

Laserinstitut

Hochschule Mittweida

$|E|$ in V/m

2.5

2

1.5

1

Programm und Abstracts

11. MITTWEIDAER LASERTAGUNG

13./14. November 2019 an der Hochschule Mittweida



Laserinstitut
Hochschule Mittweida



Programm zur 11. Mittweidaer Lasertagung

Datum: Mittwoch, 13.11.2019

| | |
|-------|---|
| 9:20 | Eröffnung |
| - | Ort: Haus 5 / 5-120 |
| 9:40 | Eröffnung der 11. Mittweidaer Lasertagung durch den Rektor der Hochschule Mittweida, Prof. Dr. Ludwig Hilmer, und den Direktor des Laserinstitut Hochschule Mittweida, Prof. Dr. Horst Exner |
| 9:40 | Keynote |
| - | Ort: Haus 5 / 5-120 |
| 10:20 | 9:40 - 10:20 |
| | The Future of Digital Photonic Production |
| | Reinhart Poprawe Fraunhofer ILT Aachen, Deutschland |
| 10:20 | Session 1: Hochrate-Laserbearbeitung / Makro (Moderation: Horst Exner) |
| - | Ort: Haus 5 / 5-120 |
| 10:40 | Produktivitätssteigerung beim gepulsten Laserauftragschweißen von Nickelbasis-Superlegierungen durch Entkopplung der Wärmeanteile |
| | Christian Kästner , Leander Schmidt, Robert Leinhoß, Anna Behr, Klaus Schrickler, Jean Pierre Bergmann Technische Universität Ilmenau, Deutschland |
| 10:40 | Kaffeepause, Firmenausstellung |
| - | Ort: Haus 5 |
| 11:00 | Session 1: Hochrate-Laserbearbeitung / Makro (Moderation: Horst Exner) |
| - | Ort: Haus 5 / 5-120 |
| 12:00 | 11:00 - 11:20 |
| | Potenzial des Laser-MAG-Tandem-Hybrid-Schweißens für industrielle Anwendungen |
| | Herbert Staufer Fronius, Österreich |
| | 11:20 - 11:40 |
| | Strahlschweißen am Baustahl S355 – 10kW Monomode Faserlaser und 15kW Elektronenstrahl im Vergleich |
| | Jan Drechsel² , Paul Hollmann ¹ , Udo Löschner ² , Rolf Zenker ^{1,3} , Horst Biermann ¹ 1: TU Bergakademie Freiberg, Deutschland; 2: Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland; 3: Zenker Consult, Deutschland |
| | 11:40 - 12:00 |
| | Charakterisierung des Laserstrahlschockhärtens zur Randschichtverfestigung am Beispiel einer Al-Si-Gusslegierung |
| | Michael Güpner , Daniel Hörig, Robert Pätzold, Jens Bliedtner Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Deutschland |
| 12:00 | Mittagsimbiss, Firmenausstellung, Posterschau |
| - | Ort: Haus 5 |
| 14:00 | Einzelmolekülstudien für das Verständnis der Metallionen-abhängigen Interaktion von RNA/RNA und RNA/DNA Tertiärkontakten |
| | Richard Börner Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland |
| | Pulver- und Prozessuntersuchung für die generative Fertigung von Edelstahlbauteilen mittels Mikro-SLM |
| | Julian Drechsel , Martin Eler, Robby Ebert, Horst Exner Laserinstitut Hochschule Mittweida |
| | Hochrate-Bohren von Mikrolöchern in Silizium mittels UKP-Laserstrahlung |
| | Andreas Gruner , Lucas Naumann, Jörg Schille, Udo Löschner Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland |
| | Entwicklung neuer applikationsspezifischer Laserfertigungsverfahren für kleine und mittlere Unternehmen |
| | Jens Hildenhagen , Sven Krause Laserzentrum FH Münster, Deutschland |
| | Charakterisierung von Keramik-Polymer-Mischungen für die individualisierte Implantatherstellung mittels Stereolithografie |
| | Andreas Hopf , Michel Layher, Denis Just, Jens Bliedtner Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Deutschland |

Zeitaufgelöste Visualisierung von Ultrakurzpuls-Laserprozessen mit schneller Strahlablenkung

Sebastian Kraft, Jörg Schille, Stefan Mauersberger, Lutz Schneider, Udo Löschner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland

Laser safety training needs analysis in VET

Lyubomir Lazov, Erika Teirumnieka, Edmunds Teirumnieks, Antons Pacejs, Mihails Kijasko

Rezekne Academy of Technologies, Latvia

Ablation von Metallen und Silizium mit ultrakurzen Laserpulsen: Einfluss der Pulsdauer und der Wellenlänge

Peter Lickschat, Jörg Schille, Steffen Weißmantel

Hochschule Mittweida, Deutschland

Untersuchung von laserpulsablatierten Tantal als Haftvermittler für den Einsatz von superharten Kohlenstoffschichten auf biomedizinischem Implantatmaterial

Johannes Maus¹, Simon Rupp¹, Patrick Matthes², Hagen Grüttner¹, Steffen Weißmantel¹

1: Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland; 2: Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS

Modifizierte Aluminium-Oxidschichten

Silke Mücklich, Jeannette Grüning, Uwe Gieland, **Peter Scheffler**, Andreas Sedner

Westfälische Hochschule Zwickau, Deutschland

Simulation der optischen Antwort aufgrund von Höhenänderungen von angeregten Goldschichten nach Bestrahlung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung

Markus Olbrich, Theo Pflug, Philipp Lungwitz, Alexander Horn

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland

Comparison between front and rear side ablation of thin nickel-chromium films on transparent substrate using femtosecond laser radiation

Linda Pabst, Robby Ebert, Horst Exner

Laserinstitute Hochschule Mittweida, Deutschland

Dynamik des komplexen Brechungsindex von Gold nach Anregung mit ultrakurz-gepulster Laserstrahlung

Theo Pflug, Markus Olbrich, **Philipp Lungwitz**, Alexander Horn

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland

Comparison Of Femtosecond, Picosecond And Nanosecond Laser Patterning Of Perovskite Solar Cells

Christof Schultz¹, Markus Fenske¹, Linda Pabst², Lukas Kegelmann³, Rutger Schlatmann^{1,4}, Steve Albrecht^{5,6}, Andreas Bartelt¹, Bert Stegemann¹

1: University of Applied Sciences; 2: Laserinstitut Hochschule Mittweida; 3: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Institut für Silizium Photovoltaik; 4: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialin und Energie GmbH, PVcomB; 5: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Young Investigator Group for Perovskite Tandem Solar Cells; 6: Technical University Berlin, Faculty IV - Electrical Engineering and Computer Science

Hochtemperatur- Lasersintern von Glaspulverwerkstoffen

Anne-Marie Schwager¹, Jan Dellith², Armin Bruder¹, Hardy Baierl², Jens Bliedner¹, Volker Reichel², Edda Rädlein³

1: Ernst-Abbe-Hochschule Jena; 2: Leibniz-Institut für Photonische Technologien; 3: Technische Universität Ilmenau

Frei formbare Ausgangsimpulsmuster im GHz-Bereich bei Durchschnittsleistungen >1kW

Fabian Stutzki¹, Christian Gaida¹, Florian Just¹, Arno Klenke^{2,3}, Armin Hoffmann¹, **Sven Breitkopf**¹, Tino Eidam¹, Marco Kienel¹, Jens Limpert^{1,2,3,4}

1: Active Fiber Systems GmbH, Deutschland; 2: Institut für Angewandte Physik, Abbe Center of Photonics, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Deutschland; 3: Helmholtz-Institut Jena, Deutschland; 4: Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Deutschland

Untersuchungen zur Pulsanordnung beim Lasermikrosintern

Frank Ullmann, Martin Eler, **Robby Ebert**, Horst Exner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland

Laserbasierte Herstellung von 2.5D Körpern aus Polylactid

Tina Viertel, **Robby Ebert**, Horst Exner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland

Laserinnenbearbeitung von Galliumarsenid

Sebastian Weinhold, Jana Nissel, Robby Ebert, Horst Exner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland

Die nächste Generation der Polygonscannertechnik in der Lasermaterialbearbeitung

Marcel Wolf, Mathias Müller, André Streek
Laserinstitut Hochschule Mittweida

Untersuchung der Wechselwirkung von gepulster Laserstrahlung mit nanoskaligem Wolframpulver

Jens Woytkowiak, Robby Ebert, Frank Ullmann, Ole Peters, André Streek, Horst Exner
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland

14:00 - 15:00
Session 2: Mikro/Nanolaserbearbeitung (Moderation: Steffen Weißmantel)
Ort: [Haus 5 / 5-119](#)

14:00 - 14:20

Micro-structuring of multi-layered a-C:H/W/a-C:H coatings using ultrashort laser pulses

Yang Lu¹, Henning Hasselbruch², Hamza Messaoudi¹, Andreas Mehner², Christian Werner¹, Frank Vollertsen^{1,3}

1: Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH, Klagenfurter Str. 5, D-28359 Bremen; 2: Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien, Badgasteiner Str. 3, D-28359 Bremen; 3: Universität Bremen, Bibliothekstr. 1, D-28359 Bremen

14:20 - 14:40

Micromachining with Ultrafast Fiber Laser

Tim Westphäling

IPG Laser GmbH, Deutschland

14:40 - 15:00

Potential of aberration correction with a piezoelectric deformable mirror integrated into a closed loop setup for laser material processing

Matthias Lautenschläger, Marco Smarra

Laser Center (LFM), University of Applied Sciences Muenster, Deutschland

14:00 - 14:20
Session 3: Grundlagen der Lasermikrobearbeitung (Moderation: Alexander Horn)
Ort: [Haus 5 / 5-120](#)

14:00 - 14:20

Modellierung und zeitaufgelöste Messung des Abtrages von Goldschichten unterschiedlicher Schichtdicke durch ultrakurz gepulster Laserstrahlung

Markus Olbrich, Theo Pflug, Philipp Lungwitz, Alexander Horn

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland

14:20 - 14:40

The Understanding Of The Incubation Factor In Ultra-short Pulse Laser Ablation And Beam Shaping

Marco Smarra, Matthias Lautenschläger, Jens Hildenhagen, Klaus Dickmann

Laser Center of the University of Applied Sciences Muenster, Deutschland

14:40 - 15:00

Einfluss eines Atmosphärendruckplasmas auf die Femtosekunden-Laserstrukturierung von AlMg₃

Daniel Tasche¹, Christoph Gerhard¹, Stephan Brückner¹, Stephan Wieneke¹, Thomas Gimpel^{2,3}, Günter Flachenecker³, Wolfgang Schade³, Wolfgang Viöl¹

1: HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Von-Ossietzky-Straße 99, 37085 Göttingen; 2: Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Straße 2A, 38678 Clausthal-Zellerfeld; 3: Fraunhofer Heinrich Hertz Institut, Energie Campus, Am Stollen 19H, 38640 Goslar

15:00 - 15:30
Kaffeepause, Firmenausstellung
Ort: [Haus 5](#)

15:30 - 16:30
Session 2: Mikro/Nanolaserbearbeitung (Moderation: Steffen Weißmantel)
Ort: [Haus 5 / 5-119](#)

15:30 - 15:50

Herstellung von Mikrozyylinderlinsen und Mikrozyylinderlinsenarrays in dielektrischen Materialien mittels Fluorlasermikrostrukturierung

Sebastian Büttner, Michael Pfeifer, Steffen Weißmantel

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland

15:50 - 16:10

Laserstrukturierung von Keramiksubstraten zur Verbesserung der elektrischen Kontaktierung

Michael Seiler, Klemens Reichelt, Oliver Elies, Jens Bliedtner

Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Deutschland

16:10 - 16:30

Quo vadis LIPSS? – Applications of Laser-Induced Periodic Surface Structures

Jörn Bonse

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Deutschland

15:30 - 15:50
Session 3: Grundlagen der Lasermikrobearbeitung (Moderation: Alexander Horn)
Ort: [Haus 5 / 5-120](#)

15:30 - 15:50

Single fs laser pulse irradiation for bubble formation in soda-lime glass

Martin Ehrhardt¹, Pierre Lorenz¹, Klaus Zimmer¹, Shengying Lai², Bing Han²

1: IOM Leipzig, Deutschland; 2: Nanjing University of Science and Technology, China

15:50 - 16:10

Untersuchung der Anregungsmechanismen von PMMA mit ultrakurz gepulster mid-IR Laserstrahlung

Philipp Lungwitz, Theo Pflug, Markus Olbrich, Alexander Horn

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland

16:10 - 16:30

Nano-3D-Profilometrie auf Basis dispersionskodierter Kurzkohärenzinterferometrie

Christopher Taudt^{1,2,3}, Tobias Baselt^{1,2,3}, Bryan Nelsen^{1,2}, Edmund Koch³, Peter Hartmann^{1,2}

1: Westsächsische Hochschule Zwickau, Deutschland; 2: Fraunhofer IWS / AZOM; 3: TU Dresden

| | |
|-------|---------------------------------------|
| 18:30 | Bustransfer zur Abendveranstaltung |
| 19:00 | Abendveranstaltung im Wasserkraftwerk |
| - | |
| 23:30 | |
| 23:00 | Bustransfer zurück |

Datum: Donnerstag, 14.11.2019

| | |
|-------|---|
| 9:00 | Keynote |
| - | Ort: Haus 5 / 5-120 |
| 9:40 | |
| | Neue Herausforderungen bei der Durchsatzsteigerung der Oberflächenfunktionalisierung mittels Direkter Laserinterferenzstrukturierung |
| | <u>Andrés Fabián Lasagni</u> ^{1,2} |
| | 1: Technische Universität Dresden, 01062 Dresden, Deutschland; 2: Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden, Deutschland |
| 9:40 | Session 4: Hochrate-Laserbearbeitung / Mikro (Moderation: Udo Löschner) |
| - | Ort: Haus 5 / 5-120 |
| 10:20 | |
| | 9:40 - 10:00 |
| | Lasergeschweißte Elektroden für kristalline Siliziumsolarzellen |
| | <u>Jan Nekarda</u> , Oliver John, Jan Paschen, Andreas Brand |
| | Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Deutschland |
| | <hr/> |
| | 10:00 - 10:20 |
| | Strahlformung und zeitliche Parameteranpassung für die Ultrakurzpulsbearbeitung transparenter Materialien |
| | <u>Malte Kumkar</u> ¹ , Michael Jenne ^{1,2} , Daniel Grossmann ^{1,3} , Jonas Kleiner ¹ , Felix Zimmermann ¹ , Myriam Kaiser ¹ , Stefan Nolte ² |
| | 1: TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH, Deutschland; 2: Institut für Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Deutschland; 3: Lehrstuhl für Lasertechnik, RWTH Aachen, Deutschland |
| 10:20 | Kaffeepause, Firmenausstellung |
| - | Ort: Haus 5 |
| 10:40 | |
| 10:40 | Session 4: Hochrate-Laserbearbeitung / Mikro (Moderation: Udo Löschner) |
| - | Ort: Haus 5 / 5-120 |
| 12:00 | |
| | 10:40 - 11:00 |
| | Hochgeschwindigkeits UV-Femtosekundenbearbeitung |
| | Benjamin Schöps , <u>Clemens Hönninger</u> , Martin Delaigue, Eric Audouard, Eric Mottay |
| | Amplitude Laser Group, Frankreich |
| | <hr/> |
| | 11:00 - 11:20 |
| | Strahlformung und -teilung an Hochleistungs-Ultrakurzpuls-Lasern |
| | <u>Martin Kahle</u> , Dirk Nodop, Jan Rücker |
| | ifw Jena - Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH, Deutschland |
| | <hr/> |
| | 11:20 - 11:40 |
| | New Features Enable Advanced Ultra Short Pulse Micro Processing Within Large Field Of View |
| | <u>Holger Schlüter</u> |
| | SCANLAB, Deutschland |
| | <hr/> |
| | 11:40 - 12:00 |
| | Herstellung strömungsoptimierter Oberflächentopografien mittels Hochrate-Laserverfahren |
| | <u>Udo Löschner</u> ¹ , Stefan Mauersberger ¹ , Alexander Bock ¹ , Kristian Kujawa ¹ , Jörg Schille ¹ , Konrad Hartung ² , Christoph Million ² , Karsten Oehlert ² |
| | 1: Hochschule Mittweida, Deutschland; 2: Jade Hochschule Wilhelmshaven, Deutschland |
| 12:00 | Mittagsimbiss, Firmenausstellung, Posterschau |
| - | Ort: Haus 5 |
| 14:00 | |

| | | |
|------------|---|--|
| 14:00 - | Session 5: Prozessmonitoring (Moderation: Bernhard Steiger) Ort: Haus 5 / 5-119 | Session 6: Laseranwendung in der Medizintechnik (Moderation: Richard Börner) Ort: Haus 5 / 5-120 |
| 15:20 | <p>14:00 - 14:20</p> <p>Sicherstellen von reproduzierbaren Laserstrahlparametern im Selective Laser Manufacturing</p> <p><u>Sven Schipper</u> Ophir Spiricon Europe GmbH</p> <hr/> <p>14:20 - 14:40</p> <p>Transient Investigations of Spatter Behavior during Laser Beam Melting</p> <p><u>Andreas Wimmer, Michael Zäh</u> Technische Universität München, Deutschland</p> <hr/> <p>14:40 - 15:00</p> <p>Laserstrahlvermessung für hohe Leistungsdichten</p> <p><u>Stephan Holesch</u> PRIMES GmbH, Deutschland</p> <hr/> <p>15:00 - 15:20</p> <p>Sekundäremissionen bei der Ultrakurzpulsbearbeitung</p> <p><u>Roswitha Giedl-Wagner, Michael Prasser, Markus Brand</u> GFH GmbH, Deutschland</p> | <p>14:00 - 14:20</p> <p>Ultrashort pulsed laser surgery for colorectal cancer treatment</p> <p><u>Rainer Beck</u>¹, <u>Thomas Maisey</u>², <u>Mike Shires</u>³, <u>David Jayne</u>², <u>Duncan Hand</u>¹, <u>Jonathan Shephard</u>¹</p> <p>1: Institute of Photonics and Quantum Sciences, Heriot-Watt University, Edinburgh, United Kingdom; 2: Leeds Institute of Medical Research, University of Leeds, United Kingdom; 3: Leeds Institute of Cancer and Pathology, University of Leeds, United Kingdom</p> <hr/> <p>14:20 - 14:40</p> <p>Lasermikrobearbeitung für medizintechnische Produkte</p> <p><u>Peter Leipe</u> SITEC Industrietechnologie GmbH, Deutschland</p> <hr/> <p>14:40 - 15:00</p> <p>Femtosecond pulse laser structuring of plasma polymerized functional coating for biomaterial applications</p> <p><u>Marie Yang, Holger Testrich, Klaus-Dieter Weltmann, Katja Fricke</u> Leibniz Institute for Plasma Science and Technology e.V., Deutschland</p> <hr/> <p>15:00 - 15:20</p> <p>Mikroporen auf Implantat-Material mit ultrakurzen Pulsen im Burst Modus</p> <p><u>Daniel Metzner, Peter Lickschat, Steffen Weißmantel</u> Lasereinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland</p> |
| 15:20 - | Kaffeepause, Firmenausstellung Ort: Haus 5 | |
| 15:40 - | Abschlussvortrag mit Staffelstabübergabe (Moderation: Horst Exner) Ort: Haus 5 / 5-120 | |
| 16:10 | Laserpulsabscheidung (PLD) dünner Schichten und Schichtsysteme am Laserinstitut Hochschule Mittweida <u>Steffen Weißmantel</u> Lasereinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland | |
| 16:15 - | Institutsführung im LHM | |
| 18:00 | | |

INHALTSVERZEICHNIS

Keynote-Vortrag

| | |
|--|-----|
| The Future of Digital Photonic Production | 012 |
| Reinhart Poprawe Fraunhofer ILT Aachen | |

Session 1: Hochrate-Laserbearbeitung / Makro

| | |
|---|-----|
| Produktivitätssteigerung beim gepulsten Laserauftragschweißen von Nickelbasis-Superlegierungen durch Entkopplung der Wärmeanteile | 013 |
| <u>Christian Kästner</u> , Leander Schmidt, Robert Leinhoß, Anna Behr, Klaus Schrickler, Jean Pierre Bergmann Technische Universität Ilmenau | |

| | |
|--|-----|
| Potenzial des Laser-MAG-Tandem-Hybrid-Schweißens für industrielle Anwendungen | 014 |
| Herbert Stauer Fronius, Österreich | |

| | |
|---|-----|
| Strahlschweißen am Baustahl S355 – 10kW Monomode Faserlaser und 15kW Elektronenstrahl im Vergleich | 015 |
| <u>Jan Drechsel</u> ² , Paul Hollmann ¹ , Udo Löschner ² , Rolf Zenker ^{1,3} , Horst Biermann ¹ 1: TU Bergakademie Freiberg; 2: Laserinstitut Hochschule Mittweida; 3: Zenker Consult | |

| | |
|---|-----|
| Charakterisierung des Laserstrahlschockhärtens zur Randschichtverfestigung am Beispiel einer Al-Si-Gusslegierung | 016 |
| <u>Michael Güpner</u> , Daniel Horig, Robert Pätzold, Jens Bliedtner Ernst-Abbe-Hochschule Jena | |

Session 2: Mikro/Nanolaserbearbeitung

| | |
|--|-----|
| Micro-structuring of multi-layered a-C:H/W/a-C:H coatings using ultrashort laser pulses | 017 |
| <u>Yang Lu</u> ¹ , Henning Hasselbruch ² , Hamza Messaoudi ¹ , Andreas Mehner ² , Christian Werner ¹ , Frank Vollertsen ^{1,3} 1: Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH; 2: Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien; 3: Universität Bremen | |

| | |
|--|-----|
| Micromachining with Ultrafast Fiber Laser | 018 |
| Tim Westphäling IPG Laser GmbH | |

| | |
|--|-----|
| Potential of aberration correction with a piezoelectric deformable mirror integrated into a closed loop setup for laser material processing | 019 |
| <u>Matthias Lautenschläger</u> , Marco Smarra Laser Center (LFM), University of Applied Sciences Muenster | |

| | |
|--|-----|
| Herstellung von Mikrozyylinderlinsen und Mikrozyylinderlinsenarrays in dielektrischen Materialien mittels Fluorlasermikrostrukturierung | 020 |
| <u>Sebastian Büttner</u> , Michael Pfeifer, Steffen Weißmantel Laserinstitut Hochschule Mittweida | |

| | |
|---|-----|
| Laserstrukturierung von Keramiksubstraten zur Verbesserung der elektrischen Kontaktierung | 021 |
| <u>Michael Seiler</u> , Klemens Reichelt, Oliver Elies, Jens Bliedtner Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Deutschland | |

| | |
|---|-----|
| Quo vadis LIPSS? – Applications of Laser-Induced Periodic Surface Structures | 022 |
| Jörn Bonse Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) | |

Session 3: Grundlagen der Lasermikrobearbeitung

| | |
|---|-----|
| Modellierung und zeitaufgelöste Messung des Abtrages von Goldschichten unterschiedlicher Schichtdicke durch ultrakurz gepulster Laserstrahlung | 023 |
| <u>Markus Olbrich</u> , Theo Pflug, Philipp Lungwitz, Alexander Horn Laserinstitut Hochschule Mittweida | |

**The Understanding Of The Incubation Factor In Ultra-short Pulse Laser Ablation024
And Beam Shaping**

Marco Smarra, Matthias Lautenschläger, Jens Hildenhagen, Klaus Dickmann
Laser Center of the University of Applied Sciences Muenster

**Einfluss eines Atmosphärendruckplasmas auf die Femtosekunden-Laserstrukturierung.....025
von AlMg3**

Daniel Tasche¹, Christoph Gerhard¹, Stephan Brückner¹, Stephan Wieneke¹, Thomas Gimpel^{2,3},
Günter Flachenecker³, Wolfgang Schade³, Wolfgang Viöl¹

1: HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst; 2: Technische Universität Clausthal;
3: Fraunhofer Heinrich Hertz Institut, Energie Campus

Single fs laser pulse irradiation for bubble formation in soda-lime glass026

Martin Ehrhardt¹, Pierre Lorenz¹, Klaus Zimmer¹, Shengying Lai², Bing Han²

1: IOM Leipzig, Deutschland; 2: Nanjing University of Science and Technology, China

**Untersuchung der Anregungsmechanismen von PMMA mit ultrakurz gepulster027
mid-IR Laserstrahlung**

Philipp Lungwitz, Theo Pflug, Markus Olbrich, Alexander Horn
Lasereinstitut Hochschule Mittweida

Nano-3D-Profilometrie auf Basis dispersionskodierter Kurzkohärenzinterferometrie028

Christopher Taudt^{1,2,3}, Tobias Baselt^{1,2,3}, Bryan Nelsen^{1,2}, Edmund Koch³, Peter Hartmann^{1,2}

1: Westsächsische Hochschule Zwickau; 2: Fraunhofer IWS / AZOM; 3: TU Dresden

Keynote-Vortrag

**Neue Herausforderungen bei der Durchsatzsteigerung der Oberflächenfunktionalisierung029
mittels Direkter Laserinterferenzstrukturierung**

Andrés Fabián Lasagni^{1,2}

1: Technische Universität Dresden; 2: Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden

Session 4: Hochrate-Laserbearbeitung / Mikro

Lasergeschweißte Elektroden für kristalline Siliziumsolarzellen030

Jan Nekarda, Oliver John, Jan Paschen, Andreas Brand

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

**Strahlformung und zeitliche Parameteranpassung für die Ultrakurzpulsbearbeitung.....031
transparenter Materialien**

Malte Kumkar¹, Michael Jenne^{1,2}, Daniel Grossmann^{1,3}, Jonas Kleiner¹, Felix Zimmermann¹, Myriam Kaiser¹, Stefan Nolte²

1: TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH;

2: Institut für Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena;

3: Lehrstuhl für Lasertechnik, RWTH Aachen

Hochgeschwindigkeits UV-Femtosekundenbearbeitung032

Benjamin Schöps, Clemens Hönniger, Martin Delaigue, Eric Audouard, Eric Mottay

Amplitude Laser Group, Frankreich

Strahlformung und -teilung an Hochleistungs-Ultrakurzpuls-Lasern033

Martin Kahle, Dirk Nodop, Jan Rücker

ifw Jena - Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH

**New Features Enable Advanced Ultra Short Pulse Micro Processing034
Within Large Field Of View**

Holger Schlüter

SCANLAB, Deutschland

Herstellung strömungsoptimierter Oberflächentopografien mittels Hochrate-Laserverfahren035

Udo Löschner¹, Stefan Mauersberger¹, Alexander Bock¹, Kristian Kujawa¹, Jörg Schille¹, Konrad Hartung²,

Christoph Million², Karsten Oehlert²

1: Hochschule Mittweida; 2: Jade Hochschule Wilhelmshaven

Session 5: Prozessmonitoring

Sicherstellen von reproduzierbaren Laserstrahlparametern im.....036 Selective Laser Manufacturing

Sven Schipper
Ophir Spiricon Europe GmbH

Transient Investigations of Spatter Behavior during Laser Beam Melting.....037

Andreas Wimmer, Michael Zäh
Technische Universität München

Laserstrahlvermessung für hohe Leistungsdichten038

Stephan Holesch
PRIMES GmbH

Sekundäremissionen bei der Ultrakurzpulsbearbeitung.....039

Roswitha Giedl-Wagner, Michael Prasser, Markus Brand
GFH GmbH

Session 6: Laseranwendung in der Medizintechnik

Ultrashort pulsed laser surgery for colorectal cancer treatment.....040

Rainer Beck¹, Thomas Maisey², Mike Shires³, David Jayne², Duncan Hand¹, Jonathan Shephard¹
1: Institute of Photonics and Quantum Sciences, Heriot-Watt University, Edinburgh, United Kingdom;
2: Leeds Institute of Medical Research, University of Leeds, United Kingdom;
3: Leeds Institute of Cancer and Pathology, University of Leeds, United Kingdom

Lasermikrobearbeitung für medizintechnische Produkte.....041

Peter Leipe
SITEC Industrietechnologie GmbH

Femtosecond pulse laser structuring of plasma polymerized functional coating042 for biomaterial applications

Marie Yang, Holger Testrich, Klaus-Dieter Weltmann, Katja Fricke
Leibniz Institute for Plasma Science and Technology e.V.

