwerks-Komponenten runden das Leistungsspektrum der Serienfertigung ab. Dank erweiterter Fertigungskapazitäten am Hauptstandort in Chemnitz sowie in Kooperation mit Feintool in Taicang (China) produzieren wir mehrere Millionen Bipolarplatten pro Jahr.

Das 1991 gegründete Unternehmen mit Hauptsitz in Deutschland bedient asiatische Märkte direkt vor Ort über die SITEC Laser Technology (Shanghai) Co., Ltd. und betreibt in den USA (Pittsburgh) einen Showroom.

SITEC Industrietechnologie GmbH | Bornaer Straße 192 | 09114 Chemnitz | Germany
sales@sitec-technology.de , www.sitec-technology.de

TOPAG Lasertechnik GmbH

Die TOPAG Lasertechnik GmbH bietet Produkte aus den Bereichen Laser und optische Messtechnik an. Der Schwerpunkt liegt auf dem Vertrieb und Service von UKP-Lasern für Anwendungen in Forschung und Industrie. Das Unternehmen entwickelt und fertigt neuartige diffraktive Optiken zur Laserstrahlformung.

Individuelle Beratung, kundenspezifisch angepasste Lösungen und eine langfristige,

vertrauensvolle Zusammenarbeit mit unseren Kunden bilden seit der Gründung im Jahr 1993 die Basis für den Unternehmenserfolg.

TOPAG präsentiert neue Produkte für die Mikromaterialbearbeitung:

- Neuer Femtosekunden-Laser **FemtoLux30** für die industrielle Materialbearbeitung: 30W @ 1030nm, variabel einstellbare Pulslängen 350fs-1ps, >90µJ Pulsenergie, >250µJ im Burst Mode, bis 4MHz Repetitionsrate, Pulse-on-Demand, innovatives wartungsfreies Kühlkonzept.
- Neuer **Top Hat Strahlformer** GTH-S-5.0-16.0 aus Quarzglas für UKP-Laseranwendungen mit höchsten Leistungsdichten. Die Top Hat-Größe kann durch Wahl der fokussierenden Optik variabel angepasst werden, einsetzbar vom UV bis IR. Damit lassen sich quadratische, homogene Strahlprofile in der Größe von 500 µm bis 50 mm erzeugen.-
- **Autokorrektoren** der Serie ROC und µ-ROC zur Pulslängenmessung von Femto-/Pikosekunden Lasern, sowie **FROG Systeme**, mit denen weitere wichtige Pulseigenschaften von UKP-Lasern gemessen werden können.

Kontakt:

TOPAG Lasertechnik GmbH | Nieder-Ramstädter Str. 247 | 64285 Darmstadt
Ansprechpartner: Dr. Erwin Jäger | Tel: +49 6151 42944-21



TRUMPF Laser- und System- technik GmbH

Zahlen und Fakten zum Hightechunternehmen TRUMPF

TRUMPF ist einer der Technologie- und Marktführer bei Werkzeugmaschinen für die flexible Blechbearbeitung und bei industriellen Lasern. Mit rund 17.900 Mitarbeitern erwirtschaftete die TRUMPF Gruppe im Geschäftsjahr 2022/23 nach vorläufigen Zahlen einen Umsatz von rund 5,4 Milliarden Euro.

Werkzeugmaschinen für die Blech- und Rohrbearbeitung bilden das Kerngeschäft. Das Angebot umfasst Maschinen zum Biegen, zum Stanzen, für kombinierte Stanz-Laserprozesse sowie für Laserschneid- und Laserschweißanwendungen. Vielfältige Automatisierungslösungen und ein breites Softwareangebot runden das Portfolio ab.

Im Geschäftsbereich Lasertechnik bietet TRUMPF Hochleistungs-CO₂-Laser, Scheiben- und Faserlaser, Diodendirektlaser, Ultrakurzpuls laser sowie Beschriftungslaser und -systeme. Auch Lasersysteme für das Schneiden, Schweißen und die Oberflächenbearbeitung dreidimensionaler Teile gehören ebenso zum Produktprogramm wie Hochleistungslasersysteme im Bereich extrem ultravioletten Lichts für die Herstellung von Microchips. Für metallischen 3D-Druck ist TRUMPF mit Kompetenz im Maschinenbau und Wissen über Laser und Digitalisierung bestens aufgestellt.

Kontakt:

Stefan Grahle | Vertrieb Telefon: +49 (7156) 303-35699 | E-Mail: Stefan.Grahle@trumpf.com