Mikroporen auf Implantat-Material mit ultrakurzen Pulsen im Burst Modus.....043

Daniel Metzner, Peter Lickschat, Steffen Weißmantel
Laserinstitut der Hochschule Mittweida

Abschlussvortrag

Laserpulsabscheidung (PLD) dünner Schichten und Schichtsysteme.....044 am Laserinstitut Hochschule Mittweida

Steffen Weißmantel
Laserinstitut Hochschule Mittweida

Posterbeiträge

Einzelmolekülstudien für das Verständnis der Metallionen-abhängigen.....045 Interaktion von RNA/RNA und RNA/DNA Tertiärkontakten

Richard Börner
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Deutschland

Pulver- und Prozessuntersuchung für die generative Fertigung von Edelstahlbauteilen046 mittels Mikro-SLM

Julian Drechsel, Martin Erler, Robby Ebert, Horst Exner
Laserinstitut Hochschule Mittweida

Hochrate-Bohren von Mikrolöchern in Silizium mittels UKP-Laserstrahlung047

Andreas Gruner, Lucas Naumann, Jörg Schille, Udo Löschner
Laserinstitut Hochschule Mittweida

Entwicklung neuer applikationsspezifischer Laserfertigungsverfahren für048 kleine und mittlere Unternehmen

Jens Hildenhagen, Sven Krause
Laserzentrum FH Münster

| | |
|---|-----|
| Charakterisierung von Keramik-Polymer-Mischungen für die individualisierte | 049 |
| Implantatherstellung mittels Stereolithografie | |
| <u>Andreas Hopf</u> , Michel Layher, Denis Just, Jens Bliedtner Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Deutschland | |
| Zeitaufgelöste Visualisierung von Ultrakurzpuls-Laserprozessen mit | 050 |
| schneller Strahlableitung | |
| <u>Sebastian Kraft</u> , Jörg Schille, Stefan Mauersberger, Lutz Schneider, Udo Löschner Lasereinstitut Hochschule Mittweida | |
| Laser safety training needs analysis in VET | 051 |
| <u>Lyubomir Lazov</u> , Erika Teirumnieka, Edmunds Teirumnieks, Antons Pacejs, Mihails Kijasko Faculty of Engineering, Rezekne Academy of Technologies | |
| Ablation von Metallen und Silizium mit ultrakurzten Laserpulsen: | 052 |
| Einfluss der Pulsdauer und der Wellenlänge | |
| <u>Peter Lickschat</u> , Jörg Schille, Steffen Weißmantel Hochschule Mittweida | |
| Untersuchung von laserpulsablatierten Tantal als Haftvermittler für den Einsatz | 053 |
| von superharten Kohlenstoffschichten auf biomedizinischem Implantatmaterial | |
| <u>Johannes Maus</u> ¹ , Simon Rupp ¹ , Patrick Matthes ² , Hagen Grüttner ¹ , Steffen Weißmantel ¹ 1: Lasereinstitut Hochschule Mittweida; 2: Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS | |
| Modifizierte Aluminium-Oxidschichten | 054 |
| Silke Mücklich, Jeannette Grüning, Uwe Gieland, <u>Peter Scheffler</u> , Andreas Sedner Westfälische Hochschule Gelsdorf | |
| Simulation der optischen Antwort aufgrund von Höhenänderungen von angeregten | 055 |
| Goldschichten nach Bestrahlung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung | |
| <u>Markus Olbrich</u> , Theo Pflug, Philipp Lungwitz, Alexander Horn Lasereinstitut Hochschule Mittweida | |
| Comparison between front and rear side ablation of thin nickel-chromium | 056 |
| films on transparent substrate using femtosecond laser radiation | |
| <u>Linda Pabst</u> , Robby Ebert, Horst Exner Lasereinstitut Hochschule Mittweida | |
| Dynamik des komplexen Brechungsindex von Gold nach Anregung mit | 057 |
| ultrakurz-gepulster Laserstrahlung | |
| Theo Pflug, Markus Olbrich, <u>Philipp Lungwitz</u> , Alexander Horn Lasereinstitut Hochschule Mittweida | |
| Comparison Of Femtosecond, Picosecond And Nanosecond Laser Patterning | 058 |
| Of Perovskite Solar Cells | |
| <u>Christof Schultz</u> ¹ , Markus Fenske ¹ , Linda Pabst ² , Lukas Kegelmann ³ , Rutger Schlatmann ^{1,4} , Steve Albrecht ^{5,6} , Andreas Bartelt ¹ , Bert Stegemann ¹ 1: University of Applied Sciences; 2: Lasereinstitut Hochschule Mittweida; 3: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH; 4: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH; 5: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH; 6: Technical University Berlin | |
| Hochtemperatur- Lasersintern von Glaspulverwerkstoffen | 059 |
| <u>Anne-Marie Schwager</u> ¹ , Jan Dellith ² , Armin Bruder ¹ , Hardy Baier ² , Jens Bliedtner ¹ , Volker Reichel ² , Edda Rädlein ³ 1: Ernst-Abbe-Hochschule Jena; 2: Leibniz-Institut für Photonische Technologien; 3: Technische Universität Ilmenau | |
| Frei formbare Ausgangsimpulsmuster im GHz-Bereich bei Durchschnittsleistungen >1kW | 060 |
| Fabian Stutzki ¹ , Christian Gaida ¹ , Florian Just ¹ , Arno Klenke ^{2,3} , Armin Hoffmann ¹ , <u>Sven Breitkopf</u> ¹ , Tino Eidam ¹ , Marco Kiene ¹ , Jens Limpert ^{1,2,3,4} 1: Active Fiber Systems GmbH; 2: Institut für Angewandte Physik, Abbe Center of Photonics, Friedrich-Schiller-Universität Jena; 3: Helmholtz-Institut Jena; 4: Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik | |
| Untersuchungen zur Pulsanordnung beim Lasermikrosintern | 061 |
| Frank Ullmann, Martin Erler, <u>Robby Ebert</u> , Horst Exner Lasereinstitut Hochschule Mittweida | |

| | |
|---|------------|
| Laserbasierte Herstellung von 2.5D Körpern aus Polylactid | 062 |
| Tina Viertel, <u>Robby Ebert</u> , Horst Exner | |
| Laserinstitut Hochschule Mittweida | |
| Laserinnenbearbeitung von Galliumarsenid | 063 |
| <u>Sebastian Weinhold</u> , Jana Nissel, Robby Ebert, Horst Exner | |
| Laserinstitut Hochschule Mittweida | |
| Die nächste Generation der Polygonscannertechnik in der Lasermaterialbearbeitung | 064 |
| <u>Marcel Wolf</u> , Mathias Müller, André Streek | |
| Laserinstitut Hochschule Mittweida | |
| Untersuchung der Wechselwirkung von gepulster Laserstrahlung mit..... | 065 |
| nanoskaligem Wolframpulver | |
| Jens Woytkowiak | |
| Laserinstitut Hochschule Mittweida | |
| Sponsoren der 11. Mittweidaer Lasertagung..... | 066 |
| Aussteller der 11. Mittweidaer Lasertagung | 067 |

The Future of Digital Photonic Production

Reinhart Poprawe

Fraunhofer ILT, Steinbachstraße 15, 52074 Aachen

Present and future Laser Applications with high societal impact are summarized by “Digital Photonics”. The combination of the advancements of Information/ Internet Technologies and Data processing with the highest quality of energy available in the universe, i.e. Laser energy, opens a new level of innovation in our life. The applications reach out from **high performance cutting, polishing, joining of dissimilar materials, additive manufacturing, ultrafast ablation** to new areas like **material analysis for recycling** and **space born lasers for environmental control of greenhouse gases** and weather forecast.

Additive Manufacturing (AM) separates into two processes: Laser Powder Bed Fusion LPBF and Laser Metal Deposition LMD. In LMD, a new process with extreme speeds has been developed over the last few years, EHLA extreme high speed Laser deposition with speeds in the range of 500 m/min. Next levels of productivity are achieved by smart beam distribution tailored to the demands of the workpiece geometry. Applied average power levels can then be pushed to the 5 or even 10 kW range.

Ultra-short pulse lasers present a new class within high-performance laser beam sources for industrial applications [1]. With pulse durations in the single picosecond and femtosecond range, the absorbed energy is concentrated in the material to a few nanometers, so that to first order no thermal damage of the materials occurs. Thus, with high-power ultrafast lasers, e.g. fiber reinforced composites can be processed without thermal influence and large surfaces can be provided with friction-minimizing microstructures [2]. The demonstration of a fs-Laser with average powers beyond 1.5 kW in 2014 by ILT in Aachen lead to a trend in the community, that ultra-precision machining will be scalable to macroscopic applications. High ablation quality is achieved, when the processing intensity is close to the ablation threshold, which requires new processing strategies and innovative system components. Beside ultra-high speed scanning using polygon scanners at speeds exceeding 500 m/s, the use of multiple laser beams provide the best and most versatile high power ablation solution [3]. Finally, the scaling challenges of up to 20 kW of average power and corresponding applications are thrilling perspectives.

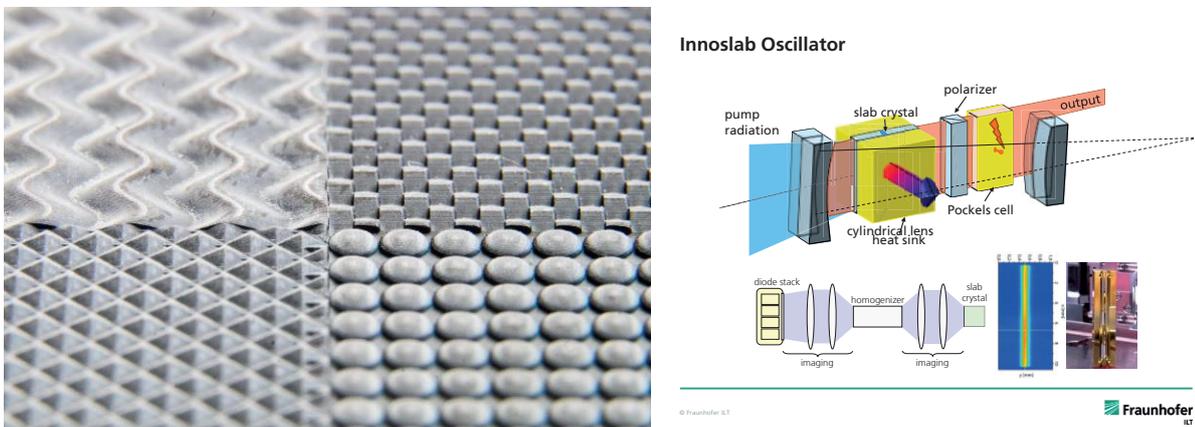


Figure 1 (left) High resolution ultrafast ablated mould structuring with single beam speed > 300 m/s; . (right) The principle of the most efficient High Power Ultrafast Laser concept: The Innoslab

[1] Russbueltd, P., Mans, T., Hoffmann, D., Schippel, S., High-average power ultrafast Yb: Innoslab amplifier- in Ultrashort Pulse Laser Technology: Laser Sources and Applications, Eds.: Nolte, S.; Schrepel, F.; Dausinger, F. Cham [u.a.]: Springer 117-134 (2016)

[2] He, C., Steger, M., Gillner, A., High-Efficiency Nanostructuring using Multi-Beam Interference by Consecutively Deposited Ultrashort Laser Pulses on Tool Steel., Journal of Laser Micro/Nanoengineering 13, 1-35 (2018)

[3] Wortmann, D., Reininghaus, M., Finger, J., Dold, C., Russbueltd, P., Poprawe, R., The physics in applications of ultrafast lasers.

PROCEEDINGS OF SPIE 8306, 1-6 (2011)

Produktivitätssteigerung beim gepulsten Laserauftragschweißen von Nickelbasis-Superlegierungen durch Entkopplung der Wärmeanteile

Christian Kästner, Leander Schmidt, Robert Leinhoß, Anna Behr, Klaus Schrickler,
Jean Pierre Bergmann

Technische Universität Ilmenau, Fertigungstechnik, Gustav-Kirchhoff-Platz 2, 98693 Ilmenau

Die Reparatur von Turbinenschaufeln erfolgt heutzutage vorzugsweise durch den Einsatz von manuellen Schweißverfahren. Dabei werden duktile Zusatzwerkstoffe eingesetzt um die schweißtechnischen Herausforderungen der Heißrissbildung zu begrenzen, allerdings reichen diese nicht an die mechanisch-technologischen Eigenschaften der zu reparierenden Werkstoffe heran. Demgegenüber stellt das gepulste Laserstrahlauftragschweißen mit drahtförmigen Zusatzwerkstoffen eine Möglichkeit zur Verarbeitung von hochfesten Nickelbasislegierungen dar. Das Verfahren ermöglicht dabei eine heißrissarme Reparatur von artgleichen Werkstoffpaarungen ohne eine globale Bauteilvorwärmung durch werkstoffangepasste Pulsformen. Die begrenzte mittlere Laserleistung gepulster Strahlquellen schränkt dabei jedoch die Auftragsrate und damit die Produktivität des Schweißprozesses maßgeblich ein.

In diesem Beitrag wird daher ein neuer Reparaturansatz auf Grundlage entkoppelter Wärmeanteile zur Produktivitätssteigerung des gepulsten Laserstrahlauftragschweißens von γ' -ausscheidungshärtenden Nickelbasis-Superlegierungen (IN 738LC, HS 282) vorgestellt. Hierbei wird der Laserstrahlschweißprozess durch den Einsatz der Heißdrahttechnik oder einer lokalen Vorwärmung des Grundwerkstoffs ($< 450\text{ °C}$) unterstützt. Dadurch wird die zum Aufschmelzen von Grundwerkstoff und Zusatzwerkstoff benötigte Energie nicht ausschließlich durch den Laserstrahl eingetragen, wodurch es folglich möglich ist, die Schweißgeschwindigkeit bzw. die Abschmelzleistung des Verfahrens deutlich zu erhöhen. Die gesteigerte Produktivität konnte durch eine Anhebung des Drahtvorschubs als auch durch eine Vergrößerung der verwendeten Drahtdurchmesser bei gleichbleibender Laserleistung umgesetzt werden. Gleichzeitig stellt der Einsatz der Pulsmodulation im Laserstrahlprozess eine artgleiche, heißrissarme Schweißung von hochfestigen Nickelbasislegierungen (IN 738LC, HS 282) sicher. Begleitende Untersuchungen mittels metallographischer Analysen, Hochgeschwindigkeitsaufnahmen und Temperaturmessungen lassen verallgemeinerte Aussagen zum Einfluss des angepassten Wärmemanagements auf die resultierende Nahtgeometrie und Anbindung von Grund- und Zusatzwerkstoff zu.

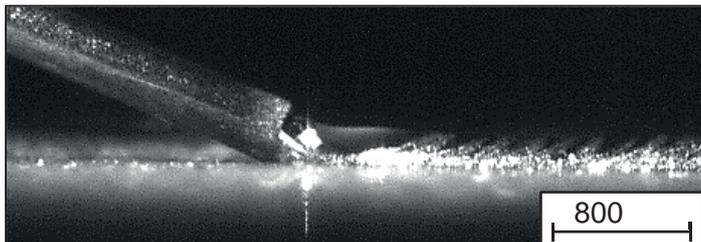


Bild 1: Abschmelzvorgang während des Reparaturschweißens

Potenzial des Laser-MAG-Tandem-Hybrid-Schweißens für industrielle Anwendungen

Herbert Stauer

Fronius International GmbH, Günter Froniusstrasse 1, A-4600 Wels

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem weiterentwickelten Laser-MAG-Tandem Hybrid (LaserHybrid Twin) Schweißprozess, bei dem ein neuartiges Konzept mit zwei Drähten zum Einsatz kommt und die Schweißleistung über variable Drahtelektroden Durchmesser angepasst wird. Für den führenden Lichtbogen wurde ein Draht mit einem Durchmesser von 1,2 mm und für den nachlaufenden Lichtbogen ein Draht mit einem Durchmesser von 1,0 mm verwendet, wobei die Drähte dem Prozess mit identischer Drahtvorschubgeschwindigkeit zugeführt wurden. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen, das heißt dem Einsatz des Verfahrens zur Verbindung von spaltbehafteten Überlappstößen bei Blechen mit geringer Wanddicke und kleinem Flansch, stellte sich heraus, dass dieses neuartige LaserHybrid Twin-Konzept die industriellen Anforderungen ohne Probleme erfüllen kann.

This paper is concerned with advanced Laser-MAG Tandem Hybrid Welding (LHTW) providing a novel wire feeding concept and adjusting welding power by variable wire electrode diameters. 1.2 mm and 1.0 mm diameter wires were used respectively for leading and trailing arc and were supplied to the process at the same feed rate. Given the experimental conditions; i.e. used for joining deliberately gap flawed low wall thickness and small flange sheet metal lap joints, it was found that this novel LHTW concept is able to safely meet industrial requirements. The laser beam warrants for adequate fusion whilst the MAG-Tandem process safely bridges the gap prepared. Results achieved are discussed and application perspectives derived.

Da die von der Stromquelle bereitgestellten Schweißparameter vom jeweiligen Drahtdurchmesser abhängen, lässt sich die Schweißleistung einfach durch die Verwendung unterschiedlicher Drahtdurchmesser steuern. Bei dieser Untersuchung wurden Drahtelektroden mit einem Drahtdurchmesser von 1,2 mm für den führenden Lichtbogen und von 1,0 mm für den nachlaufenden Lichtbogen verwendet und es wurde im Impulslichtbogenmodus geschweißt. Durch die Verwendung unterschiedlicher Kennlinien für beide Durchmesser konnte die Schweißleistung an die konkreten Versuchsbedingungen angepasst werden.

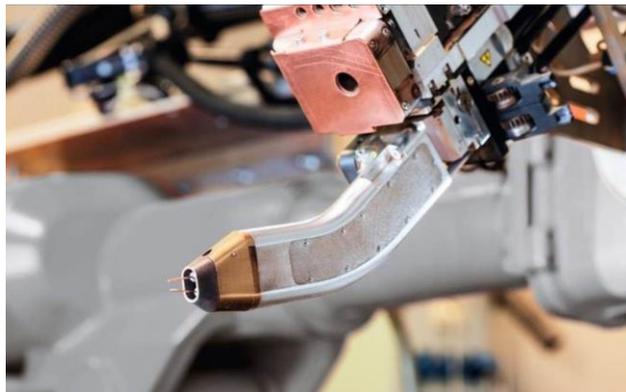


Bild: LaserHybrid Twin-Schweißkopf im Einsatz an einem Achsträger für die Automobilindustrie

Strahlschweißen am Baustahl S355 – 10kW Monomode Faserlaser und 15kW Elektronenstrahl im Vergleich

Jan Drechsel², Paul Hollmann¹, Udo Löschner², Rolf Zenker^{1,3}, Horst Biermann¹

1) TU Bergakademie Freiberg - Institut für Werkstofftechnik, Gustav-Zeuner-Straße 5, D-09599 Freiberg

2) Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

3) Zenker Consult, Johann-Sebastian-Bach-Str. 12, D-09648 Mittweida

Der Einsatz von Monomode Faserlasern zum Laserstrahlschweißen ermöglicht trotz Verwendung großer Brennweiten in der Bearbeitungsoptik sehr kleine Foki auf dem Werkstück. Mit der hier zur Verfügung stehenden Laserstrahlleistung von 10 kW sind auf der Materialoberfläche im Fokus Intensitäten von mehr als 10^8 W/cm^2 erreichbar. Dies lässt hohe Schweißgeschwindigkeiten bei großen Einschweißiefen erwarten [1]. Um die Strahlquelle mit einem Schweißverfahren mit vergleichbarer Intensität zu bewerten, wurden vergleichende Untersuchungen an einer 15kW Elektronenstrahluniversalanlage durchgeführt.

Die hohe Leistungsdichte beider Strahlschweißverfahren kann in Kombination mit hohen Vorschubgeschwindigkeiten Humpingneigung, Spritzerbildung sowie Heißbrissanfälligkeit entsprechend vergrößern [2,3]. Es wurden Blind- und Stumpfstoßschweißversuche an dem Baustahl S355 durchgeführt. Mit einer Laserstrahlleistung von 10 kW und einer Schweißgeschwindigkeit von 2 m/min bei der Fokusslage auf der Werkstückoberfläche konnte eine max. Einschweißtiefe von 19,5 mm erzielt werden, wobei die Schweißnahtbreite lediglich ca. 0,5 mm betrug. Bei gleicher Vorschubgeschwindigkeit wurde eine EB-Strahlleistung von 8,8 kW genutzt, um dieselbe Einschweißtiefe zu erreichen. Die mittels EB erzeugten Schweißnähte waren dabei um etwa 0,6 mm breiter. Bei den durchgeführten Zugversuchen lagen die Schweißnahtfestigkeiten für beide Fügeverfahren auf dem Niveau des Grundmaterials.

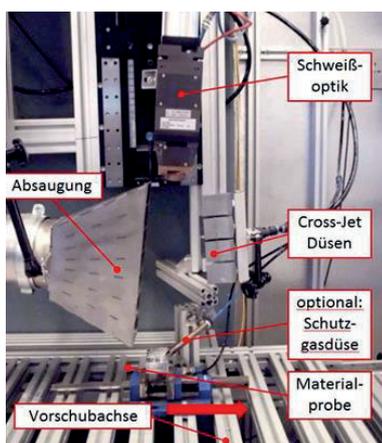


Bild 1: Versuchsstand LB

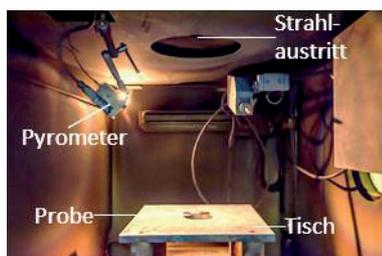


Bild 2: Versuchsstand EB

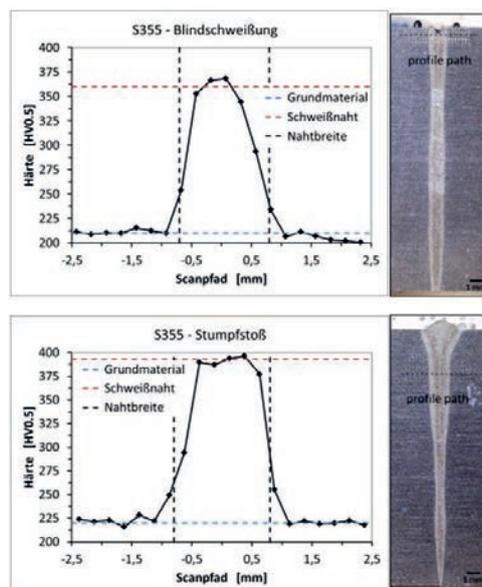


Bild 3: Härtemessungen: oben: Blindnaht, unten: Stumpfstoßschweißnaht (LB-Schweißen)

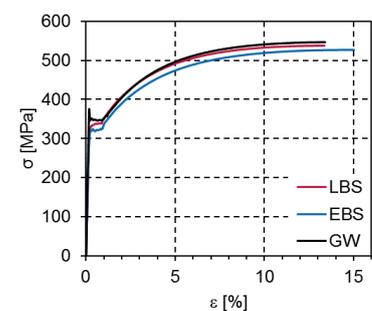


Bild 4: Ergebnisse der Zugversuche

Referenzen

[1] Drechsel, J., Loeschner, U., Wagner, M., Barth, J. & Schille, J. (2015) High-speed laser welding of different steel grades with a 3 kW single-mode cw fiber laser, Proc. of LAMP2015, May 26-29, 2015, Kytakyushu, Japan, 254.

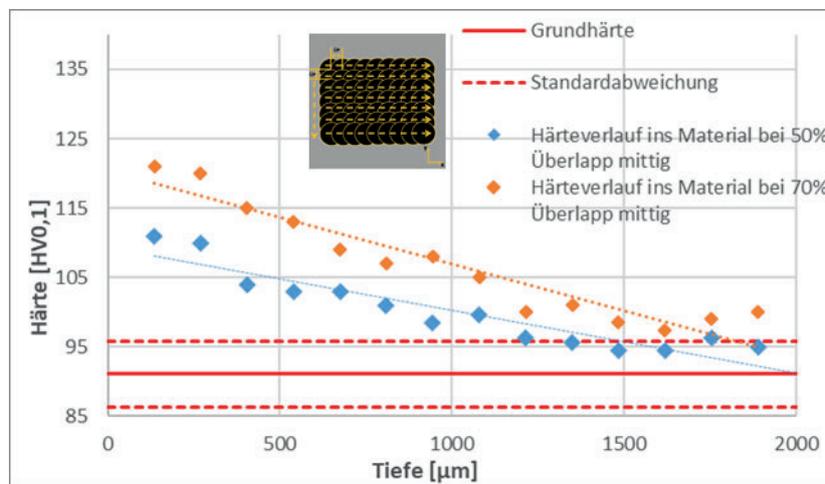
[2] Li, S., Chen, G., Zhang, M., Zhou, Y. & Zhang, Y. (2014) Dynamic keyhole profile during high-power deep-penetration laser welding, Journal of Materials Processing Technology, Volume 214, Issue 3, 565-570.

[3] Zhang, M., Zhang, Z., Tang, K., Mao, C., Hua, Y. & Chen, G. (2018) Analysis of mechanisms of underfill in full penetration laser welding of thick stainless steel with a 10 kW fiber laser, Optics and Laser Technology, Volume 98, 97–105. Japan, 254.

CHARAKTERISIERUNG DES LASERSTRAHLSCHOCKHÄRTENS ZUR RANDSCHICHTVERFESTIGUNG AM BEISPIEL EINER AL-SI-GUSSLEGIERUNG

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

Mittels Laserstrahlschockhärten ist es möglich die mechanischen Eigenschaften, wie beispielsweise die Härte, um ca. 30 % zu steigern und die Eigenspannungen derart zu ändern, dass die Ermüdungsbeständigkeit von Metallen signifikant erhöht wird. Dazu wird auf der Werkstückoberfläche, mittels eines gepulsten Nd:YAG-Lasers, ein Plasma erzeugt. Die Ausbreitungsenergie dieser Gaswolke überträgt einen Impuls auf die Werkstückoberfläche. In der Randzone des Werkstücks breitet sich eine Schockwelle aus, wodurch die Versetzungsdichte steigt. Im vorliegenden Paper erfolgte eine umfassende Charakterisierung des innovativen Härteverfahrens zur Erarbeitung eines grundlegenden Prozessverständnisses. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden anschließend auf industriell relevante Applikationen übertragen. Ein Anwendungsbeispiel stellen aus Al-Si-Legierungen gefertigte Hubkolben dar. Werden die hochbelasteten Bereiche (bspw. Kolbenmulde) selektiv mittels Laserstrahlschockhärten bearbeitet, können im Vergleich zu konventionellen Härteverfahren gleiche Härtewerte bei einer deutlich höheren Wärmeleitung im Bauteil erzielt werden.



Micro-structuring of multi-layered a-C:H:W/a-C:H coatings using ultrashort laser pulses

Yang Lu¹, Henning Hasselbruch², Hamza Messaoudi¹, Andreas Mehner²,
Christian Werner¹, Frank Vollertsen^{1,3}

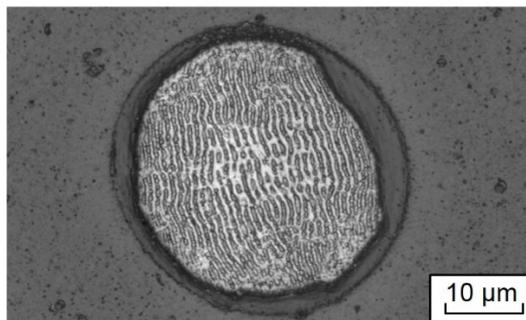
¹BIAS - Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH, Klagenfurter Str. 5, D-28359 Bremen

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

³Universität Bremen, Bibliothekstr. 1, D-28359 Bremen

Abstract

The reduction of wear in tribological systems is important for numerous engineering applications. On the one hand, hard coatings such as hydrogenated amorphous carbon (a-C:H) coatings exhibit a positive effect on tool wear due to its high hardness and low tendency to adhesion against different metallic materials. On the other hand, laser micro-structuring of functional surfaces has been proved to improve the tribological performance. To combine the advantages of both technologies, the micro-structuring of a multilayered a-C:H:W/a-C:H coating system using ultrashort pulse laser is presented. The coatings were firstly deposited by reactive magnetron sputtering on hardened 1.2379 steel substrates and subsequently laser textured by using < 10 ps pulses at a constant wavelength of 1030 nm. The evolution of the surface micro-topography in dependence of the pulse energy and the pulse number was examined by confocal laser scanning microscopy, scanning electron microscopy and Raman spectroscopy.



Lu 2019

processing parameter

| | |
|-----------------|---------------|
| laser | TruMikro 5050 |
| wavelength | 1030 nm |
| focal diameter | 48 μm |
| pulse duration | < 10 ps |
| repetition rate | 2 kHz |
| pulse energy | 10 μJ |
| pulse number | 13 |
| base material | 1.2379 |
| coating | a-C:H:W/a-C:H |

BIAS ID 190045

Figure 1: Microscopic image of a ps laser ablated multi-layered a-C:H:W/a-C:H coating system

Micromachining with Ultrafast Fiber Lasers

Tim Westphäling

IPG Laser GmbH, Carl-Benz-Straße 28, 57299 Burbach

Mit den Ultrakurzpulslasern wurden neue Felder erschlossen wie zum Beispiel die Feinbearbeitung spröder Materialien und vorhandene Felder wie das Strukturieren für Werkzeuge konnten stark optimiert werden. Jedoch waren Faserlaser in diesem Bereich bislang noch unterrepräsentiert und Festkörperlaser mit Freistrahloptiken dominieren den Markt. Aber mit dem neuen Ultrakurzpulslaser (UKP-Laser) der YLPP-Reihe erweitert die IPG Laser GmbH ihr Produktspektrum. Auch der YLPP setzt auf die bewährte Faserlasertechnologie, die durch ihre Eigenschaften wie Robustheit, Flexibilität und Kompaktheit in vielen Bereichen seit langem den Markt überzeugt hat. Dadurch lässt sich der YLPP sehr einfach in vorhandene Maschinen integrieren und steht für zahlreiche Anwendungen in der Mikrobearbeitung zur Verfügung.



Bild 1: Der neue UKP-Laser der YLPP-Reihe mit 1-3 Pikosekunden, 25 μ J bei 50 W mittlerer Leistung

Potential of aberration correction with a piezoelectric deformable mirror integrated into a closed loop setup for laser material processing

Matthias Lautenschläger, Marco Smarra

Laser Center (LFM), University of Applied Sciences, Stegerwaldstr. 39, 48565 Steinfurt

Aktuelle Entwicklungen ermöglichen die Anwendung von piezoelektrisch deformierbaren Spiegeln (PDM) in der Laser-materialbearbeitung. Diese deformierbaren Spiegel können aus vollflächigem Spiegelsubstrat hergestellt werden und ermöglichen hohe Zerstörschwellen. In dieser Arbeit wird ein PDM vorgestellt, welcher in ein UKP Laseraufbau integriert wurde und resonatorextern die Wellenfront korrigiert. Die Wellenfront am PDM wird mithilfe einer 4f Abbildung und einem Shack-Hartmann Sensor ausgewertet. Durch einen closed-loop Regelskreis wird der PDM gesteuert und die Wellenfront manipuliert. Ziel dieser Arbeit ist es das Potential von resonatorexterner Aberrationskorrektur darzustellen. Dafür wird der Einfluss von definierten Aberrationen auf die Konversionseffizienz einer Frequenzverdopplung sowie der Strahl-taille nach einer f-Theta Linse untersucht.

Recent developments enable the application of piezoelectric deformable mirrors (PDM) in laser material processing. These piezoelectric deformable mirrors can be manufactured with continuous mirror substrates, allowing a high damage threshold. This study presents a PDM integrated into an ultra-short pulse laser system with resonator external wavefront correction. The wavefront at the PDM surface is evaluated with a Shack-Hartmann sensor through 4f-imaging. The PDM is controlled with a closed-loop setup and the wavefront can be manipulated on demand. To demonstrate the potential of resonator external wavefront correction is the purpose of this work. Therefore, the influence of defined aberrations on the conversion efficiency (SHG) as well as the beam waist after an f-theta lens is investigated.

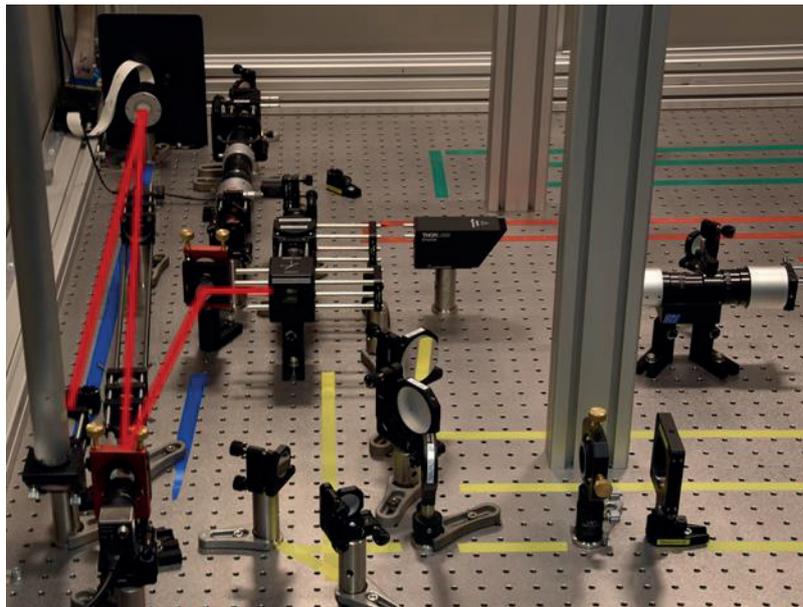


Bild 1: Closed-loop setup for resonator external aberration correction. The piezoelectric deformable mirror (PDM) is located at the top left and the Shack-Hartmann sensor is located at the bottom left. A selectable beam path allows investigating the influence of wavefront aberrations on different optical setups.

Herstellung von Mikrozylinderlinsen und Mikrozylinderlinsenarrays in dielektrischen Materialien mittels Fluorlasermikrostrukturierung

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

Die Fluorlasermikrostrukturierung ermöglicht die Herstellung von Mikrozylinderlinsen und Mikrozylinderlinsenarrays mit hoher Qualität mittels direkter Strukturierung in dielektrischen Materialien inkl. Materialien mit hoher Energiebandlücke. Der Einsatz spezieller Strukturierungsmasken bei der Maskenprojektion ermöglicht die Herstellung nahezu optimal gekrümmter Linsenoberflächen. Die erzielbaren Krümmungsradien der Linsen sind abhängig von den Material- und Strukturierungsparametern und können in bestimmten Grenzen frei eingestellt werden. Dies wird am Beispiel von in Quarzglas, Borosilikatglas und Calciumfluorid eingebrachten Zylinderlinsen gezeigt. Die Linsenoberflächen weisen direkt nach der Strukturierung im Allgemeinen eine Rauheit im Bereich von 50 bis 100 nm auf. Durch eine Nachbehandlung der hergestellten Strukturen, kann die Rauheit der Oberfläche jedoch auf wenige Nanometer reduziert und dadurch deren optische Eigenschaften verbessert werden.

Einleitung

Mikrooptiken gewinnen zunehmend an Bedeutung für die Lösung technischer Probleme. So kommen sie z.B. in der optischen Datenübertragung oder in der Lasertechnik als Strahlformungselemente zum Einsatz. In den vergangenen Jahren wurden immer mehr Verfahren entwickelt, um Optiken mit Abmessungen im Bereich weniger Mikrometer zu fertigen. Die Herstellung von Mikrostrukturen in hochschmelzenden Quarzgläsern oder kristallinen Materialien, wie Calciumfluorid, stellt immer noch eine große Herausforderung dar. Neben den etablierten Verfahren, werden zunehmend laserbasierte Verfahren, wie die Fluorlasermikrostrukturierung, weiterentwickelt, um eine einfachere Fertigung derartiger Strukturen zu ermöglichen.

Verfahren

Die Fluorlasermikrostrukturierung ist ein besonders flexibles Verfahren zur Herstellung von Mikrooptiken. Aufgrund der kurzen Wellenlänge von 157 nm und der damit einhergehenden hohen Photonenenergie von 7,9 eV ist der Fluorlaser optimal für die Bearbeitung von wide band gap Materialien und Gläsern geeignet. Die Bearbeitung erfolgt im Maskenprojektionsverfahren, bei dem eine Maske in Form einer Blende auf dem Werkstück abgebildet und Material entsprechend der Maskengeometrie abgetragen wird. Durch den Einsatz speziell geformter Masken kann, in Verbindung mit der Bewegung des Werkstücks, eine definierte dreidimensionale Struktur erzeugt werden. Auf diese Weise ist die Herstellung einzelner Zylinderlinsen und Zylinderlinsenarrays möglich. Die Krümmungsradien der Linsen können dabei in bestimmten Grenzen durch die Variation des Überlappungsgrades und der Laserpulsfluenz, d.h. den Abtrag pro Puls, eingestellt werden. Die erzielbare Rauheit der Linsenoberfläche liegt im Bereich von 50 bis 100 nm. Für die Herstellung von Zylinderlinsenarrays werden mehrere Zylinderlinsen in definiertem Abstand nebeneinander in das Material eingebracht. In den Übergangszonen zwischen den Linsen entstehenden verfahrensbedingt Abweichungen vom idealen Oberflächenprofil. Durch die Variation des Linsenabstandes können diese Bereiche für Linsen mit großem Krümmungsradius optimiert werden.

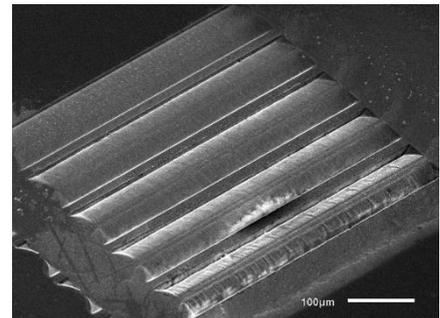


Bild 1: Rasterelektronenmikroskopaufnahme von in Quarzglas hergestellten Zylinderlinsen ($H = 3,5 \text{ J/cm}^2$, Puls-zu-Puls-Überlappung 95 - 99 %).

Nachbehandlung

Die Funktion optischer Elemente hängt maßgeblich von deren Formgenauigkeit und Oberflächenqualität ab. Durch die thermische Nachbehandlung der in Quarzglas gefertigten Mikrolinsen mittels CO_2 -Laser, kann die Rauheit bis in den einstelligen Nanometerbereich reduziert werden. Die Verringerung der Oberflächenrauheit führt zu einer Verringerung der Streuung der transmittierenden Strahlung. Dadurch wird die Funktion der Linsen deutlich verbessert, was anhand wellenoptischer Simulationen gezeigt werden kann.

Zusammenfassung

Die Fluorlasermikrostrukturierung ermöglicht die Herstellung von Zylinderlinsen und Zylinderlinsenarrays in unterschiedlichen Materialien. Mit dem Verfahren können Oberflächen mit einer nahezu optimalen Krümmung, definiertem Krümmungsradius und einer Rauheit von bis zu 50 nm erzeugt werden. Durch die thermische Nachbehandlung mittels CO_2 -Laser kann bei Linsen, die in Quarzglas eingebracht wurden, eine deutliche Verbesserung der Oberflächenqualität und deren optische Eigenschaften erzielt werden.

Laserstrukturierung von Keramiksubstraten zur Verbesserung der elektrischen Kontaktierung

Michael Seiler, Klemens Reichelt, Oliver Elies, Jens Bliedtner
Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

In der Aufbau- und Verbindungstechnik ist die Dickschichtfertigung zur Herstellung von elektronischen Schaltungen auf Keramiksubstraten verbreitet. Auftretende Verschmutzungen der Kontaktflächen durch Kleberrückstände führen beim Bonden und Löten zu Problemen bei der Kontaktierung diskreter Bauteile. Als Lösungsansatz wird eine Technologie auf Basis von ultrakurzen Laserpulsen (7 ps) vorgestellt. Durch eine scannende Strahlableitung werden gezielt Oberflächenstrukturierungen durchgeführt, die im Anschluss auf ihre tribologischen Eigenschaften ausgewertet werden. Für die Strukturen werden quadratische Säulen- und Lochstrukturen, die in Abstand, Größe und Tiefe variieren, untersucht. Die Korrelation der gemessenen, statischen Kontaktwinkel mit dest. Wasser bei unterschiedlichen Lasergrößen lässt sich sehr gut auf die Bondflächen übertragen. Im Ergebnis kann die bestehende Kontaktstelle vollfächig für eine Kontaktierung genutzt werden.

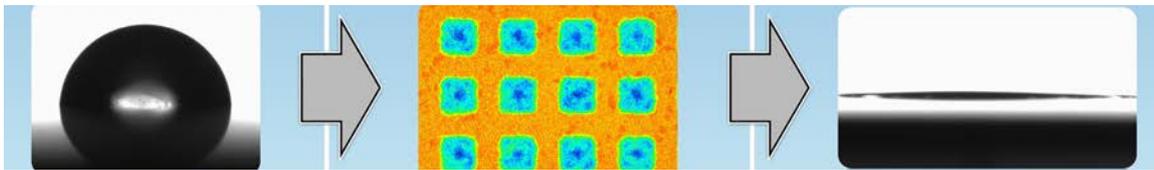


Bild: Hydrophobe Ausgangsoberfläche von Aluminiumnitrid (links) durch Laserstrukturierung zu hydrophiler Oberfläche mit einem Kontaktwinkel $KW < 5^\circ$

Quo vadis LIPSS? – Applications of Laser-Induced Periodic Surface Structures

Jörn Bonse

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

Laser-induced periodic surface structures (LIPSS, ripples) are a universal phenomenon that can be observed on almost any material after the irradiation by linearly polarized laser beams, particularly when using ultrashort laser pulses with durations in the femtosecond to picosecond range. During the past years significantly increasing industrial and research activities have been reported in the field of LIPSS, since their generation in a single-step process provides a simple way of nanostructuring and surface functionalization towards the control of optical, mechanical, biological, or chemical surface properties. In this contribution the mechanisms of formation and current trends and applications of LIPSS are reviewed, including the colorization of technical surfaces, the control of surface wetting properties, the mimicry of the natural texture of animals, the tailoring of surface colonization by bacterial biofilms, the advancement of leadless medical pacemakers, and the improvement of the tribological performance of nanostructured metal surfaces.

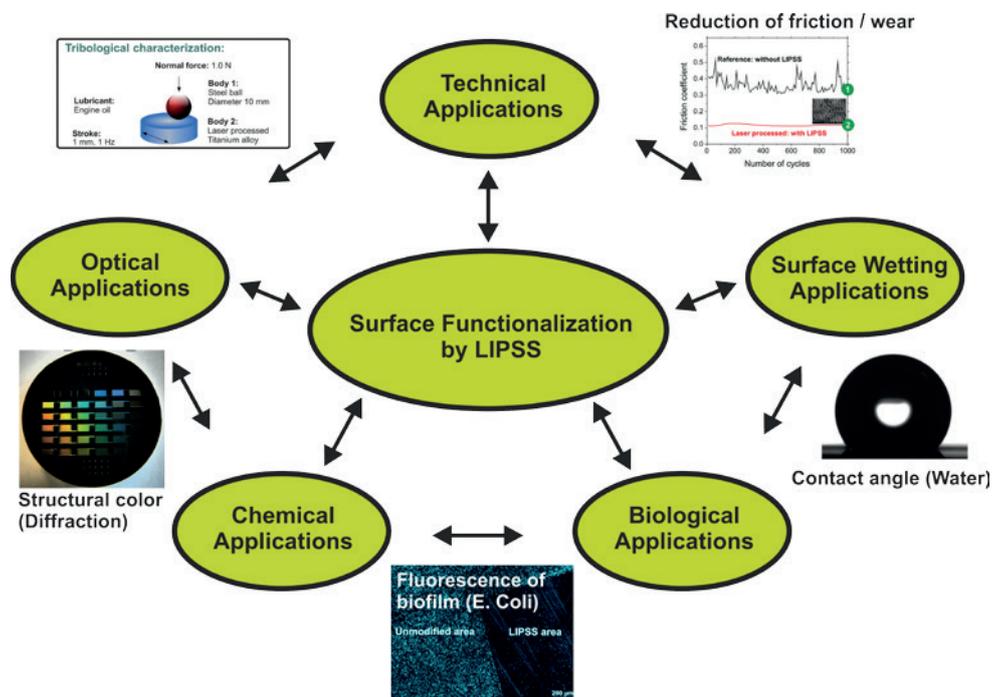


Figure 1: Overview of different applications of surfaces functionalized by LIPSS. Adapted from: J. Bonse et al., Proceedings of SPIE 10092 (2017), 100920N, <https://doi.org/10.1117/12.2250919>

Modellierung und zeitaufgelöste Messung des Abtrages von Goldschichten unterschiedlicher Schichtdicke durch ultrakurz gepulster Laserstrahlung

Markus Olbrich, Theo Pflug, Philipp Lungwitz, und Alexander Horn
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Die Bestrahlung von Goldschichten unterschiedlicher Schichtdicke ($d = 100 \text{ nm} - 1200 \text{ nm}$, auf Glassubstrat, hergestellt mittels PLD), bis hin zum Bulk-Material, mit ultrakurz gepulster Pump-Laserstrahlung ($\tau_H = 40 \text{ fs}$, $\lambda = 800 \text{ nm}$) führt, bei gleicher Fluenz der Laserstrahlung und in Abhängigkeit von der Schichtdicke, zu unterschiedlichen Abtragungsergebnisse (Bild 1). Durch die Anwendung eines kombinierten Ansatzes aus experimentellen Ergebnissen, der Modellierung der Dynamik des Abtrages [1], sowie der Anwendung von orts- und zeitaufgelöster ultraschneller Messtechnik [2] können die erhaltenen Abtragsstrukturen qualitativ erklärt und somit der Materialabtrag theoretisch beschrieben werden.

Die Bestrahlung von Festkörpern mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung führt, aufgrund der Absorption der Laserstrahlung durch das Elektronensystem und anschließender Stöße der angeregten Elektronen mit den Phononen, zu einer verzögerten Erwärmung des Phononensystemes, wobei der Energieübertrag vom Elektronen- auf das Phononensystem innerhalb der Elektronen-Phononen-Kopplungszeit von ca. 10 ps bei Gold nahezu vollständig abgeschlossen ist. Die Energieübertragung von den Elektronen- an das Phononensystem findet dabei bei einem nahezu konstanten Volumen statt, weshalb im Phononensystem hohe thermische Spannungen induziert werden, welche schlussendlich die Emission von Verdichtungs- und Verdünnungswellen bewirken. Die Verdichtungs- und Verdünnungswellen, sowie deren Wechselwirkung mit Material, insbesondere mit der Grenzfläche von zwei Materialien, stellen einen wesentlichen Einfluss auf den Abtrag von Material dar. Für ein detailliertes Verständnis der genannten Vorgänge sowie weiterer Folgeprozesse der Wechselwirkung ultrakurz gepulster Laserstrahlung mit Festkörpern zu erhalten, wird ein kombinierter Ansatz aus ex situ Auswertung der erhaltenen Abtragsstrukturen, in situ zeitaufgelöster Pump-Probe-Messtechnik [2] sowie Modellierung und Simulation der Wechselwirkung ultrakurz gepulster Laserstrahlung mit dem Material [1] angewandt werden. Die Untersuchungen werden dabei systematisch an Gold als Bulk-Material begonnen, um mögliche Einflüsse einer begrenzenden Schichtdicke, wie Wärmestau, oder Reflexion der Verdichtungs- und Verdünnungswellen an der Grenzfläche der Schicht zum Substrat zu vermeiden. Weiterführend werden die Erkenntnisse auf Schichten mit immer kleiner werdenden Schichtdicke übertragen, um durch weitere Untersuchungen die Auswirkungen der Überlagerung verschiedener Effekte, wie Wärmestau, oder der Entstehung von stehenden Wellen in der Schicht, detailliert aufzuzeigen.

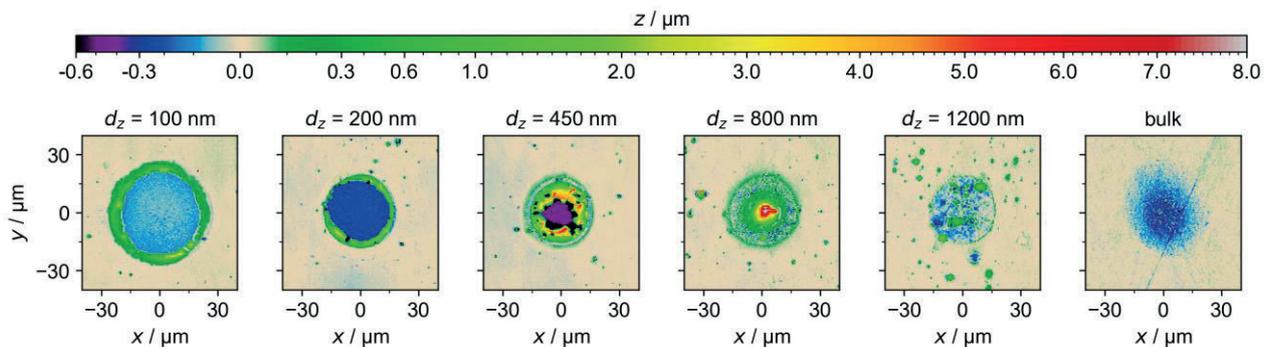


Bild 1: Erhaltene Abtragsstrukturen von Goldschicht verschiedener Schichtdicke auf einem Glassubstrat, sowie des Bulk-Materiales nach der Bestrahlung mittels ultrakurz gepulster Pump-Laserstrahlung ($\tau_H = 40 \text{ fs}$, $\lambda = 800 \text{ nm}$, $H_0 = 5.0 \text{ J/cm}^2$)

Referenzen

- [1] T. Pflug, J. Wang, M. Olbrich, M. Frank, A. Horn, Appl Phys A 124, 17572 (2018)
- [2] M.E. Povarnitsyn, N.E. Andreev, E.M. Apfelbaum, T.E. Itina, K.V. Khishchenko, O.F. Kostenko, P.R. Levashov, M.E. Veysman, Appl Surf Sci 258, 9480 (2012)

The Understanding Of The Incubation Factor In Ultra-short Pulse Laser Ablation And Beam Shaping

Marco Smarra, Matthias Lautenschläger, Jens Hildenhagen, Klaus Dickmann
Laser Center of the University of Applied Sciences Muenster, Stegerwaldstr. 39, 48565 Steinfurt, Germany

In der Materialbearbeitung mit ultrakurzten Laserpulsen spielt die Ablationsschwelle des Prozesses eine entscheidende Rolle: Sie bestimmt die optimale Fluenz für den maximalen Volumenabtrag pro Puls, die bei dem π^2 -fachen der Schwellfluenz liegt. Die Schwellfluenz selbst ist einerseits abhängig vom verwendeten Material und dessen Eigenschaften, wie Rauheit oder Temperatur und andererseits vom Laserprozess, respektive der Pulsdauer oder der Wellenlänge des Lasers. Es konnte gezeigt werden, dass auch die Anzahl der Laserpulse auf dieselbe Stelle einen Einfluss haben. Dies ist unter dem Begriff Inkubationseffekt bekannt. Für Metalle bspw. zeigt sich eine Reduzierung der Schwellfluenz bei steigender Anzahl an Laserpulsen auf dieselbe Stelle. Diese Studie zeigt den Zusammenhang zwischen Strahlformung, Ablationsschwelle und Inkubationseffekt und ist damit eine Grundlegende Arbeit zum Verständnis der Ablationseffizienz. Dieses Verständnis ist notwendig für die Weiterentwicklung von Laserstrahlquellen und -prozessen.

In ultra-short pulse laser ablation, the ablation threshold is a key factor of the process: it indicates the optimal fluence for the highest volume ablation per pulse, which is π^2 -times the ablation threshold. The ablation threshold itself is a function of the material on the one hand and the laserprocess on the other hand. It has been shown, that multiple laser spots on the same volume element influences the ablation threshold. This is known as the incubation effect. For metals e.g. it was shown, that the ablation threshold decreases for increasing laser spots on the same volume element. This study presents the influence of laser beam shaping to the ablation threshold and the incubation factor. It is basic work for the understanding of the ablation efficiency which is necessary for the further development of laser sources and laser material processes.

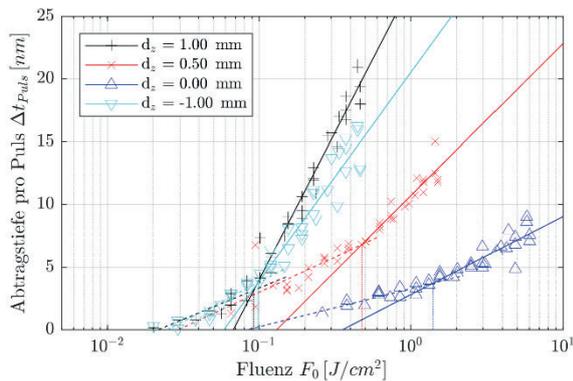


Abbildung 1: Bestimmung der Schwellfluenz für moderaten und ausgeprägten Ablationsbereich in Abhängigkeit der Tailenlage am Beispiel einer Stahlprobe

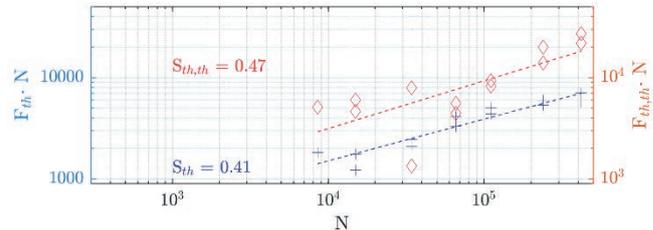


Abbildung 2: Bestimmung des Inkubationsfaktors am Beispiel einer Stahlprobe

Einfluss eines Atmosphärendruckplasmas auf die Femtosekunden-Laserstrukturierung von AlMg3

Daniel Tasche¹, Christoph Gerhard¹, Stephan Brückner¹, Stephan Wieneke¹, Thomas Gimpel^{2,3}, Günter Flachenecker³, Wolfgang Schade³, Wolfgang Viöl¹

¹HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Von-Ossietzky-Straße 99, 37085 Göttingen

²Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Straße 2A, 38678 Clausthal-Zellerfeld

³Fraunhofer Heinrich Hertz Institut, Energie Campus, Am Stollen 19H, 38640 Goslar

In diesem Beitrag berichten wir über den Einfluss einer dielektrischen Atmosphärendruckplasmaentladung auf die Femtosekunden-Laserstrukturierung einer Aluminiumlegierung. Es wird gezeigt, dass das unterstützende Plasma die für diese Art der Laserbearbeitung typischen Oberflächenstrukturen beeinflusst und zudem das abgetragene Volumen signifikant erhöht. Die Zunahme der Ablationstiefe lässt sich beispielweise durch die plasmainduzierte Mobilisierung von ablatierten Material und den erhöhten Energieeintrag durch metastabile und angeregte Plasmaspezies erklären.

Versuchsaufbau und -durchführung

Für die Atmosphärendruckplasma-gestützte Femtosekunden-Laserstrukturierung einer Aluminiumlegierung wurde eine rotationssymmetrische Plasmaquelle mit Argon als Prozessgas verwendet. Die Plasmaquelle basiert auf einer Hochspannungs-Kupferelektrode mit einer zentralen Durchgangsbohrung mit einem Durchmesser von 3 mm. Als Laserstrahlquelle diente ein Ti:Saphir-Laser mit einer Zentralwellenlänge $\lambda_{\text{Laser}} = 800 \text{ nm}$, einer Laserpulsdauer $\tau_{\text{Laser}} = 60 \text{ fs}$ und einer Pulswiederholrate $f_{\text{Laser}} = 10 \text{ kHz}$. Der Laserstrahl wurde koaxial zum Plasmastrahl geführt, wobei der Fokusbereich $2\omega = 80 \mu\text{m}$ betrug. Die Strukturierung der Oberfläche erfolgte durch mäanderförmige Führung des Laserstrahls in einem quadratischen Raster über die Aluminiumoberfläche.

Ergebnisse und Diskussion

Das unterstützende Atmosphärendruckplasma führt bei der Femtosekunden-Laserstrukturierung zu einer Erhöhung von Ablationstiefe und -volumen um bis zu einem Faktor von 250 [1]. Zusätzlich verändert sich die laserinduzierte Oberflächenstruktur in Größe und Geometrie (Abbildung 1). Dies kann dadurch erklärt werden, dass bei der reinen Laserbearbeitung die abgetragenen Partikel in der Ablationszone verbleiben und durch Streuung, Reflexion und Absorption einen effizienten Materialabtrag und – aufgrund der daraus resultierenden Fluktuationen der eingestrahlten Fluenz – eine effektive laserinduzierte Strukturausbildung verhindern. EDX-Messungen weisen zudem auf eine verstärkte Oxidation der abgetragenen Partikel durch das Plasma hin, woraus ein verbesserter Abtransport der Partikel, etwa durch Coulomb-Abstoßung [2], resultiert. Darüber hinaus werden Partikel aufgrund der Beschleunigung durch das elektrische Feld, der plasmainduzierten Bildung von kleineren Partikeln [3] sowie der Stoßbeschleunigung durch metastabile Plasmaspezies [4] mobilisiert und aus der Ablationszone entfernt.

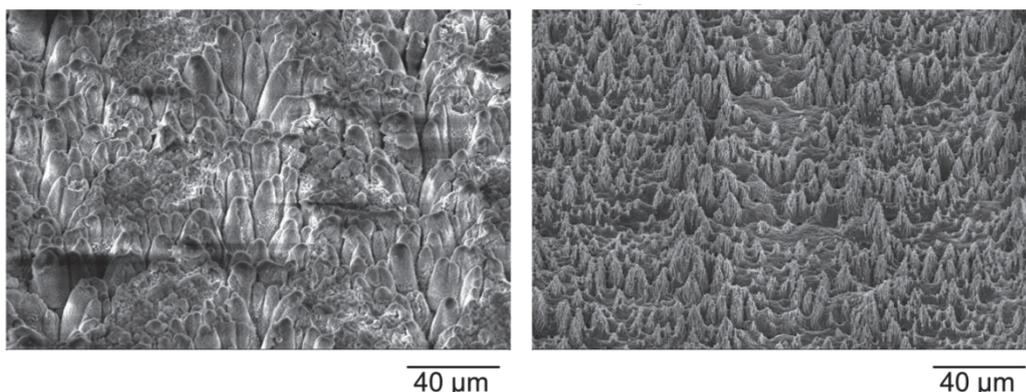


Abbildung 1: Vergleich der erzeugten Oberflächenstrukturen nach reiner Laserstrukturierung (links) und Atmosphärendruckplasma-gestützter Laserstrukturierung (rechts)

[1] Gerhard C, Gimpel T, Tasche D, Koch J, Brückner S, Flachenecker G, Wieneke S, Schade W and Viöl W, 2018, J. Phys. D 5 175201

[2] Lee H C, Chen D Y and Rosenstein B, 1997, Phys. Rev. E 56 4 596–607

[3] Grottker S, Viöl W and Gerhard C, 2017, Appl. Opt. 56 12 3365–71

[4] Bogaerts A and Gijbels R, 1997, Spectrochim. Acta B 52 5 553–65

Single fs laser pulse irradiation for bubble formation in soda-lime glass

Martin Ehrhardt¹, Pierre Lorenz¹, Shengying Lai^{1,2}, Bing Han², Klaus Zimmer¹

¹Leibniz Institute of Surface Engineering (IOM), Permoserstr. 15, 04318 Leipzig

²Nanjing University of Science & Technology, XiaoLingWei 200, 210094 Nanjing

Durch die Bestrahlung von Kalk-Natron-Glas mit einzelnen ultrakurzen Laserpulsen konnten blasenartige Strukturen in der Glasoberfläche erzeugt werden. Die laterale Größe dieser Strukturen entsprach dabei ungefähr der Wellenlänge des Laserpulses ($\lambda = 775$ nm). Die Höhen der Strukturen erreichten Werte bis ca. 500 nm. Die Ursache der Blasenentstehung konnte mit einer Oberflächenmodifizierung des Glases in Verbindung gebracht werden.

Technical glasses are used for a wide range of application which includes displays, photovoltaic, photonic, and micro fluidics. Laser micro machining of glass material is still challenging due to low absorption. Especially the deterministic formation of structures having size in the range of the laser wavelength is an unsolved problem. Common approaches for the generation of nano- and micrometer size structures in glass include the usage of an ultrashort laser pulse in order to excite self-organized process like LIPSS (laser induced periodic surface structures) formation. However the variability and controllability of these kinds of structures are limited. In the presented study we investigated the formation of hollow shell structures under the surface of soda-lime glass. These bubble-like structures were generated with a single laser pulse ($\tau = 150$ fs, $\lambda = 775$ nm). The size of these structures could be controlled by adjusting the incident laser pulse energy. The bubble size was measured by AFM and was correlated with the laser pulse energy. The found bubble heights reached values up to 500 nm. The preparation of cross section by FIB (focused ion beam) of selected bubbles showed that the bubble structures were hollow inside and tended to collapse during the FIB cutting. In order to investigate the mechanism of bubble formation, the composition of the surface of the soda-lime glass was investigated in detail. For this investigation the soda-lime glass was treated with different chemical processes and ion beam sputtering in order to generate very clean surfaces or surfaces with a defined modification. The results of these experiments showed that bubble formation can be correlated with surface modification which induces a gradient of material properties from the upper surface to the bulk material like a gradient of optical absorption, melting point and viscosity. These differences in material properties enable bubble formation at the interface between the modified glass surface and the bulk material. The modified surface of the soda-lime glass or other glass composites are formed naturally by the reaction of the glass material with the ambient air due to corrosion processes. In the presented study, different treatments of the glass surface are introduced which either prevent or enable bubble formation. These experiments were supported by depth-resolved measurements of the material composition in the glass surface region by SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) and XPS (X-ray Photoelectron Spectrometry).

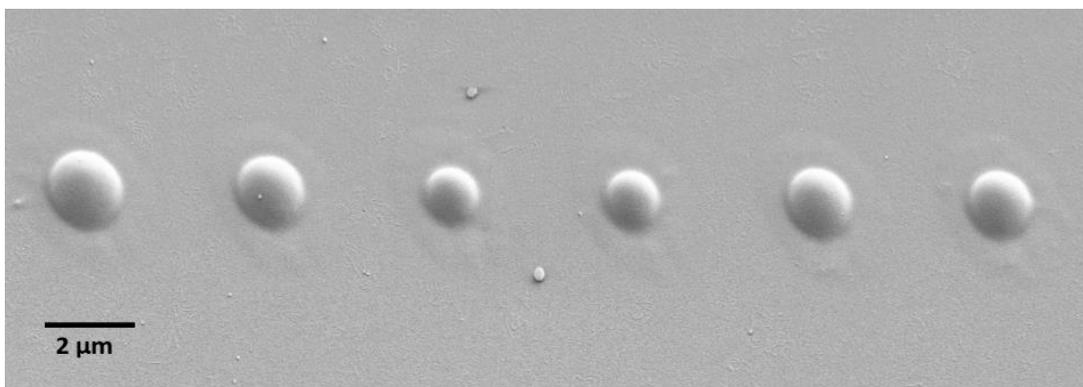


Figure 1: SEM image of exemplary bubbles generated under a soda-lime glass surface, each with a single ultrashort laser pulse.

Untersuchung der Anregungsmechanismen von PMMA mit ultrakurz gepulster mid-IR Laserstrahlung

Philipp Lungwitz, Theo Pflug, Markus Olbrich, Alexander Horn
 Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Organische Materialien können mittels ultrakurz gepulster mid-IR Laserstrahlung mit Pulsdauern im Femto- bis Pikosekundenbereich bearbeitet werden. Im Femtosekundenbereich findet vorwiegend eine nichtlineare elektronische Anregung des Elektronensystems statt, wohingegen bei der Verwendung von Pulsdauern im Pikosekundenbereich funktionale Gruppen im Molekül resonant angeregt werden. Die verschiedenen Anregungen können mittels zeit- und ortsauflöser Ellipsometrie sowie anhand der Abtragsstrukturen unterschieden werden.

Die Verwendung organischer Materialien hat in den letzten Jahren vor allem im Bereich der Halbleiterindustrie immer mehr an Bedeutung gewonnen. Bei der Herstellung von Photovoltaikanlagen, wie Solarmodulen, bietet die Verwendung von Laserstrahlung viele Vorteile hinsichtlich Bearbeitungsgeschwindigkeit, Strukturgrößen und Selektivität. Gegenwärtig wird Laserstrahlung mit Photonenenergien im eV-Bereich zur Strukturierung organischer Schichten verwendet, wobei dabei das Elektronensystem der Moleküle angeregt wird [1] und die Molekülstruktur innerhalb der bestrahlten Fläche zerstört werden kann. Die Verwendung von mid-IR Laserstrahlung ermöglicht die resonante Anregung der Vibrationsmoden innerhalb der Moleküle, wodurch ein Abtrag erfolgen kann, ohne die chemische Struktur des Materials zu verändern [2].

Bei der Verwendung von ultrakurz gepulster Laserstrahlung kann jedoch neben der resonanten Anregung der Moleküle auch eine nichtlineare Anregung des Elektronensystems erfolgen [3]. Ziel der Untersuchungen ist daher ein Vergleich der resultierenden Abtragsstrukturen von nichtlinearer elektronischer Anregung und der Anregung der Molekülschwingungen von PMMA mit ultrakurz gepulster mid-IR Laserstrahlung im Bereich von $3,0 \mu\text{m} < \lambda_{\text{pump}} < 3,8 \mu\text{m}$, sowie ein Vergleich der Dynamik der Anregung mittels *pump-probe*-Ellipsometrie [4] bei $\lambda_{\text{probe}} = 800 \text{ nm}$. Die Anregung von PMMA mit mid-IR Laserstrahlung im Bereich weniger zehn Femtosekunden ($\tau_{\text{H,pump}} < 50 \text{ fs}$) regt Elektronen durch Tunnelionisation an [3], wodurch ein Anstieg des Extinktionskoeffizienten k und ein Abtrag unabhängig von der Wellenlängen hervorgerufen wird (Bild 1a und 1c). Durch Erhöhung der Pulsdauer bis zu einigen Pikosekunden ($\tau_{\text{H,pump}} > 3 \text{ ps}$) verringert sich die Anzahl der durch nichtlineare elektronische Anregung erzeugten quasifreien Ladungsträger, sodass lediglich bei der Resonanzfrequenz der C-H Schwingung bei $\lambda_{\text{pump}} = 3,4 \mu\text{m}$ Materialabtrag stattfindet und keine Änderung des Extinktionskoeffizienten für alle Wellenlängen detektierbar ist (Bild 1b und 1d).

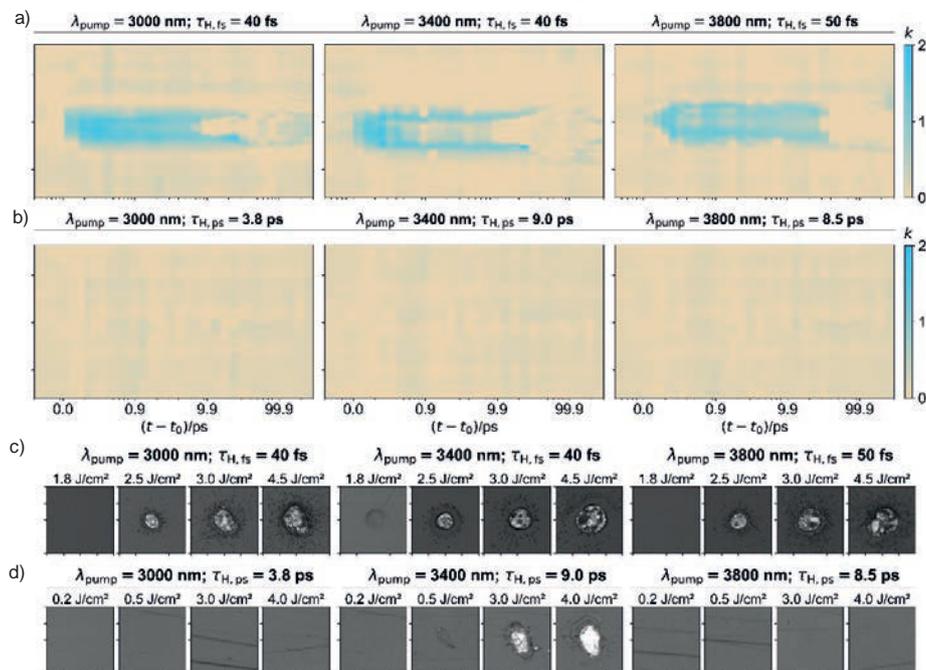


Bild 1: Extinktionskoeffizient k ($\lambda_{\text{probe}} = 800 \text{ nm}$) von PMMA als Funktion der Zeit (a und b) und Lichtmikroskopaufnahmen der erzeugten Abtragsstrukturen (c und d) bei verschiedenen Pumpwellenlängen λ_{pump} und Pulsdauern τ_{H}

Referenzen:

- [1] M. Gebhardt, J. Hänel, F. Allenstein, C. Scholz, M. Clair, LTJ 10, 25 (2013).
- [2] S.L. Johnson, Resonant-infrared laser ablation of polymers, Dissertation, Vanderbilt University (2008).
- [3] T. Pflug, M. Olbrich, R. Roesch, U.S. Schubert, H. Hoppe, A. Horn, Optics and Lasers in Engineering 111, 130 (2018).
- [4] T. Pflug, J. Wang, M. Olbrich, M. Frank, A. Horn, Appl Phys A 124, 17572 (2018).

Nano-3D-Profilometrie auf Basis dispersionskodierter Kurzkohärenzinterferometrie

Christopher Taudt^{1,2,3}, Tobias Baselt^{1,2,3}, Bryan Nelsen^{1,2}, Edmund Koch³, Peter Hartmann^{1,2}

¹Westfälische Hochschule Zwickau, Dr. Friedrichs-Ring 2a, 08056 Zwickau; ²Fraunhofer IWS / AZOM, Keplerstraße 2, 08056 Zwickau; ³Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden

Im Rahmen moderner Produktionsprozesse ist die Qualitätssicherung von hochauflösenden Nanostrukturen essentiell. Dieser Beitrag stellt eine Messmethode der Lasermesstechnik vor, welche aufbauend auf dem Prinzip der Kurzkohärenzinterferometrie arbeitet. Insbesondere wird ein Ansatz vorgestellt, welcher es durch ein kontrolliertes Dispersionsmanagement ermöglicht Höhenaufösungen im Bereich von < 2 nm zu erreichen. Gleichzeitig wird das Messsystem derart gestaltet, dass eine scan-freie Aufzeichnung von zweidimensionalen Profildaten sowie die dreidimensionale Erfassung in hoher Geschwindigkeit möglich ist. Dabei wird auf den Aufbau, die Datenaufnahme sowie –auswertung eingegangen. Anhand von Referenzproben werden zunächst wesentliche Parameter wie Auflösung und Messbereiche ermittelt. Durch die Charakterisierung von Proben aus der Halbleiterfertigung wird die Anwendbarkeit des Verfahrens für Fertigungszwecke beleuchtet. Abschließend wurde eine Fehlerbetrachtung durchgeführt.

Modernste Fertigungsverfahren erfordern ein hohes Maß an Qualität und somit die Nutzung präziser, prozessbegleitender Messtechnik, [1]. In diesem Rahmen gelten optische Technologien wie die konfokale Lasermikroskopie und die optische Kohärenztomographie als relevante Werkzeuge, [2,3]. Moderne Ansätze stellen scan-freie Ansätze zur Profilometrie durch abbildende Spektroskopie vor, [4]. Der Anspruch dieser Arbeit ist es durch Dispersionskodierung der Höheninformation ein höheres Aspektverhältnis (Messbereich $>20\mu\text{m}$, Auflösung < 2 nm) in der flächenaufgelösten Messung von Oberflächenprofilen zu erzielen. Zu diesem Zweck wurde ein Zweistrahlinterferometer nach einer Michelson-Anordnung aufgebaut, Abb. 1 a).

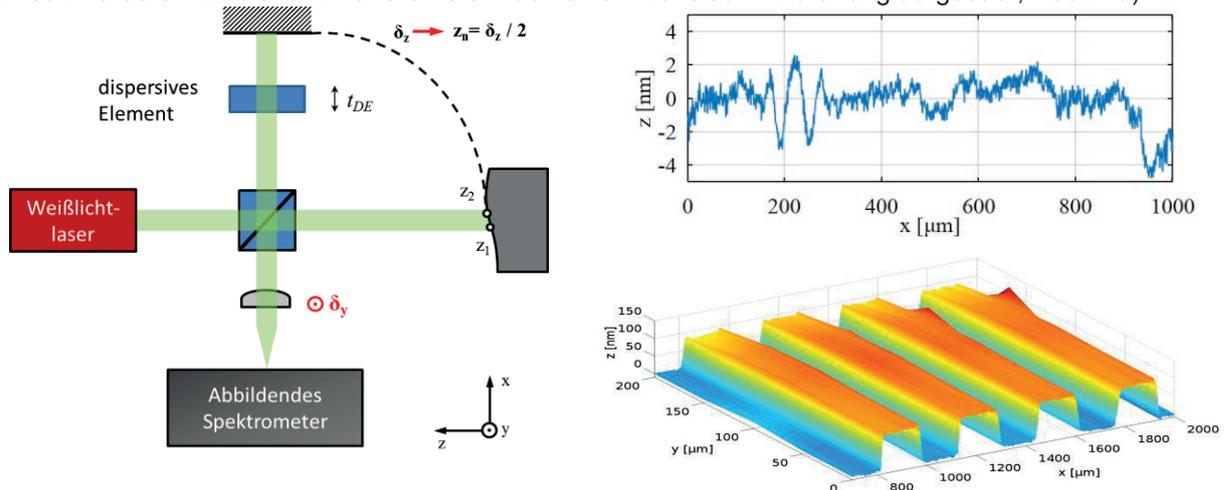


Abbildung 1: a) Darstellung des Messaufbaus bestehend aus einem Michelson-Interferometer mit kontrollierter Dispersion, b) Höhenprofil eines Spiegels zur Charakterisierung des Aufbaus mit Defektstrukturen < 2 nm und einer Rauheit $< 0,5$ nm sowie c) Resultat einer 3D Messungen mit Strukturen von 100 nm Höhe und 250 μm Abstand

Dabei wird ein Weißlichtlaser (Superkontinuum) durch einen Strahlteiler in Referenz- und Probenstrahl geteilt. Während die Probe das Licht zurück reflektiert, durchläuft der Strahl im Referenzarm ein dispersives Element (DE) bevor er zurückreflektiert wird. Das DE sorgt für die Einstellung eines gewünschten Messbereichs sowie für die spektrale Kodierung des Höhenprofils. Die Auswertung durch ein abbildendes Spektrometer erlaubt die orts aufgelöste Messung eines Profils aus einer einzelnen Aufnahme. Durch diese Anordnung konnten ausführliche Versuche zum Beispiel an Spiegeln und Si-Wafern durchgeführt werden, Abb. 1 b). Es konnte gezeigt werden, dass durch die spektrale Kodierung des Höhenprofils und die Wahl des DE Rauheiten im Bereich von 0,5 nm und Defektstrukturen von < 2 nm detektiert werden können. Außerdem war es möglich die 3D Oberflächenstruktur von Proben mit derselben Auflösung zu erfassen, Abb. 1 c). Hierbei konnten zum Beispiel 250 μm breite Strukturen eines Si-Wafers mit 100 nm Höhe gemessen werden. Eine umfangreiche Fehler- und Einflusscharakterisierung rundet die Arbeit ab.

[1] R. Leach et al., Surface Topography: Metrology and Properties 3, 013001 (2015).
 [2] J. Buajarearn, et al. Surface Topography: Metrology and Properties 2, 014003 (2014).
 [3] E. Koch et al., Vol. 5861 of Proc. SPIE (Optical Society of America, 2005)
 [4] P. D. Ruiz and J. M. Huntley, Opt. Express 25, 8801–8815 (2017).

Neue Herausforderungen bei der Durchsatzsteigerung der Oberflächenfunktionalisierung mittels Direkter Laserinterferenzstrukturierung

Andrés Fabián Lasagni

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

Intelligente Oberflächen sind ein Innovationsträger des 21. Jahrhunderts. Davon können unterschiedliche Industriezweige mit beispielsweise optischen, mechanischen oder auch biologischen Technologien und Produkten profitieren. In dieser Präsentation werden Laserbasierte Methoden für die großflächige Oberflächenstrukturierung und Funktionalisierung vorgestellt. Diese Verfahren ermöglichen eine schnelle und effiziente Bearbeitung von planaren und gekrümmten Bauteilen. Zusätzlich werden unterschiedliche Bearbeitungssysteme und Konfigurationen beschrieben

Kontrollierte topografische Merkmale von Oberflächen können, im Vergleich zu zufälliger Oberflächenrauheit, Eigenschaften beeinflussen und Oberflächenfunktionen verstärken. Beispiele für Topographien mit geordneten Strukturen finden sich auf den Oberflächen verschiedener Tiere und Pflanzen. Durch diese Bottom-Up-Ansätze der Strukturgebung hat sich die Natur als bestes Vorbild erwiesen, um jede Überlebensherausforderung zu meistern.

Laserbasierte Ablationsmethoden erfüllen, in einem einstufigen Prozess, die erforderlichen technologischen und wirtschaftlichen Aspekte zur reproduzierbaren Herstellung solcher Oberflächen [1]. Zum Erzeugen von periodischen Oberflächenstrukturen ist der Einsatz interferometrischer Technologien wie der Laserinterferenzlithografie (engl.: Laser Interference Lithography; LIL) [2] und das Direkte Laserinterferenzstrukturieren (engl.: Direct Laser Interference Patterning; DLIP) möglich.

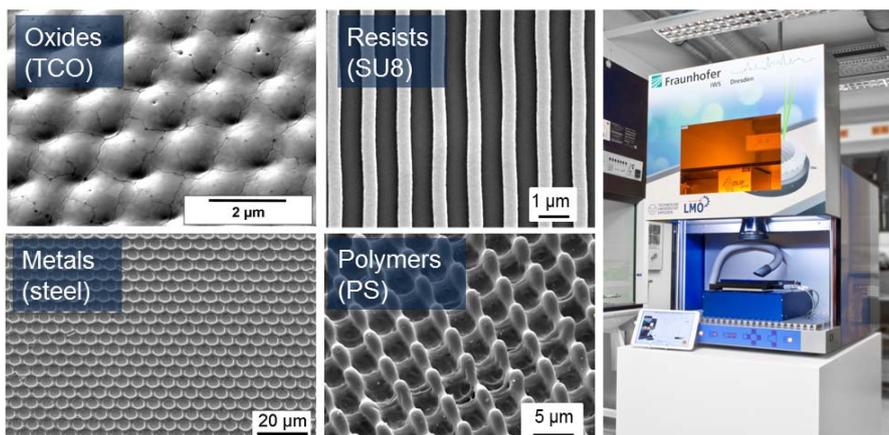


Bild 1: Beispiele von DLIP und LIL bearbeiteter Oberflächen sowie Abbildung einer am Fraunhofer IWS entwickelten DLIP Anlage.

Bei LIL wird das von zwei oder mehreren Laserstrahlen im Überlagerungsbereich erzeugte, stehende Wellenmuster verwendet, um eine lichtempfindliche Schicht, wie beispielsweise einen Fotolack, zu belichten (Bild 1). Bei Verwendung von Lasersystemen mit hoher Pulsenergie (einige hundert μJ bis mehrere J) können die zu behandelnden Materialien direkt bearbeitet werden (Bild 1), was auch der Name für diese Methode widerspiegelt, Direct Laser Interference Patterning (DLIP) [3]. Ähnlich wie

bei anderen laserbasierten Strukturierungsverfahren kann die hochintensive Laserstrahlung verschiedene metallurgische Prozesse wie Rekristallisation, Kristallisation amorpher Materialien oder Schmelzen ermöglichen. In diesem Vortrag werden die neuesten Entwicklungen für beide Methoden, LIL und DLIP, vorgestellt. Zunächst wird das Prinzip der Interferenz beschrieben und daraus die wichtigsten Parameter zur Regulierung der Strukturgeometrie und -größe abgeleitet. Folgend wird auf die Herstellung periodisch strukturierter Felder auf verschiedenen Materialien eingegangen, wobei der Schwerpunkt auf neuen Möglichkeiten und Bearbeitungsstrategien liegt. Dabei werden unterschiedliche Bearbeitungssysteme und Konfigurationen beschrieben (Bild 1). Letztendlich wird die Implementierung der DLIP-Technologie für die Rolle-zu-Rolle-Verarbeitung aufgezeigt und die wesentlichen Vorteile diskutiert.

Literatur

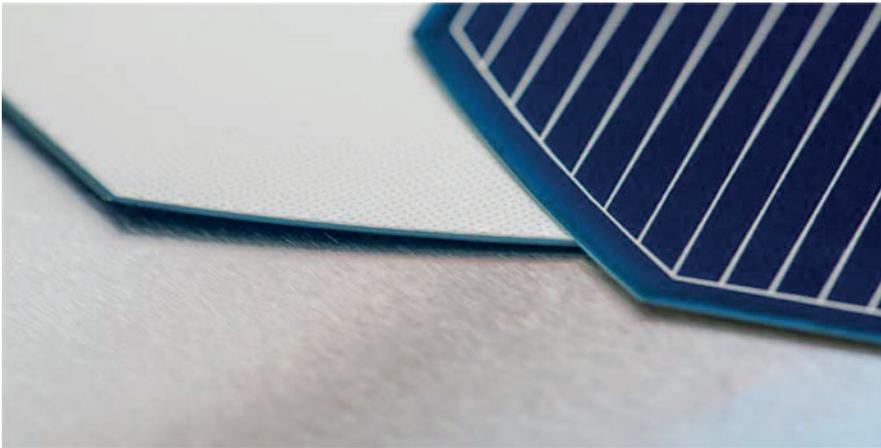
- [1] A. F. Lasagni, T. Kunze, M. Bieda, D. Günther, A. Gärtner, V. Lang, A. Rank, T. Roch, Proc. of SPIE Photonics West, San Francisco, **9735** (2016) 973515.
- [2] A. F. Lasagni, B. S. Menéndez-Ormaza, Adv. Eng. Mater. **12** (2010) 54.
- [3] A. F. Lasagni, Advanced Optical Technologies, **6** (2017) 265.

Lasergeschweißte Elektroden für kristalline Siliziumsolarzellen

Jan Nekarda, Oliver John, Jan Paschen, Andreas A. Brand

Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme (ISE), Heidenhofstrasse 2, 79110 Freiburg

Die Photovoltaik verzeichnet jährlich zweistellige Zuwachsraten. Vor allem kristalline Siliziumsolarzellen mit einem Marktanteil von >90% sind in den letzten Jahren immer günstiger und effizienter geworden. Diese Erfolgsgeschichte kann durch die Entwicklung innovativer Fertigungstechnologien fortgeschrieben werden. Ein Beispiel dafür ist eine neuartige Rückseiten-Elektrode auf der Basis handelsüblicher Aluminiumfolie, welche mit bis zu 100.000 Laserschweißpunkten elektrisch und mechanisch mit dem Wafer verbunden wird. Das „FoilMet[®]“-Verfahren führt zu einem höheren Wirkungsgrad der Solarzellen und reduziert gleichzeitig den Materialeinsatz. Das Paper zeigt den aktuellen Stand der Entwicklung sowie die Vorteile und Herausforderungen des Verfahrens auf.



Strahlformung und zeitliche Parameteranpassung für die Ultrakurzpulsbearbeitung transparenter Materialien

Malte Kumkar¹, Michael Jenne^{1,2}, Daniel Grossmann^{1,3}, Jonas Kleiner¹,
Felix Zimmermann¹, Myriam Kaiser¹, Marcel Schäfer¹, Stefan Nolte²

¹TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH, LAC, Johann -Maus-Str. 2, 71254 Ditzingen

²Institut für Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena

³Lehrstuhl für Lasertechnik, RWTH Aachen

Durch hohe Spitzenleistung ultrakurzer Pulse induzierte Absorption erlaubt die Laserbearbeitung transparenter Werkstoffe. Eine Vielzahl von Anwendungen basierend auf induzierter Volumen- oder Oberflächenabsorption sind bereits etabliert. Neue und verbesserte Bearbeitungsverfahren ermöglichen eine breitere industrielle Umsetzung. Die inzwischen verfügbaren industriellen Laserquellen bieten die Steigerung der Repetitionsfrequenz sowie der Pulsenergie und somit eine Skalierung sowohl über die Anzahl der pro Zeiteinheit eingebrachten als auch der Größe der Wechselwirkungszonen. Bei den typischerweise hartspröden Werkstoffen ist die Wärmeakkumulation zu kontrollieren, insbesondere wenn eine Steigerung des Durchsatzes angestrebt wird. Es wird dargestellt, wie sich zeitliche Parameter wie Pulsdauer, Burst und Repetitionsfrequenz und räumliche Strahlformung sowie Strahlversatz nutzen lassen, um über die Ausbildung der räumlich-zeitlichen Gradienten verschiedene Bearbeitungsprozesse zu adressieren. Die Beispiele umfassen mit dem Trennen und dem Fügen Verfahren, die auf weitgehender Vermeidung oder auf kontrollierter Akkumulation beruhen.

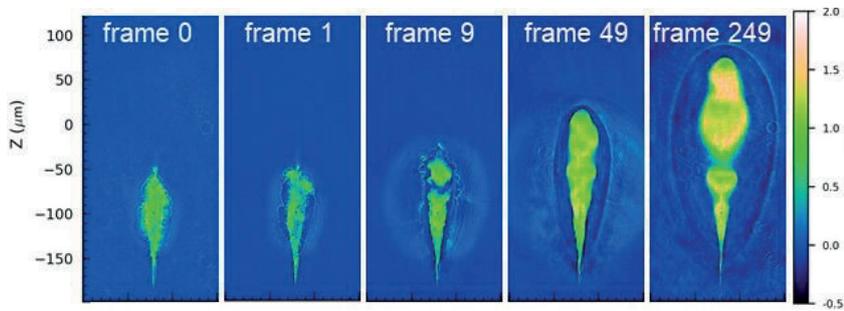


Bild 1: Entwicklung der optischen Dichte durch eine Folge von in Glas fokussierten Pulsen, analysiert mittels transversaler Pump-Probe-Diagnostik mit Hochgeschwindigkeitskamera.

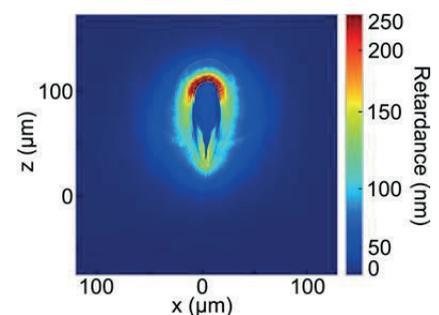


Bild 2: In-Situ-Polarisationsmikroskopie nach 50 bei 400 kHz in Glas fokussierten Doppelpulsen mit 300 fs Dauer.



Bild 3: Glas Samples getrennt nach Modifikation mit strahlgeformtem Ultrakurzpuls-Strahl in Einzelüberfahrt.



Bild 4: Strahlformungsoptik für das Lasertrennen von Gläsern.

Hochgeschwindigkeits UV-Femtosekundenbearbeitung

B. Schöps, C. Hönninger, M. Delaigue, E. Audouard, E. Mottay
Amplitude Laser, 11, avenue de Canteranne, 33600 Pessac, Frankreich

Hochleistungs-Femtosekunden-UV-Laser bis 40 W tragen dazu bei, den Anwendungsbereich der ultraschnellen Laserbearbeitung auf neue Materialien wie funktionalisierte Polymere oder organische Materialien zu erweitern. Aus Anwendersicht erfordert der effiziente Umgang mit hohen Durchschnittsleistungen und hohen Impulswiederholraten, z.B. bei Hochgeschwindigkeitsscannern, eine Erhöhung der Pulsmodulationsgeschwindigkeit sowie eine freie Ansteuerung, um die Laserimpulse mit der Anwendung zu synchronisieren (über Scanner oder Achsenpositionierung). Die Herausforderung bei Femtosekundenlasern besteht darin, den Inversionsgrad über die gesamte Verstärkerkette und damit die Ausgangspulsenenergie für jedes Benutzerprofil konstant zu halten. Nachdem dieses Problem gelöst ist, kann der Benutzer die Laserperiode oder die Wiederholfrequenz an die Geschwindigkeitsänderung bei komplexen Bewegungen anpassen, um eine konstante Fluenz auf der Probe zu erhalten. Ergebnisse zu verschiedenen Materialien wie COP, PI, PET und Borosilikatgläsern werden vorgestellt.

High power femtosecond UV lasers up to 40 W contribute to increase the application range of ultrafast laser processing towards new materials such as functionalized polymers or organic materials. From the user perspective, dealing efficiently with high average power levels and high pulse repetition rates, e.g. in high speed scanners, requires an increase in the pulse modulation speed as well as free triggering in order to synchronize the laser pulses with the application (via scanner or axes positioning). The challenge in femtosecond lasers is to maintain the inversion level constant through the entire amplifier chain, and hence the output pulse energy, constant for any user profile. With this issue solved, the user can adapt the laser pulse period or repetition rate frequency to the variation of speed in case of complex movements, in order to maintain a constant fluence on the sample. Results on several materials such as COP, PI, PET and borosilicate glasses are presented.

Keywords: pulse-on-demand, UV-Femtosekundenlaser, free triggering, femtoTRIG

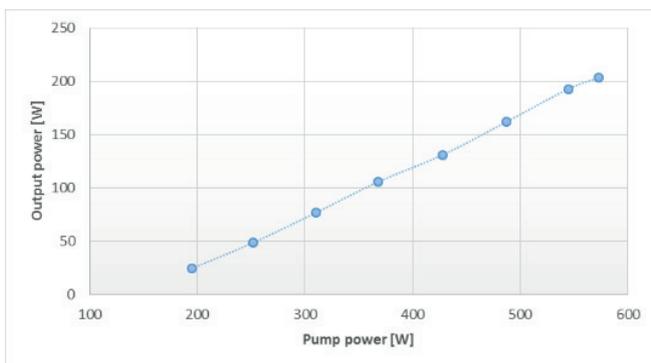


Bild 1: Tangor UV liefert mit dem gezeigten Frequenzkonvertierungs-Modul bis zu 50 W UV (343 nm) bei Pulsdauern unter 1ps.

Strahlformung und -teilung an Hochleistungs-Ultrakurzpuls-Lasern

Martin Kahle, Dirk Nodop und Jan Rücker

ifw Jena – Günther-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH, Otto-Schott-Straße 13, 07745 Jena

Industrietaugliche Ultrakurzpuls-(UKP)-Laser sind zunehmend mit Leistungen von mehreren hundert Watt verfügbar. Da für die Mikrobearbeitung ein einzelner Strahl von mehr als 10 W kaum sinnvoll verwendet werden kann, sind flexible Strahlteilungs- und -formungskonzepte nötig. Es wird gezeigt werden, wie mit einem spatial light modulator ein UKP-Strahl von 100 W Durchschnittsleistung flexibel geformt bzw. geteilt werden kann. Des Weiteren werden verschiedene Berechnungsmethoden für die nötigen Phasenmasken vorgestellt, welche die Eigenschaften des geformten Strahls erheblich beeinflussen. Auf die Anwendungsmöglichkeiten und die Wirtschaftlichkeit der Technik werden Ausblicke gegeben.

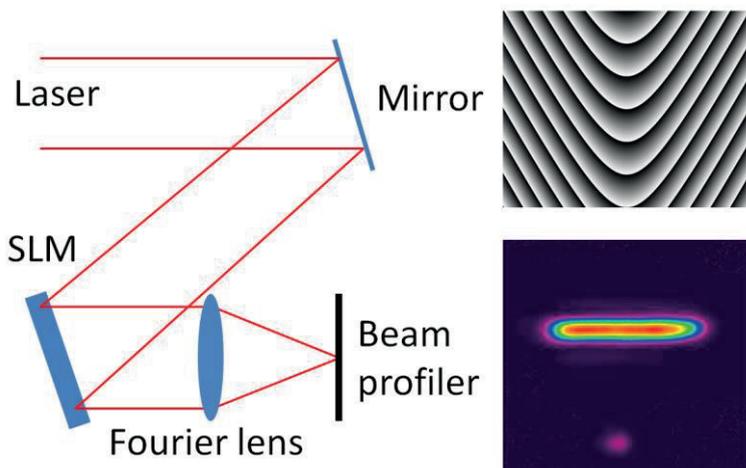
Industrial ultra-short pulse (USP) lasers are increasingly available with powers of several hundred watts. Since a single beam of more than 10 W can hardly be used for micromachining, flexible beam splitting and shaping concepts are necessary. It will be shown how a spatial light modulator can flexibly shape or divide a 100W average power USP beam. Furthermore, different calculation methods for the necessary phase masks are presented, which considerably influence the properties of the shaped beam. An outlook on the application possibilities and the economic efficiency of the technology will be given.

Motivation

Die vergleichsweise geringe Abtragsrate von Ultrakurzpulslasern führt zu einer geringen Produktivität bzw. geringem Durchsatz bei industriellen Prozessen und behindert ihre Verbreitung als Produktionswerkzeug. Gleichzeitig sind UKP-Laser mit Durchschnittsleistungen bis in den kW-Bereich kommerziell erhältlich. Deren Leistungen lassen sich aber in einem einzigen Strahl nicht sinnvoll zur Mikromaterialbearbeitung einsetzen.

Forschungsansatz

Dieses Problem kann im Falle von Lasern mit sehr hohen Pulsrepetitionraten im MHz-Bereich und Anwendungen in der Oberflächenbearbeitung mit Polygonscannern gelöst werden; der Laserstrahl wird dann räumlich sehr schnell abgelenkt. Bei Lasersystemen mit hohen Pulsenergien im mJ-Bereich und in der Mikrobearbeitung ist es aber sinnvoller, den Laserstrahl zu teilen bzw. die Energieverteilung im Fokus der Anwendung anzupassen. Ein Flüssigkristall-spatial-light-modulator stellt hierzu ein flexibles und leistungsstarkes Werkzeug dar.



Der Laserstrahl wird dabei lediglich durch eine Phasenmodulation beeinflusst, welche erst im Fokus zu einer Veränderung des Intensitätsprofils führt (siehe Abb.1). Die Berechnung des nötigen Phasenprofils für die gewünschte Intensitätsverteilung kann in einfachen Spezialfällen; z.B. Gaußstrahl zu Top-Hat, durch ein Integral erfolgen [1].

Abbildung 1: links: typischer Strahlengang bei Verwendung eines Spatial-Light-Modulator; rechts oben: Phasenmaske zur Erzeugung eines 1D-top-hat-Profiles; rechts unten: erzeugtes Profil mit abgespaltener 0. Beugungsordnung

Im Allgemeinen sind aber iterative Algorithmen, wie der Gerchberg-Saxton-Algorithmus [2], zu Berechnung der Phasenmaske notwendig. Diese haben den Nachteil, dass sie je nach Anfangswerten zu unterschiedlichen Lösungen führen, von denen viele in der Anwendung Spekle-Muster zeigen. Es wird gezeigt werden, wie Spekle-freie iterative Lösungen gefunden werden können und es werden experimentelle Ergebnisse dieser Phasenmasken bei der Formung eines Hochleistungsstrahls gezeigt werden.

[1] H. Aagedal, M. Schmid, S. Egner, J. Müller-Quade, T. Beth, and F. Wyrowski „Analytical beam shaping with application to laser-diode arrays“, JOSA A, 7, 1549-1553 (1997).

[2] R. W. Gerchberg and W. O. Saxton, “A practical algorithm for the determination of the phase from image and diffraction plane pictures,” Optik 35, 237 (1972)

New Features Enable Advanced Ultra Short Pulse Micro Processing Within Large Field Of View

Holger Schlüter

SCANLAB GmbH, Siemensstrasse 2 a, 82178 Puchheim

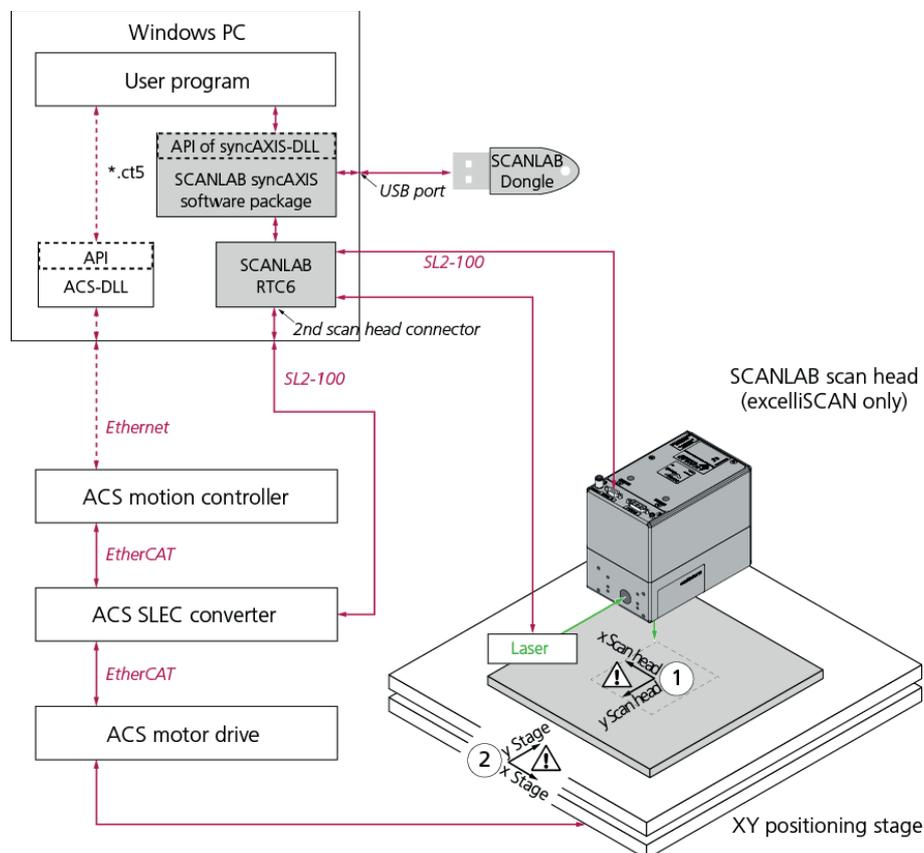
XL SCAN ermöglicht die simultane Steuerung eines excelliSCAN und einem XY-Achssystem. Damit können beliebig große Werkstücke bearbeitet werden. Die Genauigkeit der Applikation ist einzig durch die Genauigkeit der Achs- sowie der Scannergenauigkeit gegeben – die Steuerung selbst fügt keinen Schleppfehler hinzu. Eine neuartige Trajektorienplanung ermöglicht die exakte Steuerung von bis zu zwei Laserparametern im Zusammenspiel mit frei triggerbaren UKP Lasern.

XL SCAN enables simultaneous control of an excelliSCAN scan head and a mechanical XY stage with two servo axes. This allows the processing of arbitrary large workpieces. The application's precision is limited solely by the stage's and scanner's precision – the control itself introduces no additional error. A new trajectory planner enables exact control of two laser parameters in conjunction with triggerable USP lasers.

Wir präsentieren eine neuartige Lösung zur Prozessierung von großen Flächen mit sehr hohe Genauigkeit. Das System basiert auf einer Trajektorienplanung. Steuerungsalgorithmen und Netzwerksynchronisation, um absolute Positionsgenauigkeiten ohne Schleppfehler zu erreichen.

Eigenschaften des Systems umfassen:

- Pulsabstandskontrolle, um minimale Bearbeitungszeiten zu erreichen bei Verwendung von frei triggerbaren Ultrakurzpuls Lasern
- Automatische Laserkontrolle, um gleichmäßige Streckenergie bei beliebigem Pfad zu erhalten
- Ablenkwinkelabhängige Laserpulsenergiekontrolle



Herstellung strömungsoptimierter Oberflächentopografien mittels Hochrate-Laserverfahren

Udo Löschner¹, Stefan Mauersberger¹, Alexander Bock¹, Kristian Kujawa¹, Jörg Schille¹,
Konrad Hartung², Christoph A. Million², K. Oehlert²

¹) Laserinstitut Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences Mittweida, Technikumplatz 17,
09648 Mittweida

²) Arbeitsgruppe für Fluidenergiemaschinen, Jade Hochschule Wilhelmshaven, Friedrich-Paffrath-Str. 101,
26389 Wilhelmshaven

Lasermikrobearbeitung zählt zu den hervorragend geeigneten Methoden der Präzisionsbearbeitung. Jedoch standen einer breiten Anwendung in industriellen Applikation bisher geringe Prozessraten und unzureichende Durchsätze dieser vielfältig einsetzbaren Technologie entgegen. Einerseits resultierten diese Nachteile aus der nur geringen zur Verfügung stehenden mittleren Laserleistung von Ultrakurzpuls-Lasern, die in erster Linie für die hochpräzise Mikrofabrikation genutzt werden. Andererseits liefern Nanosekunden-Laser oder cw-Laser zwar wesentlich höhere Laserleistungen, die für eine hochqualitative Mikrobearbeitung zunächst ungeeignet erscheinen. Dabei reduzieren hohe thermische Belastungen während des Prozesses und damit einhergehendes Aufschmelzen des Materials sowie Gratbildung und Rückstände abgetragenen Materials als wesentliche limitierende Einflüsse die erreichbare Qualität bei der Präzisionsbearbeitung.

In dieser Arbeit werden Ergebnisse zur oberflächenfunktionalisierenden Mikroprofilierung von Metalloberflächen unter dem Einsatz von Hochrate-Laserverfahren vorgestellt. Die auch als strömungswiderstandreduzierende Riblets bezeichneten Mikroformationen sind aus der Natur von der Oberflächenstruktur der Haifisch-Haut bekannt. Ihre Abmessungen liegen in Abhängigkeit des umströmenden Mediums und der Strömungsgeschwindigkeit beispielsweise für Luft bei einigen 10 bis wenigen 100 Mikrometern, einer idealen Strukturgröße für die Lasermikrobearbeitung. Dieser vielversprechende Ansatz wird durch großflächige Mikrofabrikation mit hohen Durchsätzen unter Nutzung der am Laserinstitut Hochschule Mittweida entwickelten leistungsfähigen Hochrate-Lasertechnologie möglich [1,2]. Kernpunkt der Hochrate-Laserbearbeitung bildet die Kombination von brillanter Hochleistungslaserstrahlung mit extrem schneller Strahlableitung, wobei Laserstrahlung von Ultrakurzpulsquellen mit Laserleistungen > 400 W, aber auch von cw-Laserquellen mit Laserleistungen bis zu 3 kW über schnelle Galvanometerscanner oder eigenentwickelte extrem schnelle Polygonspiegelscanner geführt wird und somit eine Strahlableitungsgeschwindigkeit von bis zu 560 m/s auf dem Material bereitsteht. Bild 1 zeigt eine mit cw-Laserstrahlung gefertigte Riblet-Struktur, die das große Potenzial der Hochrate-Lasertechnologie für das präzise Oberflächenprofilieren verdeutlicht. In dieser Studie wurde der Einfluss von Laserleistung, Strahlintensität und Bestrahlungsregime auf die Bearbeitungsqualität untersucht. Die erzeugten Mikroformationen sind großflächig hinsichtlich ihrer geometrischen Abmessungen charakterisiert und anschließend strömungstechnisch bewertet worden.

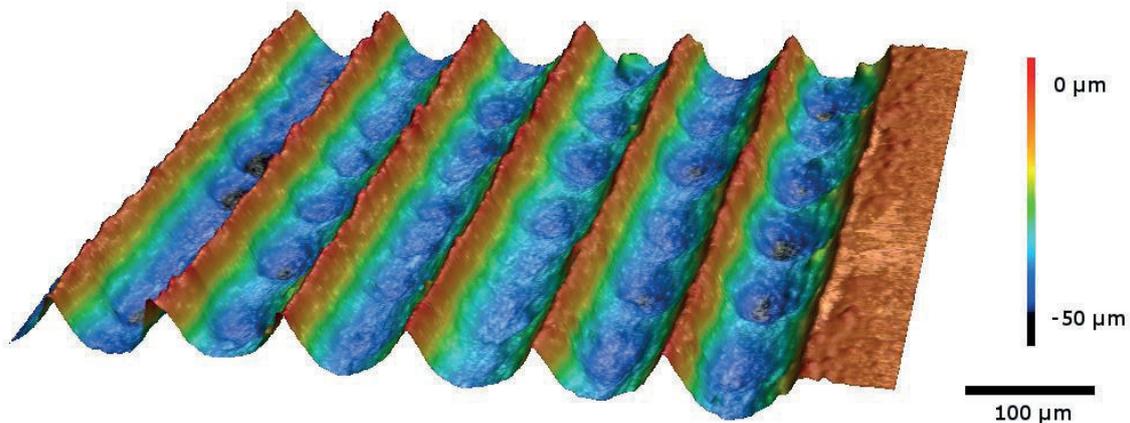


Bild 1: Riblet-Struktur erzeugt mit cw-Laserstrahlung, Prozessparameter: Laserleistung 3 kW, Strahlableitungsgeschwindigkeit 350 m/s; charakteristische Riblet-Geometrie: Riblet-Spacing 100 μm , Riblet-Höhe 50 μm , Spitzenbreite < 10 μm .

[1] H. Exner, L. Hartwig, R. Ebert, S. Kloetzer, A. Streek, J. Schille, U. Loeschner: High rate laser micro processing using high brilliant cw laser radiation, Proceedings of 11th International Symposium on Laser Precision Microfabrication (2010).

[2] J. Schille, L. Schneider, A. Streek, S. Kloetzer, U. Loeschner: High-throughput machining using a high-average power ultrashort pulse laser and high-speed polygon scanner, Optical Engineering, Volume 55, Issue 09, September 2016.

Sicherstellen von reproduzierbaren Laserstrahlparametern im Selective Laser Manufacturing

Sven Schipper

Ophir Spiricon Europe GmbH, Guerickeweg 7, 64291 Darmstadt

Selective Laser Melting (SLM) tritt in der Serienfertigung in eine neue Phase ein. Während für Prototypen häufig nur ein gutes Modell ausreicht um neue Designs zu testen, müssen Serienprodukte in ihren Eigenschaften und ihrer Leistung identisch sein. Jede einzelne Schicht muss perfekt sein um die Gesamtqualität jedes produzierten Bauteils sicherzustellen. Dies führt zu einem Hauptproblem in der additiven Fertigung: Reproduzierbarkeit. Erfahren Sie mehr über neue Messmethoden, die alle relevanten Laserstrahlparameter liefern.

Industrielle Hochleistungslaser unterliegen thermisch-induzierten optischen Effekten, die den Laserstrahl bis zum Arbeitspunkt zeitlich verändern. Diese dynamischen Veränderungen, wie z.B. die Verschiebung der Fokusslage (Focal Shift) und des Fokussdurchmessers, zu kennen, ist vor allem bei Schweiß- und Schneidanwendungen sehr wichtig. Doch auch in der additiven Fertigung spielt die Laserstrahlanalyse für die Sicherstellung von qualitativ hochwertigen Bauteilen eine immer wichtiger werdende Rolle. Eine auf der Rayleigh-Streuung basierende Messtechnologie ermöglicht erstmals - innerhalb weniger Sekunden - eine dynamische Messung an Hochleistungslasern. Die gewonnenen Daten können direkt genutzt werden, um die Prozessqualität zu verbessern und die Produktionskosten zu senken.

Zusätzlich zu den erwähnten Strahlparametern erhält der Anwender eine Auskunft über die Energieleistung des Lasers, da die BeamWatch AM außerdem mit einem Leistungssensor ausgestattet ist.

Die Vorteile der berührungslosen Messung des Laserstrahls greifen vor allem bei hohen Leistungsdichten von typischerweise mehr als 50 kW/cm², wie sie im Selective Laser Melting benötigt werden. Dabei können Messgeräte Leistungen von bis 1 kW für bis zu zwei Minuten ohne aktive Kühlung aufnehmen.

Auf Grundlage der gemessenen Daten können nun die Prozessparameter in die Fertigung einfließen und somit kann bei regelmäßiger

Wiederholung die Reproduzierbarkeit und Qualität erhöht werden. Die Technologie erfüllt die Anforderungen der Hersteller in Hinblick auf die Messgeschwindigkeit: In Bruchteilen einer Sekunde entstehen exakte Bilder der Strahlkaustik. Die Vergleichbarkeit der Messergebnisse, die für die Hersteller eine so entscheidende Rolle spielt, wird damit jederzeit gewährleistet.

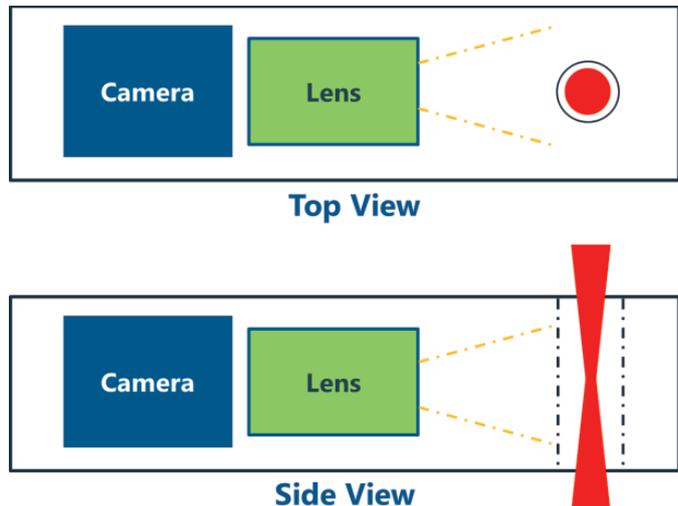


Abbildung 1: Kamerasicht auf Laserstrahl

Transient Investigations of Spatter Behavior during Laser Beam Melting

Andreas Wimmer, Michael F. Zaeh

Technical University of Munich, TUM Department of Mechanical Engineering, Institute for Machine Tools and Industrial Management, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching, Germany

Additive Manufacturing (AM) is increasingly employed for series production. An enhancement of the component quality and the process robustness is necessary for the future success of AM. Spatter particles from the melt pool, which are deposited on the powder bed, are among the main causes of increased porosity and surface roughness in Laser Beam Melting (LBM). This paper demonstrates detailed investigations on spatter formation and propagation during LBM using high-speed thermographic imaging. The influence of process parameters (power, scanning speed and hatch spacing) on target parameters (number of spatters, type of spatters and melt pool temperature fields) was investigated by a multiple regression analysis. The results of this study give a recommendation for reducing spatters during LBM.

Processing:

The experimental setup (Figure 1 a)) consisted of two main components, a LBM machine (EOS M270) and a high-speed thermographic imaging system (InfraTec Imager 8300), which allowed investigations on the melt pool and the ejected spatter particles during LBM. The spatial dimensions of the melt pool are in the range of micrometers, therefore an enlargement of the optical image scaling was indispensable. A modification of the process chamber door was a crucial measure to adequately capture the LBM process zone. An adapter printed by Fused Deposition Modeling (FDM) enabled a projection far into the process chamber of the LBM machine. Furthermore, laser safety and gas tightness were ensured.

A major advantage of high-speed thermographic imaging compared to high-speed imaging in the visible spectrum, is that particle movements in the powder bed only have a minor effect on the image quality. This allows a detailed determination of the different types of spatters.

The experiments for this paper were conducted according to a full factorial plan, in which the process parameters such as power, scanning speed and hatch spacing were varied. One layer was exposed and simultaneously recorded with the thermographic imaging system for every single parameter combination. Cooling rates, type of spatters, and number of spatters were determined using the images from the high-speed thermographic camera. An example recording, in which a single track was exposed with the laser moving from the left to the right, is shown in Figure 1 b). The generated image data were evaluated by multiple regression analysis to determine the most important influencing parameters for spatter formation and melt pool temperatures.

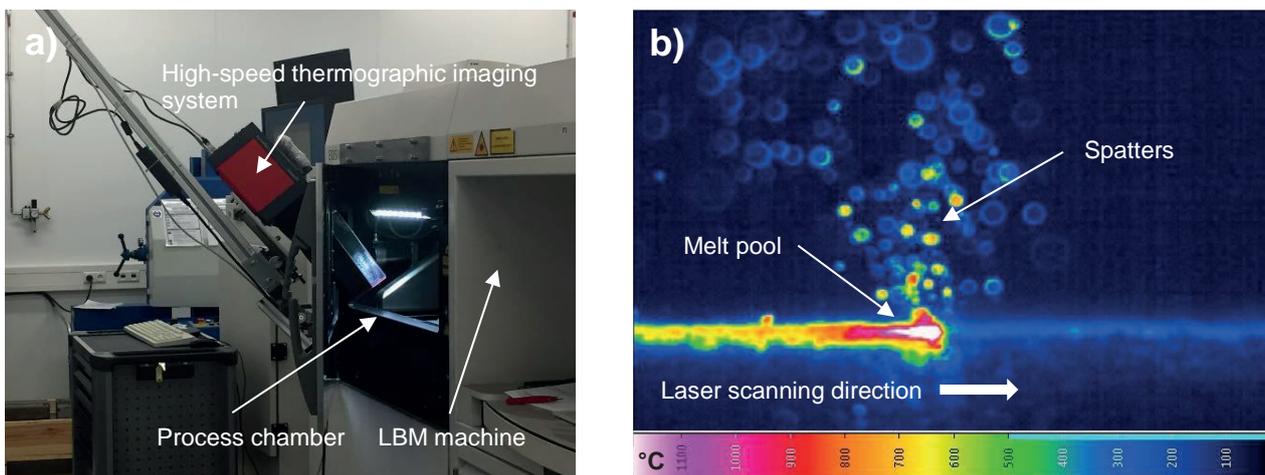


Figure 1: a) Experimental setup: EOS M270 LBM machine with high-speed thermographic imaging. b) Thermographic image of the melt pool during the process of LBM.

Summary:

A fundamental understanding of spatter formation and propagation is necessary to improve the quality of parts manufactured by LBM. High-speed thermographic imaging provides insight into the process dynamics of LBM. In this paper, high-speed thermographic imaging was deployed to analyze interactions between key process parameters and the formation of spatters.

Laserstrahlvermessung für hohe Leistungsdichten

Stephan Holesch, Stefan Wolf, Otto Märten, Reinhard Kramer
PRIMES GmbH, Max-Planck-Str. 2, 64319 Pfungstadt, Germany

Man kann sagen, der Laser wächst mit seinen Aufgaben. Als Werkzeug ist der Laser in verschiedenen Bereichen der Industrie etabliert, die Anforderungen in Bezug auf Laserparameter sind genauso vielfältig und hoch wie die Genauigkeitsanforderungen an das Gesamtsystem. Grundvoraussetzung für eine gleichbleibend hohe Qualität ist die Fähigkeit, die wesentlichen Prozessparameter messtechnisch zu erfassen. Die Messtechnik wird besonders durch die Kombination aus immer leistungsstärkeren Lasersystemen und relativ kleinem Fokus vor immer neue Herausforderungen gestellt. Mit dem Beitrag der PRIMES GmbH sollen aktuelle Lösungsansätze vorgestellt, gern auch diskutiert werden.

One can say that the laser grows with its tasks. As a tool, the laser is established in various areas of industry. The requirements in regards to laser parameters are just as varied and high as the precision requirements for the overall system. The basic prerequisite for consistently high quality is the ability to measure the essential process parameters. Measurement technology is constantly faced with new challenges, especially due to the combination of ever more powerful laser systems and a relatively small focus. The contribution of PRIMES GmbH is intended to present and discuss current approaches to solutions.

Laseranwendungen im industriellen Umfeld erfordern hohe Ausbeuten und Verarbeitungsgeschwindigkeiten, um wettbewerbsfähig zu arbeiten. Dies kann nur durch die Maximierung der Zuverlässigkeit und Steigerung der Prozessgeschwindigkeit erreicht werden. Gleichzeitig soll auch die eingebrachte Energie möglichst effizient genutzt werden, um den Prozess als solchen kostengünstig zu gestalten. Eine genaue Kenntnis über das eigene Werkzeug Laser ist die Voraussetzung. Die zur Verfügung stehenden Messgeräte im Bereich der Laserstahlcharakterisierung stoßen hierbei immer wieder an die natürlichen Grenzen der eingesetzten Materialien. Steigende Laserleistung in Kombination mit kleiner werdenden Strahlgeometrien reizen das Limit der Zerstörschwelle optischer Grenzflächen aus. Thermische Effekte transmittierender, optischer Komponenten innerhalb der Messgeräte, beispielsweise im Bereich der Abschwächung, können das Messergebnis beeinflussen.

Der FocusMonitor FM+ ist, als etabliertes Messgerät in der Industrie, für Leistungsdichten bis 10 MW/cm^2 einsetzbar. Als physisch, abtastendes System nimmt er unter den Kaustikmessgeräten eine Sonderstellung ein. Für eine Messung bei 1 kW Laserleistung und $100 \mu\text{m}$ Strahldurchmesser stößt man mit diesem Gerät allerdings an Belastungsgrenzen. Die Frage ist, welche Möglichkeiten bieten sich für Messungen im Bereich höherer Leistungsdichten noch, wenn wir bei zukünftigen Anwendungen in der Regel von höheren Leistungsdichten ausgehen?

Im Zuge der Präsentation soll auf die bestehenden Alternativen zur Charakterisierung bei hoher Leistung eingegangen werden. Zudem möchte die PRIMES GmbH neue Wege aufzeigen, um Prozesse im Hochleistungsschneiden, Bohren und Schweißen zuverlässig zu qualifizieren.



Bild 1: Focus Monitor FM+

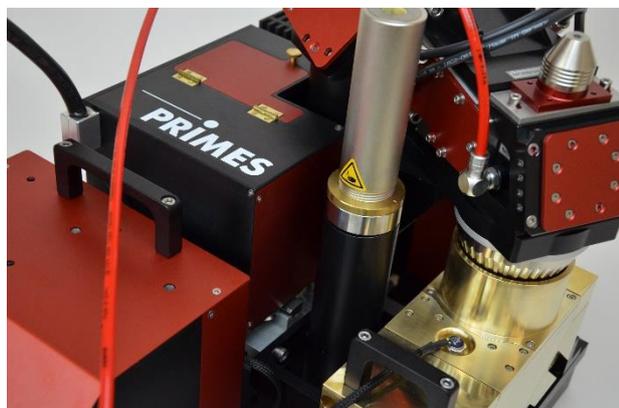


Bild 2: HighPower - MSM - HighBrilliance

Zusammenfassung

Die Entwicklungen im Bereich der industriellen Laser stellt die Messtechnik vor immer neue Herausforderungen. Wie lassen sich Systeme mit hohen Leistungsdichten möglichst einfach, schnell, genau und kostengünstig qualifizieren? Gibt es eine universelle Lösung, welche Messmittel stehen zur Verfügung? Die PRIMES GmbH möchte im Rahmen der 11. Mittweidaer Lasertagung neue Entwicklungen für die Charakterisierung leistungsstarker Systeme vorstellen. Wir freuen uns im Rahmen der Tagung mit Ihnen Details und zukünftige Entwicklungen für die Laserstrahlvermessung im industriellen Umfeld zu diskutieren.

Sekundäremissionen bei der Ultrakurzpulsbearbeitung

Roswitha Giedl-Wagner, Michael Prasser, Markus Brand
GFH GmbH, Großwalding 5, 94469 Deggendorf

Ultrakurzpuls-Laser sind ein vielseitiges und präzises Werkzeug für eine hochpräzise Bearbeitung vielfältiger Bauteile aus nahezu beliebigen Materialien. Pro Puls wird ein definiertes Volumen verdampft, und die hohe Pulswiederholrate ermöglicht akzeptable Bearbeitungszeiten. Der Wärmeeintrag kann über eine angepasste Prozessführung minimiert werden. Die Bestrahlungsstärken, bei denen bearbeitet wird, liegen aufgrund der kurzen Pulsdauern im Femto- und Pikosekundenregime bei 10^{12}W/cm^2 und höher. Steigende mittlere Leistungen der UKP-Laser eröffnen neue Betätigungsfelder. Im praktischen Einsatz der Lasersysteme zur Materialbearbeitung entstehen dabei Sekundäremissionen, zum einen die Partikelemissionen mit Partikelgrößen deutlich unter $1 \mu\text{m}$ und zum anderen eine laserinduzierte ionisierende Strahlung mit Photonenenergien $> 5 \text{keV}$. Ergebnisse aus Untersuchungen zu diesen Emissionen bei der Bearbeitung einiger ausgewählter Materialien und die daraus resultierenden Maßnahmen werden in diesem Beitrag vorgestellt.

Ultrashort pulse lasers are a versatile and precise tool for high precision machining of diverse work pieces made from almost any material. Each pulse vaporises a defined volume, and the high pulse repetition rate enables acceptable machining times. The heat input may be minimised by a customised process strategy. The irradiance used for machining lie in the range of 10^{12}W/cm^2 and higher due to the short pulses in the range of femto and pico seconds. An increasing average power of the ultrashort pulse lasers opens up new fields of activity. In the practical use of the laser systems for the machining of material secondary emissions arise, one being the particle emission with particle sizes $< 1 \mu\text{m}$ and the other one being the laserinduced ionising radiation with photon energies $> 5 \text{keV}$. Results from investigations on these emissions during machining of selected materials and the resulting measures are presented in this article.



Abbildung 1: Verwendete Messgeräte für Partikelmessung: TSI 3910 Nanoscan und TSI 3330 Optical Particle Sizer

Ultrashort pulsed laser surgery for colorectal cancer treatment

Rainer Beck¹, Thomas Maisey², Mike Shires³, David Jayne², Duncan Hand¹,
Jonathan Shephard¹

1. Institute of Photonics and Quantum Sciences, Heriot-Watt University, Edinburgh, EH14 4AS, UK
2. Leeds Institute of Medical Research, University of Leeds, Leeds, LS9 7TF, UK
3. Leeds Institute of Cancer and Pathology, University of Leeds, Leeds, LS9 7TF, UK

The successful colonic epithelial laser ablation by means of picosecond laser pulses is presented as a potential alternative to overcome limitations of conventional diathermic techniques in terms of precision and thermal damage. The laser enables a precise mucosal resection of cavities with comparable thickness to early stage colorectal cancer. Robust process parameters are demonstrated for a wavelength of 1030 nm and 515 nm that enable an accurate control of the ablation depth by means of the pulse energies. The corresponding histology sections exhibit in both cases only minimal collateral thermal damage and tissue denaturation.

The surgical treatment of early stage colorectal cancer is typically based on diathermy and electrocautery tools. They imply restraints on precision and the risk of collateral thermal damage to the healthy tissue. As a potential alternative to mitigate these limitations, we present the successful colonic epithelial laser ablation by means of picosecond laser pulses. Ultrafast laser pulses with high intensity offer the distinct advantage of nonlinear absorption processes and enable a predominately non-thermal ablation regimen with greatly improved surgical precision.

The laser ablation experiments are carried out using a commercially available picosecond laser on ex vivo healthy pig intestine and cancerous mouse intestine. The laser beam is focused onto the tissue and scanned across its surface by means of a galvanometer scanhead. Routine operations for histopathology and optical surface profilometry are used to analyse the outcome of the laser ablation. The laser enables a precise mucosal resection of cavities with comparable thickness to early stage colorectal cancer. Robust process parameters are demonstrated for a wavelength of 1030 nm and 515 nm, which enable an accurate control of the ablation depth by means of the pulse energies. The corresponding histology sections exhibit only minimal collateral thermal damage and tissue denaturation. For increased laser repetition rates, more advanced scanning strategies need to be applied for a well-defined and efficient tissue removal.

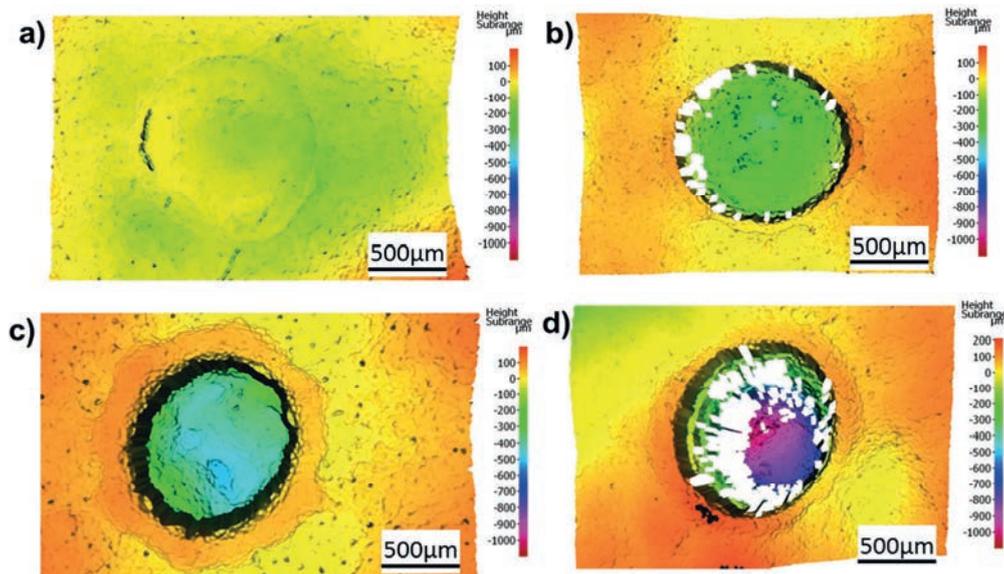


Fig. 1 Surface profiles for laser resection of healthy pig intestine at 20 kHz repetition rate for a constant laser fluence and different scanning strategies. The ablation rate is strongly dependent on the scanning strategy. The white areas in d) are missing data points due to the high gradient of the ablated cavity.

Lasermikrobearbeitung für medizintechnische Produkte

Leipe Peter

SITEC Industrietechnologie GmbH, Bornaer Straße 192, 09114 Chemnitz

Als berührungsloses Werkzeug hat sich der Laser seit vielen Jahren in der Bearbeitung unterschiedlichster Werkstoffe und als Behandlungswerkzeug wie dem „Augenlasern“ längst etabliert. Nicht nur weil durch Lasertechnologien herkömmliche Bearbeitungsprozesse effizienter gestaltet werden können, sondern auch die Herstellung und Bearbeitung neuer Produkte erst möglich wurde. Seit über 25 Jahren steht der Name SITEC für Technologieführerschaft in der Lasermaterialbearbeitung. Insbesondere Ultrakurzpulslaser erlauben die Mikrolaserbearbeitung in den Verfahren Mikrobohren, Mikrostrukturieren und Mikroabtragen und Herstellung reproduzierbarer medizinischer Produkte, wie Membranen, Traumimplantate 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 die Möglichkeiten der Lasermikrobearbeitung insbesondere für medizinische Produkte sowie Maschinen- und Anlagenkonzepte made by SITEC für die Fertigung.

Femtosecond pulse laser structuring of plasma polymerized functional coating for biomaterial applications

Marie Yang, Holger Testrich, Klaus-Dieter Weltmann, Katja Fricke

Leibniz Institute for Plasma Science and Technology e.V. (INP), Felix-Hausdorff-Str.2, 17489 Greifswald

Surface modification of biomaterials aims to improve the biocompatibility of surfaces and enables the adjustment of specific physico-chemical properties desired for biomedical application. The combination of ultra-short pulse laser and cold plasma surface processing induces various physical and/or chemical changes without inducing detrimental thermal effects in the material during the process. The current study presents a two-step approach combining both technologies. A plasma polymer film deposited on Ti6Al4V substrates followed by a subsequent femtosecond pulse laser structuring of the coating is conducted. Laser-induced changes on the plasma-polymerized layer are analyzed in terms of topography, surface chemistry, wettability, coating stability and biocompatibility.

Grade 5 titanium is widely employed for biomedical applications. It offers excellent mechanical properties such as anticorrosion and wear-resistance good biocompatibility and chemical stability. Despite having such advantageous characteristics, its surface properties must be improved to modulate cell response. A method for an appropriate surface aimed at an optimized cell adhesion is to introduce nitrogen- and oxygen-bearing functional groups onto the surface leading to a more hydrophilic surface with an improved protein and cell adhesion. Altering the morphology is also necessary to achieve the desired interactions between the surface material and cells. Thus, by generating surface structures increases the roughness and induces changes in the surface chemistry that can strengthen cell attachment. Consequently, proper physical and chemical changes are required to improve and achieve suitable biological surface properties.

For this purpose, thin polymer films enriched in functional groups were deposited on Ti6Al4V substrates by means of an atmospheric pressure plasma jet. The plasma device is composed of an inner capillary made of aluminium oxide and an outer glass tube surrounded by two ring electrodes connected to a power supply operating at a RF frequency of 13.56 MHz. The plasma is ignited by using argon. A mixture of nitrogen and a hydrocarbon based-precursor is introduced into the argon plasma through the inner capillar. A femtosecond pulse laser was employed to structure the plasma polymerized layer by focusing the laser beam onto the surface at the focal point via a scanner (100-mm focal length). Different patterns were generating by varying the laser power, pulse energy, pulse repetition rate and scan speed.

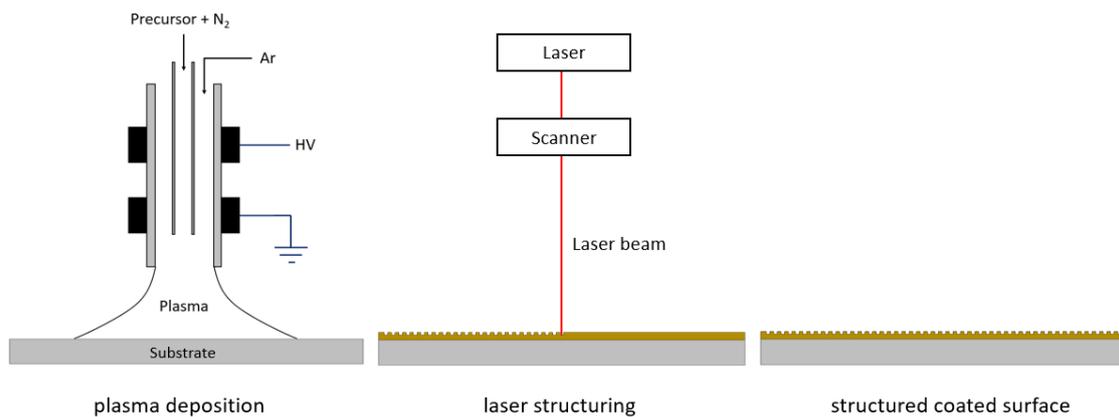


Figure 1: Schematics of the plasma deposition process and laser structuring process on the coating

This study is conducted within the growth core MikroLas – surfaces shaped by photonics supported by the Federal Ministry of Education and research in Germany according to the code supports 03WKCU2A and 03WKCU3B.

Mikroporen auf Implantat-Material mit ultrakurzen Pulsen im Burst Modus

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

Die Erzeugung von charakteristischen Porenstrukturen auf metallischen Implantatoberflächen wird in dieser Arbeit vorgestellt. Für die Porenerzeugung wird eine Laserstrahlquelle im nahen infraroten Bereich mit ultrakurzen Pulsen im Burst Modus verwendet. In Abhängigkeit von der Fluenz und von der Pulsanzahl im Burst werden Strukturen erzeugt, um die Stukturtiefe, die Oberflächenrauheit und die Stöchiometrie zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Porenstruktur nur innerhalb eines bestimmten Parameterbereichs, abhängig von der Fluenz und der Anzahl der Pulse im Burst, entstehen kann. Durch eine energiedispersive Röntgenstrahlanalyse wird demonstriert, dass die chemische Zusammensetzung der Legierung annähernd gleich bleibt. Vergleichbare Referenzen belegen, dass die erzielbare Porengröße die Osseointegration des Implantats verbessern können.

The generation of characteristic pore structures on metallic implant materials is presented in this work by using ultrashort pulsed laser radiation in burst mode. Depending on the fluence and the number of pulses in the burst, structures are generated to determine the depth of the structure, the surface roughness and the stoichiometry. The results feature that the pore formation can only achieve within a certain parameter range, depending on the fluence and the number of pulses in the burst. An energy-dispersive X-ray analysis demonstrates that the chemical composition of the alloy remains approximately the same. Comparable references prove that the achievable pore size can improve the osseointegration of the implant.

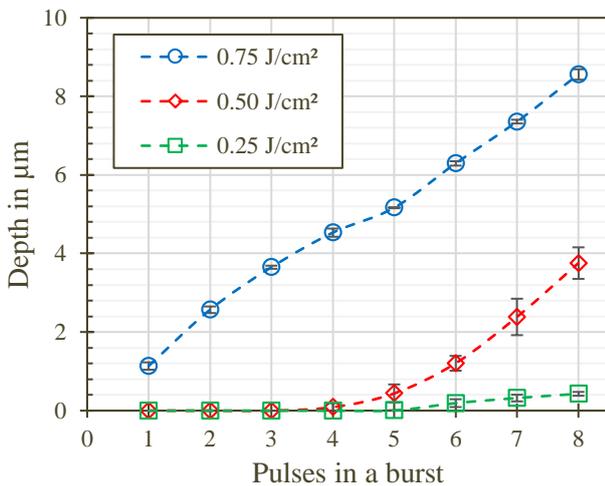


Abb. 1: Strukturtiefe der im Multiburst erzeugten Strukturen mit 10 Überfahrten in Abhängigkeit von der Fluenz und von der Pulsanzahl im Burst

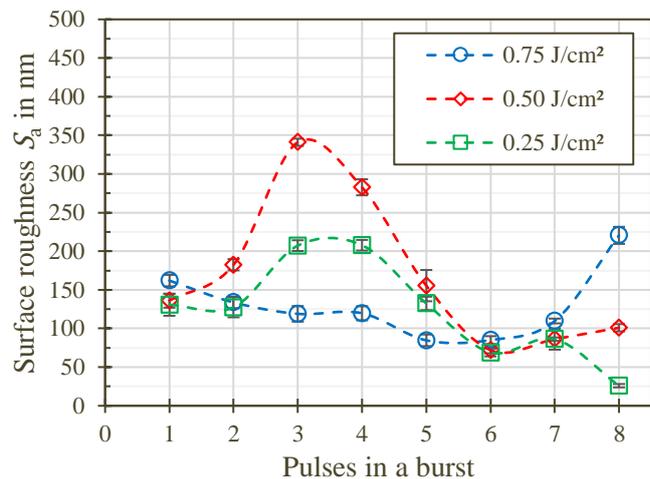


Abb. 2: Oberflächenrauheit der im Multiburst erzeugten Strukturen mit 10 Überfahrten in Abhängigkeit von der Fluenz und von der Pulsanzahl im Burst

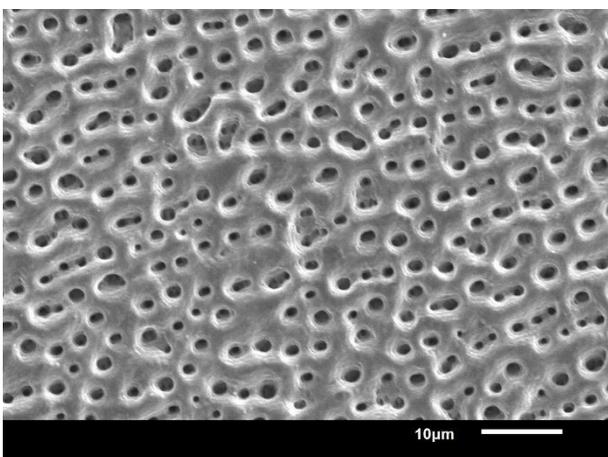


Abb. 3: REM-Aufnahme der erzeugten Poren auf einer CoCrMo-Legierung mit einer Fluenz von 0,5 J/cm² pro Puls und vier Pulsen im Burst

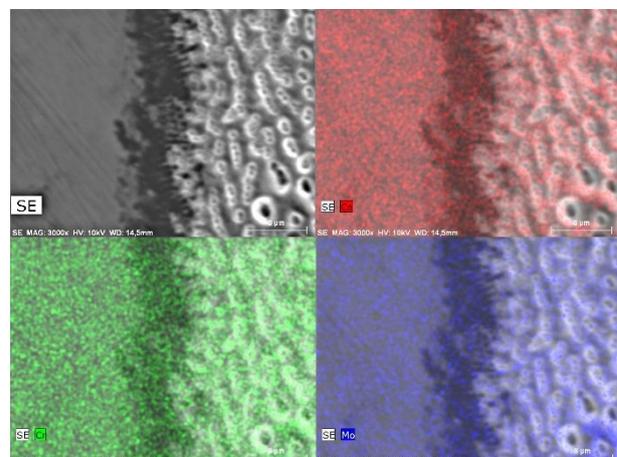


Abb. 4: Qualitative Darstellung der energiedispersiven Röntgenstrahlanalyse. Die Farbverteilung repräsentiert die Konzentrationsverteilung der einzelnen Legierungspartner zum Referenzbild oben links.

Laserpulsabscheidung (PLD) dünner Schichten und Schichtsysteme am Laserinstitut Hochschule Mittweida

Steffen Weißmantel

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Nach einem kurzen Überblick über die 30-jährige Historie der Erzeugung dünner Schichten mittels PLD am Laserinstitut Hochschule Mittweida werden aktuelle Ergebnisse zu superharten Kohlenstoff- (ta-C-) Schichten für Verschleißschutzanwendungen präsentiert. Insbesondere wird ein patentiertes Verfahren vorgestellt, mit dem es gelingt, mehrere Mikrometer dicke spannungsfreie ta-C-Schichten mit Härten von 65 - 70 GPa und geringer Rauheit abzuscheiden. Die Abhängigkeit der Schichteigenschaften von den Beschichtungsparametern sowie die Optimierung der Haftfestigkeit auf verschiedenen Substratmaterialien werden diskutiert und es wird anhand der Ergebnisse von Praxistests gezeigt, dass die Schichten ein außerordentliches Potenzial für industrielle Anwendungen besitzen. Eine erste industrielle Beschichtungsanlage, die in Zusammenarbeit mit einer Firma entstand und im Einsatz ist, wird ebenfalls vorgestellt. Abschließend wird auf Untersuchungen zur Erzeugung von Mehrschichtsystemen bestehend aus alternierend superharten und relativ weichen Kohlenstoffschichten eingegangen, die auf der Grundlage ihrer besonderen mechanischen Eigenschaften weitere Verbesserungen hinsichtlich des Einsatzes für spezielle Anwendungen erwarten lassen.

After a brief overview of the 30-year history of the production of thin layers using PLD at Laserinstitut Hochschule Mittweida, current results on super-hard carbon (ta-C) films for wear protection applications are presented. In particular, a patented process is presented which allows the preparation of several micrometers thick stress-free ta-C layers with hardnesses of 65 - 70 GPa and low roughness. The dependence of the coating properties on the coating parameters as well as the optimization of the adhesion on different substrate materials are discussed. The results of practical tests show that the layers have an extraordinary potential for industrial applications. A first industrial coating line, which was developed in collaboration with a company and is in use, is also presented. Finally, investigations on the preparation of multi-layer systems consisting of alternating super-hard and relatively soft carbon layers will be presented. On the basis of their particular mechanical properties further improvements in terms of their use for specific applications can be expected.

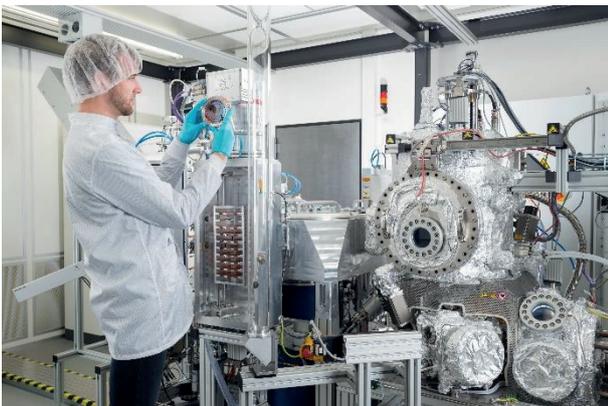


Bild 1: Wissenschaftlicher Mitarbeiter Johannes Maus an der neuesten PLD-Anlage.



Bild 2: Ausgewählte Werkzeuge sowie eine Hüftgelenkprothese, die mit ta-C beschichtet wurden.

Pulver- und Prozessuntersuchung für die generative Fertigung von Edelstahlbauteilen mittels Mikro-SLM

Julian Drechsel, Martin Erler, und Horst Exner
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Anhand mehrerer Versuchsreihen, die mit dem neu entwickelten Verfahren des Selektiven Lasermikroschmelzens (Mikro-SLM) durchgeführt wurden, wird die Rakelbarkeit von Edelstahlpulver unterschiedlicher Korngröße untersucht. Ziel der Untersuchung war es, die Prozessstabilität für die Herstellung von hochaufgelösten Bauteilen zu verbessern.

Das am LHM neu entwickelte Selektive Lasermikroschmelzen (Mikro-SLM) ist eine Weiterentwicklung des bereits seit mehreren Jahren in der Industrie etablierten „makroskopischen“ Selektiven Laserschmelzens (SLM). Besonderheit ist dabei die Verwendung von feineren Pulverkorngrößen im Mikrometerbereich ($d_{90} < 10 \mu\text{m}$) und eines geringeren Fokusbereichs ($d_0 = 26 \mu\text{m}$). Dadurch lassen sich filigranere Bauteile mit Strukturauflösungen von unter $50 \mu\text{m}$ generieren. Da Pulver in dem Korngrößenbereich jedoch schlechte Fließeigenschaften aufweisen, liegt die Herausforderung darin, reproduzierbare und homogene Pulverschichten aufzurakeln. Hierzu kommt ein neu entwickelter Beschichter zum Einsatz. Im Rahmen der Nachwuchsforschungsgruppe EilaSax (gefördert durch den Europäischen Sozialfond „ESF“) wurde eine Parameterstudie und ein Vergleich der Rakelbarkeit zweier am Markt erhältlicher Pulverkorngrößen $d_{90} < 10 \mu\text{m}$ und $d_{80} < 5 \mu\text{m}$ durchgeführt (Bild 1). Als Material wurde Edelstahl 316L verwendet. Die Analyse der Pulverschichten erfolgte mittels Kamera und 3D-Scanning und die Ergebnisse der Untersuchungen wurden diskutiert.

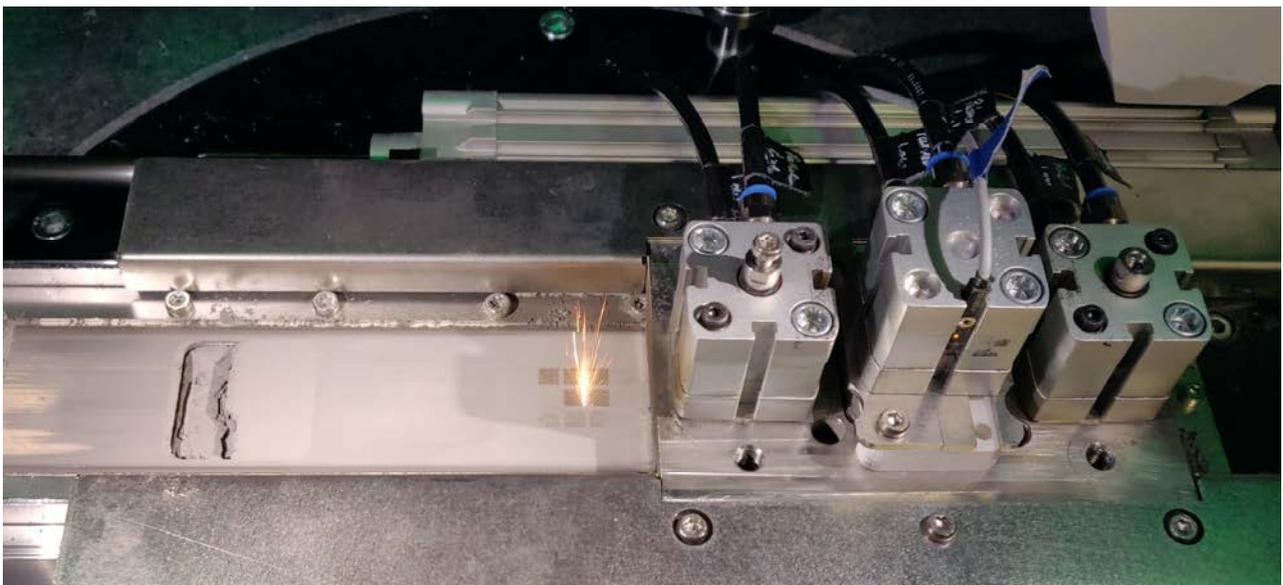


Bild 1: Prozess des Mikro-SLM mit Beschichter während der Bearbeitung

Hochrate-Bohren von Mikrolöchern in Silizium mittels UKP-Laserstrahlung

Andreas Gruner, Lucas Naumann, Jörg Schille, Udo Löschner
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Die Lasermaterialbearbeitung von Silizium, als Basismaterial für mikroelektromechanische Systeme, ist inzwischen als eine effektive Fertigungsmethode zur Erzeugung komplexer und präziser Mikrostrukturen bekannt. Insbesondere für die Fertigung von Mikroloch-Gitterstrukturen ist das Lasermikrobohren eine Alternative zu den bisherigen Fertigungsverfahren. In dieser Studie wird die Lasermikrobearbeitung zur Erzeugung von Durchgangslöchern in Silizium mit einer Materialstärke von 100 μm mittels Ultrakurzpuls-Laserstrahlung und hoher Pulswiederholfrequenz näher untersucht. Es wurden wesentliche Prozessparameter wie Fluenz und Pulswiederholfrequenz variiert um die für den Prozess optimalen Parameter für eine qualitativ hochwertige Bohrlochgeometrie bei möglichst minimaler Prozesszeit zu identifizieren. Dabei konnte gezeigt werden, dass mit steigender Pulswiederholfrequenz und einer daraus resultierenden geringeren Fluenz die Prozesszeit aufgrund von Wärmeakkumulation signifikant sank. Erstaunlicherweise führte dieser Effekt gleichzeitig zu einer deutlich höheren Bohrlochqualität.

Laser processing of silicon, as the most important material for MEMS, is commonly known and accepted as an effective manufacturing method to generate complex and precise microstructures. Especially for the fabrication of micro hole grids, high-rate laser micro drilling is an alternative to the standard processing techniques. This paper discusses laser percussion drilling of silicon using ultrashort laser pulses with the aim to drill through a material thickness of 100 μm . Main process influencing parameters, such as pulse repetition frequency and laser fluence were varied to evaluate optimal parameter sets for a high quality bore hole geometry and high throughput. It could be shown, that with increasing pulse repetition frequency and thus lower laser fluence the drilling time decreases significantly. This might be induced by thermal accumulation. Surprisingly this effect results in a higher quality of the bore hole geometry without considerable debris at both, hole entrance and exit.

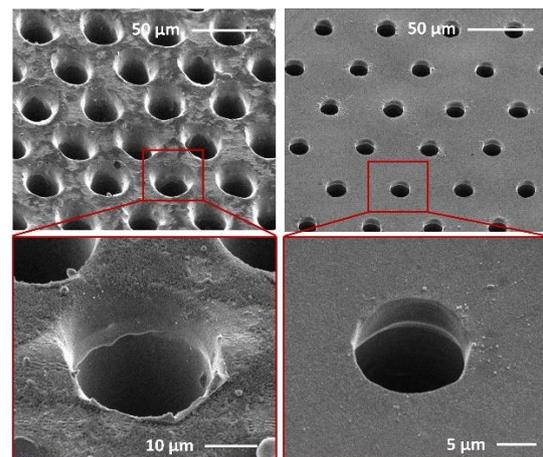
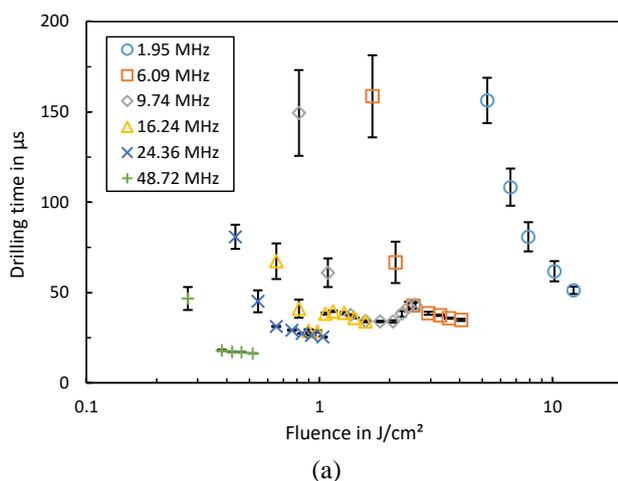


Bild 1: (a) Prozesszeit zum Durchbohren einer 100 μm dicken Siliziumprobe in Abhängigkeit der Fluenz für verschiedene Pulswiederholfrequenzen (b) REM-Aufnahme der Ober- und Unterseite einer gefertigten Gitterstruktur; Parameter: $H_0 = 0,52 \text{ J}/\text{cm}^2$, $f = 48,72 \text{ MHz}$, Bohrlochabstand: 50 μm

Entwicklung neuer applikationsspezifischer Laserfertigungsverfahren für kleine und mittlere Unternehmen

Jens Hildenhagen, Sven Krause

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

Um aktuelle Lasertechnik für kleine und mittlere Unternehmen nutzbar zu machen, bedarf es teilweise der Entwicklung eigenständiger Fertigungsverfahren. Anhand von ausgewählten Umsetzungsbeispielen soll aufgezeigt werden, dass sich ein solcher Entwicklungsaufwand auch für Nischenanwendungen lohnt und innovative Lösungen neben der Steigerung von Fertigungsqualität und Wirtschaftlichkeit auch Alleinstellungsmerkmale generieren können.

Moderne Lasertechnik besitzen potentiell zahlreiche Optionen um die Qualität und/oder Wirtschaftlichkeit für Fertigungsverfahren zu steigern oder neuartige Verfahren zu ermöglichen. Aktuelle Entwicklungen bei Strahlquellen, Strahlformung und Strahlführung fließen primär in Verfahren mit großer Verbreitung oder hohem Wertschöpfungsgrad. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) können nur partizipieren, wenn sie standardisierte Fertigungsmaschinen- und Verfahren nutzen. Eine Anpassung oder gar Neuentwicklung von Laserfertigungsverfahren auf ihre Bedürfnisse findet in der Regel nicht statt, obwohl hier ein großes Innovationsfeld besteht welches zahlreiche Umsetzungschancen besitzt und den Unternehmen helfen kann sich im nationalen und internationalen Wettbewerb zu behaupten.

Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen können und sollten hier interessensneutral beraten, Umsetzungsmöglichkeiten aufzeigen, spezifische Entwicklungen unterstützen oder durchführen und abschließend bei der Adaption helfen. Das Laserzentrum der FH Münster folgt diesem Auftrag insbesondere in der Grenzregion Westfalen / Niederlande und wird dabei durch das INTERREG Programm der EUREGIO gefördert.

Anhand von ausgewählte Beispiele mit Darstellung der Ausgangssituation, Rahmenbedingungen und dem Weg der Umsetzung sollen aufgezeigt werden, wie solche applikationsspezifischen Laserfertigungsverfahren aussehen können:

- Selektiver Abtrag von Isolationsschichten auf Verbundmaterial
- Entwicklung mikrofluidischer Komponenten mit variablen Eigenschaften
- Gezielte Modifikation von Keramik- und Kunststoffoberflächen

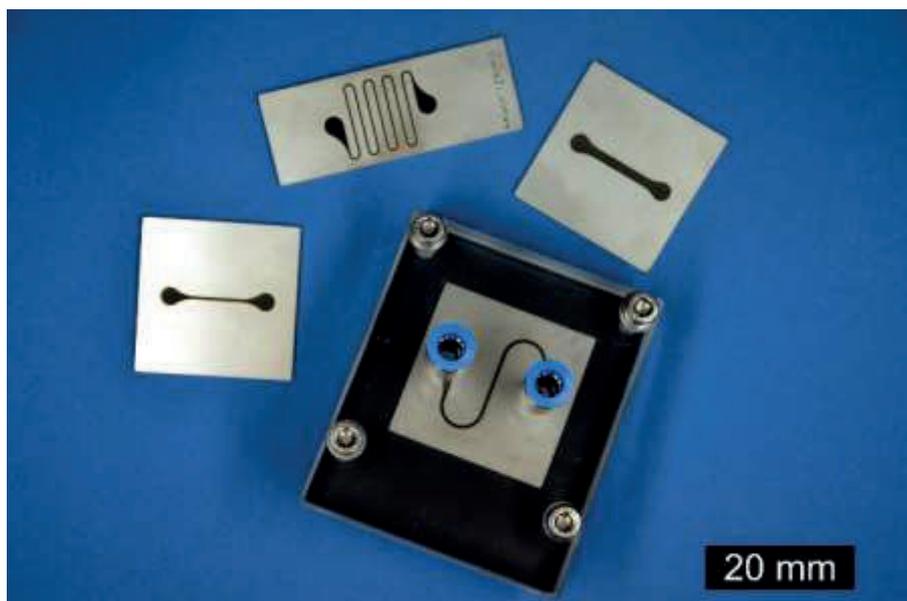


Bild 1: Mikrofluidikkanäle mit funktionalisierten Eigenschaften

Charakterisierung von Keramik-Polymer-Mischungen für die individualisierte Implantatherstellung mittels Stereolithografie

Andreas Hopf, Michel Layher, Denis Just, Jens Bliedtner
Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, D-07745 Jena

Um den Anforderungen der High-Tech-Industrie gerecht zu werden, müssen Anlagen für die additive Fertigung eine kontinuierliche Weiterentwicklung erfahren. Dies umfasst sowohl die Anlagentechnik selbst, als auch die Entwicklung neuer Materialien. Für die Herstellung von endkonturnahen Keramiktteilen ist die Stereolithographie gegenüber anderen additiven Fertigungsverfahren nach wie vor die vielversprechendste Technologie. Die Aushärtung mittels exakter Laserstrahlbelichtung besitzt das Potential, Bauteile mit hochwertiger Geometrie und Konturtreue zu erzeugen. Speziell entwickelte Materialien mit keramischen Füllstoffen ermöglichen die Generierung voxelbasierter Materialgradienten. Dazu ist es zunächst erforderlich die Wechselwirkung zwischen UV-Laser und verschiedenen Keramik-Polymer-Mischungen zu untersuchen. Hierbei werden Belichtungsvorgänge an Einzelspuren und Flächen durchgeführt, um Aussagen über das Aushärteverhalten der Werkstoffe zu erhalten. Dadurch können Rückschlüsse auf die Prozesseigenschaften des Gesamtsystems gezogen werden, wodurch die Grundlage zur additiven Fertigung von dreidimensionalen Körpern gelegt wird.

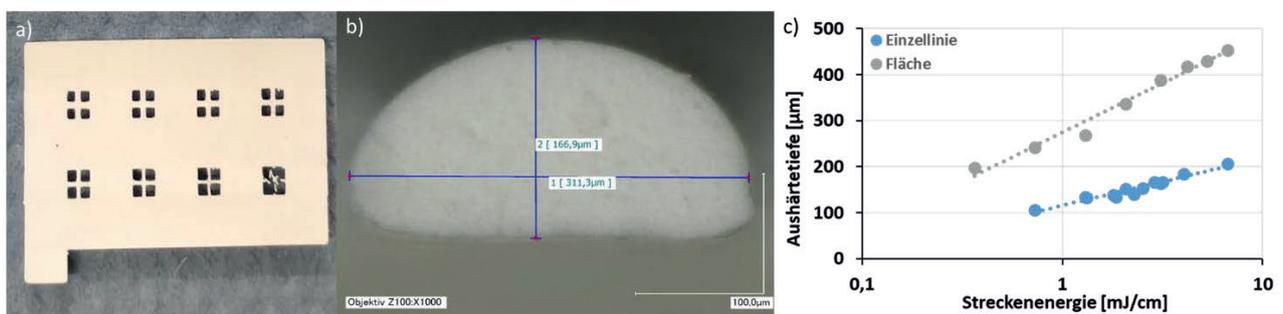


Abbildung 1: Belichtungsuntersuchungen a) ausgehärtete Fläche mit Gitterstruktur b) Einzelspur im Profil c) Darstellung der Aushärtetiefe in Abhängigkeit der akkumulierten Streckenenergie

Die vorliegende Veröffentlichung präsentiert Ergebnisse des vom BMBF geförderten Projektes MultiBeAM (FKZ: 03ZZ0209L). Weitere Informationen erhalten Sie unter www.agent3d.de



Zeitaufgelöste Visualisierung von Ultrakurzpuls-Laserprozessen mit schneller Strahlableitung

Sebastian Kraft, Jörg Schille, Stefan Mauersberger, Lutz Schneider, Udo Löschner
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Der Einsatz von modernen Laserstrahlquellen in Verbindung mit ultraschneller Strahlableitung macht die Hochrate-Lasermaterialbearbeitung zu einem immer wichtigeren Forschungsfeld. Jedoch bringen die hohen Leistungen und/oder Pulswiederholraten neue Effekte, wie z.B. die Abschirmung der nachfolgenden Laserpulse durch die von der vorherigen Bestrahlung ausgelösten Ablationswolke, bei der Bearbeitung mit sich. Zur Prozessanalyse wird ein Pump- und Probe-Aufbau gezeigt, der zur zeitaufgelösten Visualisierung von UKP-Laserprozessen eingesetzt wird. Die Visualisierung des Gebietes oberhalb der mit Laserstrahlung beaufschlagten Materialoberfläche wird durch fokussierte Schattenfotografie untersucht. Dazu werden verschiedenen Laserstrahlableitungen verwendet, um Hochrate-Laserprozesse möglichst genau zu reproduzieren und zu analysieren.

The usage of modern laser beam sources combined with ultrafast beam deflection turns the high rate laser processing in a highly significant field of research. But the high average laser power and/or high repetition rates involve new effects, such as the impact of the ablation plume of the following laser pulses, while the processing progress. Therefore a pump-probe set-up is presented to visualise the effects above the laser irradiated sample surface. To observe the laser-induced ablation and plasma plume focused shadowgraphs are taken at different times while the high rate laser processing. For the analysis different laser beam deflection units will be used to reproduce the laser processing most accurately.

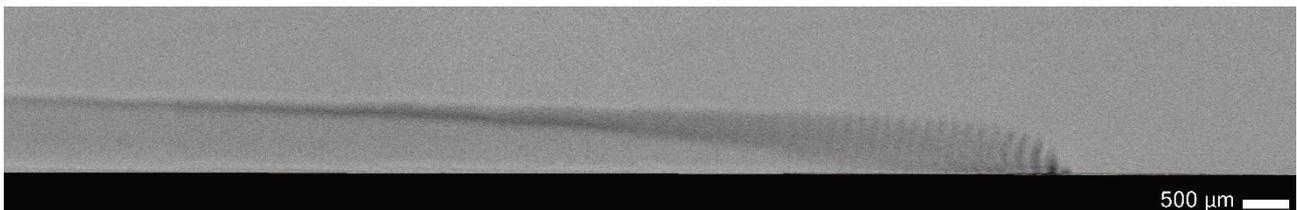


Abbildung 1: Schattenfotografie während der UPK-Bearbeitung von Edelstahl bei einer Pulswiederholrate von $f_P = 2$ MHz und einer Scangeschwindigkeit $v_{scan} = 300$ m/s.

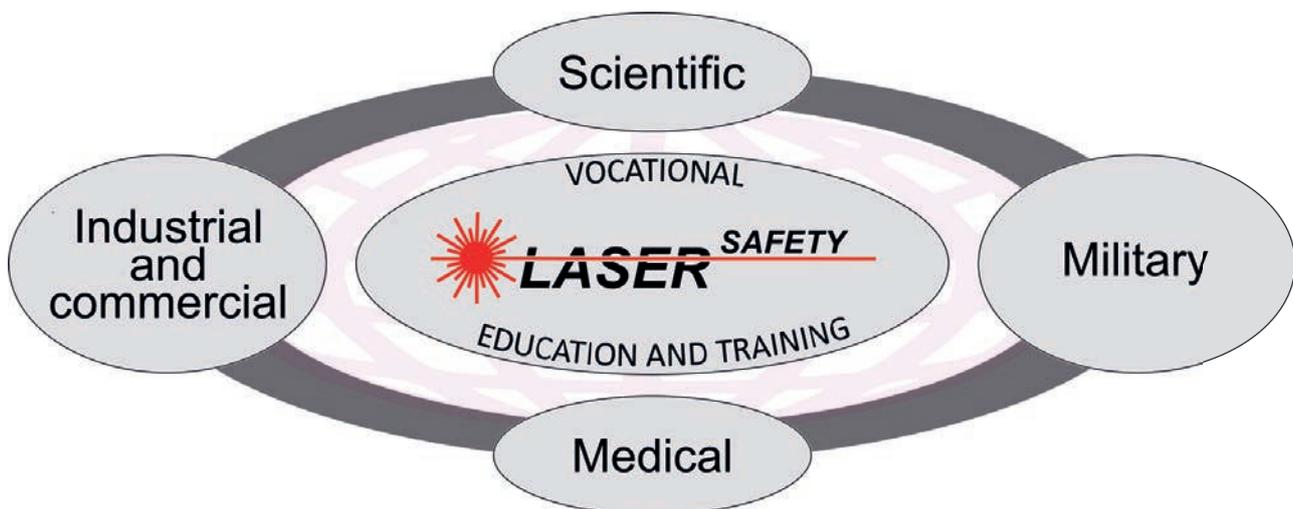
Laser safety training needs analysis in VET

Lyubomir Lazov, Erika Teirumnieka, Edmunds Teirumnieks, Antons Pacejs,
Mihails Kijasko

Faculty of Engineering, Rezekne Academy of Technologies, 115 Atbrivosanas aleja, LV-4601 Rezekne,
Latvia

Abstract – With the development of laser sources in the last 59 years, the field of applications of lasers is developing as well. From vision correction to driving vehicles, from spaceflight to fusion, from material processing to presentation pointers, lasers are still finding their application in unexpected areas. It should be noted, that the lack of laser safety skills in the professions and sector bound up with lasers is already present and, unfortunately, reality. This paper presents a study of the needs analysis and current situation in the field of laser safety in several European countries (Bulgaria, Latvia, Germany, Romania and Hungary). As well as, identification of the main themes of the new modules for improving the knowledge and skills of the laser users on laser safety. The study is the first phase of a European Union + Erasmus + KA2 project - Collaboration for Innovation and Good Practice, title- "Web Based Laser Safety Models for Vocational Education / Training". Project is aimed at improving professional skills in the field of laser safety by developing, testing and validating innovative web-based training modules under the requirements of the norms and standards of the European Union.

Keywords: *Laser safety, needs analysis, vocational education and training, Erasmus+ programme K2.*



Ablation von Metallen und Silizium mit ultrakurzen Laserpulsen: Einfluss der Pulsdauer und der Wellenlänge

Peter Lickschat, Jörg Schille, Steffen Weißmantel

University of Applied Sciences Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida, Germany

Es werden Resultate präsentiert, die die Ablation von Stahl, Wolframkarbid und Silizium mittels ultrakurzen Laserpulsen mit Pulsdauern im Bereich von 200 fs bis 10 ps beschreiben. Dies wird exemplarisch in Fig. 1 am Beispiel von Stahl gezeigt. Zusätzlich zu der Pulsdauer wurden die Anzahl der Pulse, die Fluenz und die Wellenlänge bei den Experimenten variiert. Durch die Bestimmung der Ablationsdurchmesser der erzeugten Strukturen konnte die Ablationsschwelle des jeweiligen Materials als Funktion von der Anzahl der Pulse, der Pulsdauer und der Wellenlänge ermittelt werden. Es konnte festgestellt werden, dass die Ablationsschwellen für einen Einzelpuls gut mit dem theoretisch berechneten Werten [1] übereinstimmen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass der Inkubationseffekt [2] die Ablationsschwelle mit steigender Anzahl von Pulsen reduziert. In diesem Zusammenhang wurde der Inkubationsfaktor für die bearbeiteten Materialien bestimmt. Ein funktioneller Zusammenhang zwischen dem Ablationsvolumen und der effektiven Eindringtiefe der Energie wird in [3] aufgezeigt. Ausgehend von den in [3] präsentierten Gleichungen, wurde eine Regressionsrechnung durchgeführt, um die effektive Eindringtiefe als Funktion der Pulsdauer anhand der experimentell bestimmten Ablationsvolumina zu bestimmen. Die Berechnungen zeigen, dass Pulse mit einer kurzen Pulsdauer eine größere Eindringtiefe haben und damit mehr Material ablatieren als längere Pulse gleicher Energie. Zusammenfassend kann damit gesagt werden, dass die Abtragseffizienz mit kürzeren Pulsen zunimmt. Die ermittelten Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen weiterer Untersuchungen überein [4].

Results will be presented describing the ablation of material from steel, cemented tungsten carbide and silicon using ultrashort laser pulses with pulse durations in the range of 200 fs up to 10 ps. This is shown in Figure 1 for stainless steel. In addition to the pulse duration, the number of pulses, the fluence and the wavelength were varied. By determining the ablation diameter of the generated structures, the ablation threshold of the materials is calculated as a function of the number of pulses, the pulse duration and the wavelength. It turns out that the experimentally determined ablation thresholds for single-pulse ablation agree with the theoretical method according to [1]. Furthermore, it will be shown that the incubation effects described in [2] decreases the ablation threshold as the number of pulses increases. In this context, the incubation factors for the investigated materials were determined. A functional dependence between the ablation volume and the effective penetration depth is presented in [3]. Based on the equation presented there, a regression analysis is performed using the experimentally determined ablation volumes and the effective penetration depth is calculated as a function of the pulse duration. The results show that pulses with a short pulse duration induce a higher effective penetration depth and ablate more material per pulse than pulses with a comparatively long pulse duration. In conclusion, the efficiency of the ablation mechanism increases with the same pulse energy through the use of short pulses. The obtained results tend to agree with the results presented in other investigations [4].

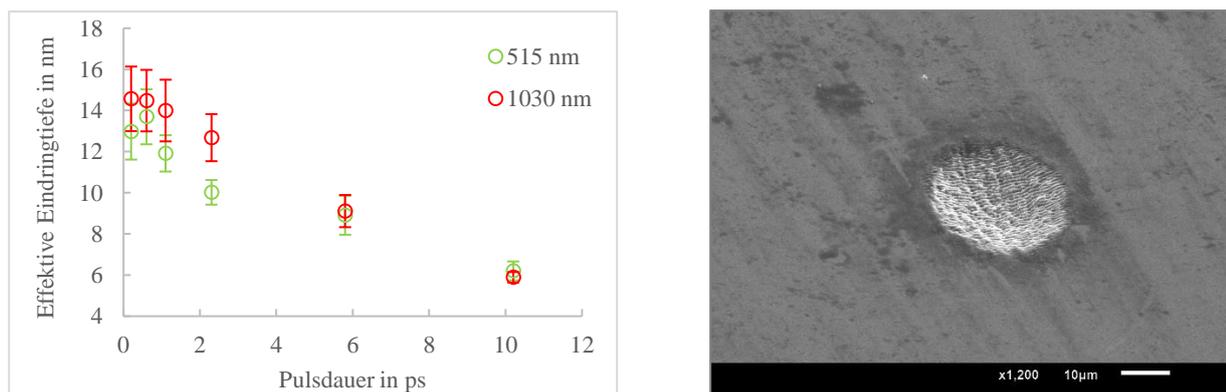


Fig. 1: Links: Effektive Eindringtiefe der Energie in Stahl als Funktion der Pulsdauer für 515 nm und 1030 nm. Rechts: Aufnahme einer in Stahl erzeugten Struktur mittels Rasterelektronenmikroskopie

References

- [1] S. Georgiou, in *Polymers and Light, Advances in Polymer Science*, Vol. 168 (Eds: T. K. Lippert), Springer. Berlin, Heidelberg 2004.
- [2] Y. Jee, M. F. Becker, R. M. Walser, *J. Opt. Soc. Am. B, JOSAB*, Laser-induced damage on single-crystal metal surfaces 1988, 5 (3), 648.
- [3] G. Raciukaitis, *JLMN*, Use of High Repetition Rate and High Power Lasers in Microfabrication 2009, 4 (3), 186.
- [4] R. Le Harzic et al., *Applied Surface Science*, Pulse width and energy influence on laser micromachining of metals in a range of 100 fs to 5 ps 2005, 249 (1-4), 322.

Untersuchung von laserpulsablatierten Tantal als Haftvermittler für den Einsatz von superharten Kohlenstoffschichten auf biomedizinischem Implantatmaterial

Johannes Maus¹, Simon Rupp¹, Patrick Matthes², Hagen Grüttner¹, Steffen Weißmantel¹

¹Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

²Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS, Technologie-Campus 3, 09126 Chemnitz

Das Ziel der Untersuchungen war es, eine Verbesserung der Schichthaftung von superharten Kohlenstoffschichten auf einer geschmiedeten CoCrMo-Legierung bei Verwendung von Tantal (Ta) als Haftsichtvermittler zu erreichen. Die CoCrMo-Legierung wird bevorzugt als Implantatmaterial beispielsweise für die Herstellung des Implantatschaftes und der artikulierenden Bereiche von Hüft-Endoprothesen (HTEP) eingesetzt. Hierfür wurde ein KrF-Excimerlaser mit einer Wellenlänge von $\lambda = 248$ nm zur Erzeugung des schichtbildenden Teilchenstromes durch Ablation von verschiedenen Festkörpertargets verwendet. Vor der Herstellung von verschleißmindernden Funktionsschichten wurde die Tantal-Phase in Abhängigkeit von der Laserpulsfluenz, der Substrattemperatur und der Ta-Schichtdicke mittels XRD analysiert. Die Ta-Schicht und dessen Materialphase wurden hinsichtlich einer guten Schichthaftung, einer minimalen Oberflächenrauheit sowie eine minimale Oberflächenbedeckung mit Partikulaten optimiert. Die Untersuchungsergebnisse wurden mit denen mittels DC-Magnetronspütern abgeschiedenen Ta-Schichten verglichen.

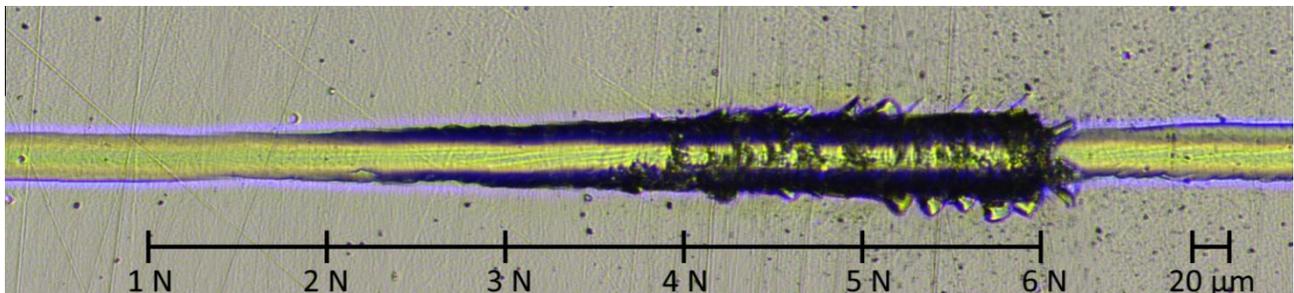


Bild 1: Nachweis der Haftfestigkeit mittels Scratchtest an einer 2 μ m dicken ta-C Schicht auf CoCrMo bei Verwendung von Tantal als Haftvermittler.

Modifizierte Aluminium-Oxidschichten

Silke Mücklich, Jeannette Grüning, Uwe Gieland, Peter Scheffler, Andreas Sedner
Westfälische Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2A, 08056 Zwickau

Die Anodische Oxidation von Aluminium ist ein Verfahren, welches bereits seit etwas mehr als 100 Jahren für den Verschleiß- und Korrosionsschutz von Aluminiumbauteilen genutzt wird. Besonders interessant ist dabei der zellenartige Aufbau der entstehenden Oxidschicht mit einer hohen Dichte an Porenkanälen mit Durchmessern zwischen 10 und 30 nm. In jüngster Vergangenheit rückt dieser poröse Schichtaufbau wieder in den Fokus verschiedener Forschungsprojekte: Ganz allgemein zusammengefasst zielen die unterschiedlichen Forschungsansätze auf eine Nutzung der Porenstruktur für eine Schichtfunktionalisierung ab. Das Forschungsprojekt „Anodisch oxidiertes Aluminium als Formwerkzeug für nanostrukturierte Antireflexionsschichten“ hatte das Ziel, eine deutliche Preisreduktion bei der Erzeugung von nanostrukturierten Antireflexionsschichten zu erforschen. Der Forschungsansatz besteht darin, dass die relativ harte, poröse Oxidschicht Abdrücke in einem weichen Kunststoffsubstrat erzeugt, wodurch hierin eine Feinstrukturierung der Oberfläche im Nanometer-Bereich erhalten wird.

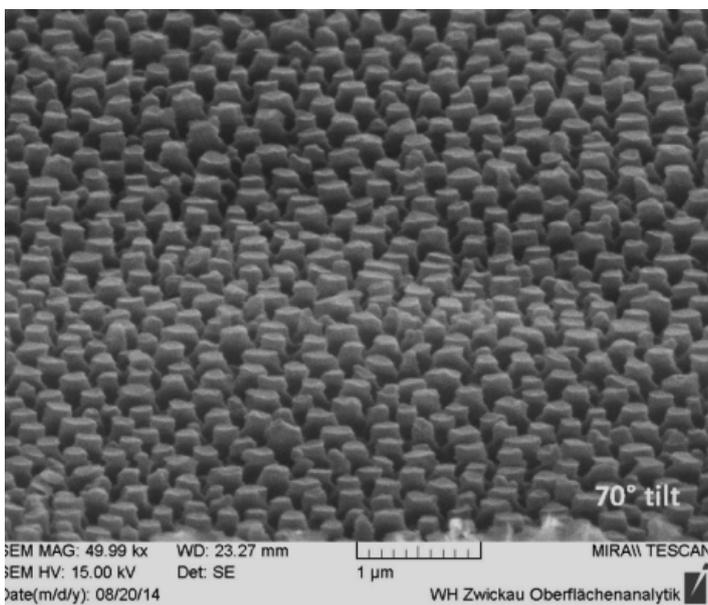


Bild 1: Porenabdrücke auf Kunststoffsubstrat

Simulation der optischen Antwort aufgrund von Höhenänderungen von angeregten Goldschichten nach Bestrahlung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung

Markus Olbrich, Theo Pflug, Philipp Lungwitz, und Alexander Horn
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648, Mittweida

Ein kombinierter Ansatz aus Modellierung der Thermo- und Hydrodynamik des Abtrages von dünnen Goldschichten ($d = 170$ nm, auf Glasssubstrat), induziert durch ultrakurz gepulste Pump-Laserstrahlung ($\tau_H = 40$ fs, $\lambda = 800$ nm), sowie der Modellierung der Strahlpropagation der Probe-Laserstrahlung ($\tau_H = 60$ fs, $\lambda = 440$ nm, $\theta = 60^\circ$) durch das komplette optische System mit Hilfe von rigorosen Berechnungsmethoden, zur Interpretation von gemessenen zeitlich und räumlich aufgelösten Änderungen des Reflexionsgrades mit Hilfe von Pump-Probe-Messtechnik, wird vorgestellt. Die simulierten relativen Änderungen des Reflexionsgrades werden mit den experimentellen Änderungen des Reflexionsgrades verglichen und diskutiert.

Um ein detailliertes Verständnis der Wechselwirkung ultrakurz gepulster Laserstrahlung mit fester Materie zu erhalten, muss ein kombinierter Ansatz aus ex situ Auswertung der erhaltenen Abtragsstrukturen, in situ zeit-aufgelöster Pump-Probe-Messtechnik [1] sowie Modellierung und Simulation der Wechselwirkung ultrakurz gepulster Laserstrahlung mit dem Material [2] angewandt werden. Dabei stellt sich insbesondere die Interpretation der mittels zeitaufgelöster Messtechnik erhaltenen Ergebnisse als herausfordernd dar, da die optische Antwort eine Überlagerung aus Änderung der dielektrischen Funktion und aus der geometrischen Änderung der Topologie darstellt. Die Modellierung muss daher Modelle zur Berechnung der thermophysikalischen Eigenschaften (Ungleichgewicht zwischen Elektronen- und Phononensystem, Temperaturfähigkeit, Dichte, Druck / Spannungen, u. w.), der resultierenden Bewegung des Materials, zur Kopplung der Änderung der thermophysikalischen Eigenschaften mit der Änderung der dielektrischen Funktion, sowie die Simulation der Strahlpropagation der Probe-Laserstrahlung durch das komplette optische System beinhalten.

Aus diesem Grund werden die Ansätze zur Simulation der Strahlpropagation der Probe-Laserstrahlung mit Hilfe eines kombinierten Ansatzes aus rigoroser Berechnung (Kirchhoffsches Beugungsintegral und Winkelspektrum ebener Wellen) [3] mit 3D Ray-Tracing dargestellt und erste Ergebnisse präsentiert. Als Eingangsparmeter der Simulationen zur Strahlpropagation dienen die Ergebnisse einer Zwei-Temperatur-Hydrodynamik (TTMHD) Simulation (Bild 1 *links*). Mit Hilfe der durchgeführten Berechnung der Strahlpropagation können die experimentell erhaltenen Ringstrukturen in der räumlich aufgelösten Änderung des Reflexionsgrades als Beugungs- und Defokussierungseffekte der Probe-Laserstrahlung an abgetragenem Material identifiziert werden (Bild 1 *rechts*).

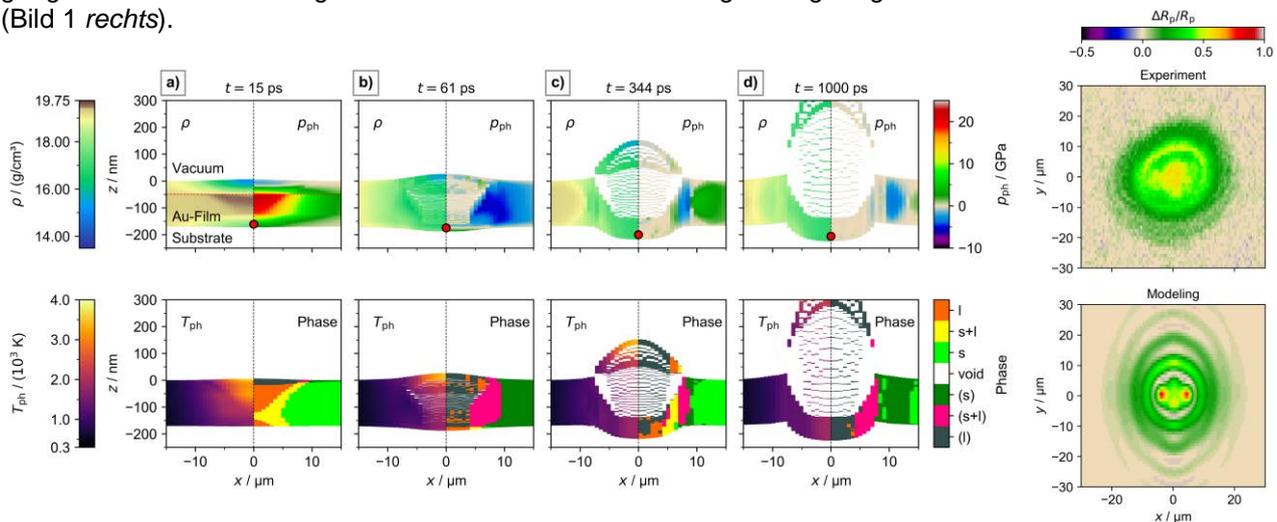


Bild 1: *Links* Mittels TTMHD-Simulationen berechnete thermophysikalische Parameter Dichte ρ , Druck p_{ph} und Temperatur T_{ph} des Phononensystems sowie des Aggregatzustandes (Phase) einer dünnen Goldschicht auf einem Glasssubstrat zu den Zeitpunkten a) 15 ps, b) 61 ps, c) 344 ps und d) 1000 ps nach der Anregung mittels ultrakurz gepulster Pump-Laserstrahlung ($\tau_H = 40$ fs, $\lambda = 800$ nm, $H_0 = 1.4$ J/cm²)
Rechts Vergleich von räumlich aufgelöster experimentell erhaltener Änderung des Reflexionsgrades $\Delta R_p/R_p$ mit der simulierten räumlichen Verteilung von $\Delta R_p/R_p$ aufgrund der veränderten Oberfläche zum Zeitpunkt 1000 ps; Parameter der Probe-Strahlung: $\tau_H = 60$ fs, $\lambda = 440$ nm, $\theta = 60^\circ$, parallele Polarisation

Referenzen

- [1] T. Pflug, J. Wang, M. Olbrich, M. Frank, A. Horn, Appl Phys A 124, 17572 (2018)
- [2] M.E. Povarnitsyn, N.E. Andreev, E.M. Apfelbaum, T.E. Itina, K.V. Khishchenko, O.F. Kostenko, P.R. Levashov, M.E. Veysman, Appl Surf Sci 258, 9480 (2012)
- [3] M. Olbrich, T. Viertel, T. Pflug, R. Ebert, A. Fischer, A. Horn, Appl Phys A 122, 219 (2016)

Comparison between front and rear side ablation of thin nickel-chromium films on transparent substrate using femtosecond laser radiation

Linda Pabst, Robby Ebert, Horst Exner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

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

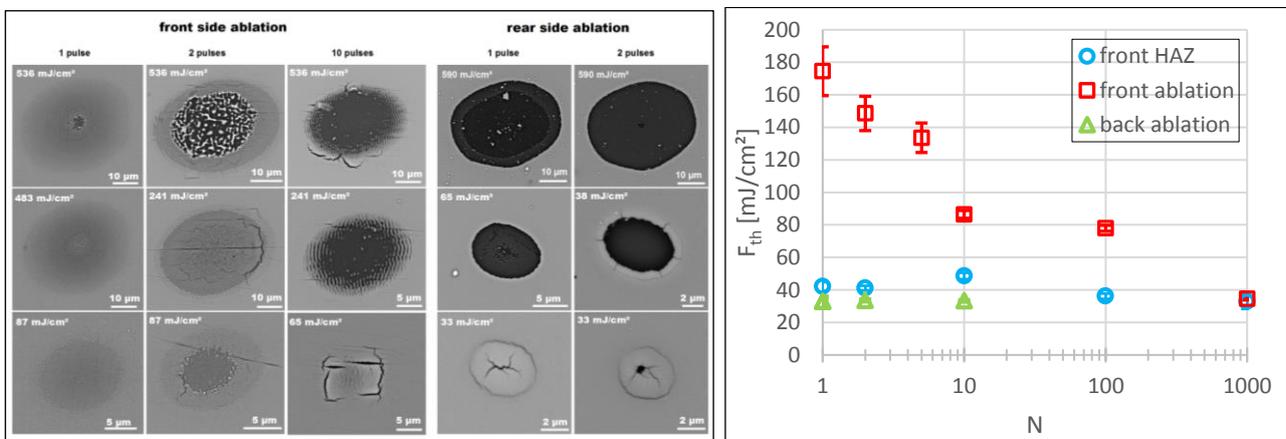


Figure 1: left) SEM images of front side and rear side irradiation morphologies and right) ablation threshold fluence as function of pulse number

Dynamik des komplexen Brechungsindex von Gold nach Anregung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung

Theo Pflug, Markus Olbrich, Philipp Lungwitz, Alexander Horn
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648, Mittweida

Die physikalischen Vorgänge bei der Materialbearbeitung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung werden durch Kombination von Anrege-Abfrage Messtechnik und Modellierung untersucht. Die Ellipsometrie ermöglicht die Messung der Änderung des komplexen Brechungsindex $\tilde{n} = n - ik$ des bestrahlten Materials als Folge der Anregung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung [1]. Dadurch können Rückschlüsse auf die Elektronen- und Phonondynamik während und nach der Anregung gezogen und somit die Wechselwirkung von Laserstrahlung mit Materie besser verstanden werden [2]. Der in dieser Arbeit vorgestellte experimentelle Anrege-Abfrage Aufbau ermöglicht örtlich, zeitlich und spektroskopisch aufgelöste Ellipsometrie, Reflektometrie und Schattenfotografie [3]. Anhand der gemessenen ellipsometrischen Parameter Δ und Ψ von Gold können der Brechungsindex n und der Extinktionskoeffizient k für ein effektives Medium oder ein Schicht- bzw. Gradientensystem rekonstruiert werden (Bild 1). Mit Hilfe dieser Parameter und deren Relaxationszeiten sollen Informationen über die thermophysikalischen Parameter wie Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität von Gold gewonnen werden, damit bislang in diesen kurzen Zeitskalen messtechnisch nicht zugängliche Größen bestimmt werden.

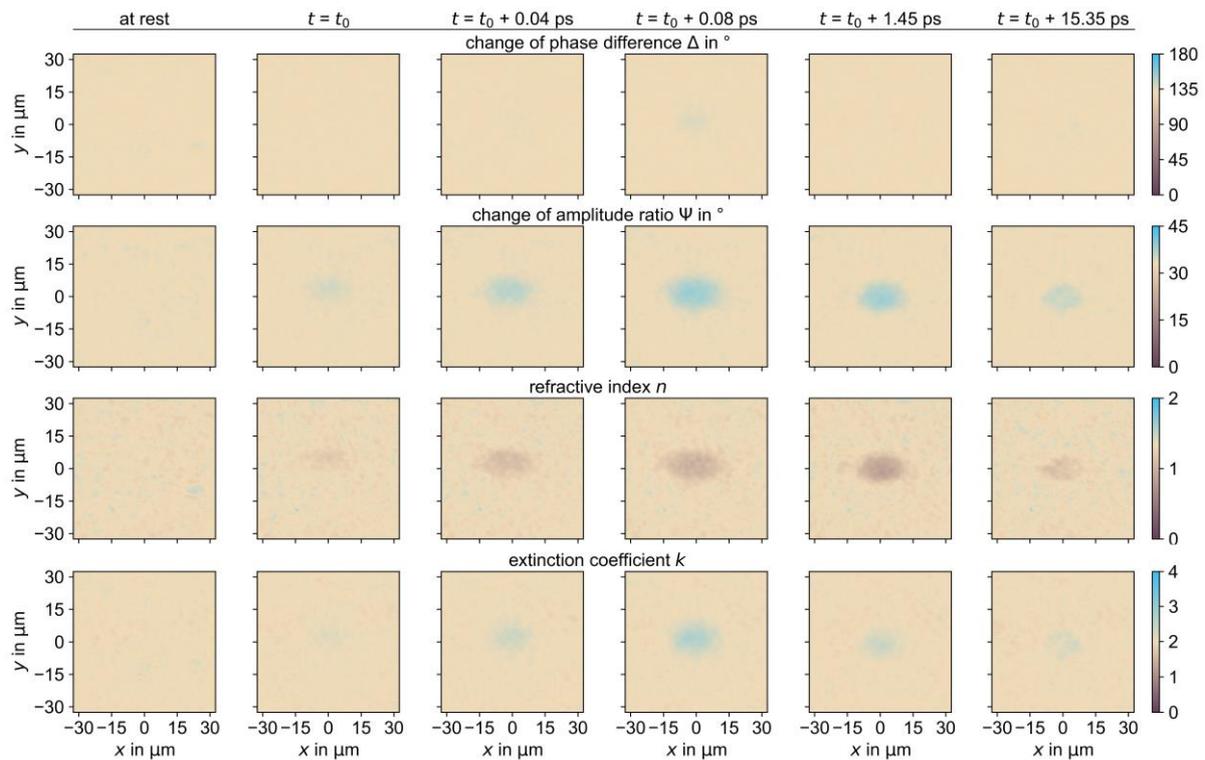


Bild 1: Ortsaufgelöste ellipsometrische Parameter Δ und Ψ von Gold zu verschiedenen Zeiten t nach Anregung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung ($\lambda_{\text{pump}} = 800 \text{ nm}$, $\tau_{\text{H}} = 35 \text{ fs}$) und der für ein effektives Medium rekonstruierte Brechungsindex n und Extinktionskoeffizient k mittels Anrege-Abfrage Ellipsometrie gemessen ($\lambda_{\text{probe}} = 800 \text{ nm}$, $\tau_{\text{H}} = 40 \text{ fs}$)

- [1] Fujiwara, H. *Spectroscopic ellipsometry: Principles and applications*; John Wiley and Sons: Chichester, Hoboken, 2009.
- [2] Olbrich, M.; Punzel, E.; Lickschat, P.; Weißmantel, S.; Horn, A. Investigation on the Ablation of thin Metal Films with Femtosecond to Picosecond-pulsed Laser Radiation. *Physics Procedia* **2016**, *83*, 93–103
- [3] Pflug, T.; Wang, J.; Olbrich, M.; Frank, M.; Horn, A. Case study on the dynamics of ultrafast laser heating and ablation of gold thin films by ultrafast pump-probe reflectometry and ellipsometry. *Appl Phys A* **2018**, *124*, 17572

COMPARISON OF FEMTOSECOND, PICOSECOND AND NANOSECOND LASER PATTERNING OF PEROVSKITE SOLAR CELLS

Christof Schultz¹, Markus Fenske¹, Linda Pabst², Lukas Kegelmann³, Rutger Schlatmann^{1,4}, Steve Albrecht^{5,6}, Andreas Bartelt¹, Bert Stegemann¹

1. HTW Berlin - University of Applied Sciences, Wilhelminenhofstr. 75A, 12459, Germany
2. Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648, Germany
3. Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Institut für Silizium Photovoltaik, Kekuléstr. 5, 12489 Germany
4. Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialin und Energie GmbH, PVcomB, Schwarzschildstr. 3, 12489 Germany
5. Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Young Investigator Group for Perovskite Tandem Solar Cells, Kekuléstraße 5, 12489 Germany
6. Technical University Berlin, Faculty IV - Electrical Engineering and Computer Science, Marchstr. 23, 10587 Germany

Metal halide perovskites (MHP) have extraordinary optoelectronic properties and are, thus, very promising absorber materials in low-cost, high-efficiency solar cells. At small, laboratory scale competitive power conversion efficiencies were achieved. However, successful up-scaling to industrially relevant module sizes requires monolithic series interconnection by P1 – P3 laser patterning steps. Particularly, the P2 step is challenging due to the high thermal sensitivity of the perovskite layer facilitating material degradation and redeposition. Here we report on a systematic investigation of the P2 patterning step to open the MHP absorber layers using fs, ps and ns laser pulses. In all cases ablation thresholds, completeness of the material removal and laser-affected ranges aside the laser patterned lines are quantified and evaluated. The results show that lower pulse lengths favor complete material removal and, thus, allow lower series resistances and higher fill factors of the interconnected solar cells, while the range of the laser-affected area, and thus the dead area, is nearly independent of the applied pulse widths.

Hochtemperatur- Lasersintern von Glaspulverwerkstoffen

Anne-Marie Schwager, Jan Dellith*, Armin Bruder, Hardy Baierl, Jens Bliedtner, Volker Reichel, Edda Rädlein**

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

* Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Albert-Einstein-Straße 9 07745 Jena

** 3Technische Universität Ilmenau, Max-Planck-Ring 14, 98693 Ilmenau

Der Einsatz von additiven Technologien für die Fertigung von optischen Komponenten wird gegenwärtig international erforscht und entwickelt. Mittels des selektiven Lasersinterns bei Hochtemperatur (HT-SLS) konnten erstmals poröse Formkörper aus Quarzglas additiv hergestellt werden.

Die spezifisch entwickelte Prozesskette beinhaltet die Materialentwicklung, die Prozessentwicklung des HT-SLS sowie die Nachbearbeitungsschritte. Hierzu werden kommerziell erhältliche Glaspulver bezüglich Reinheit, Struktur, Teilchengröße und -form speziell an die Anforderungen des HT-SLS-Verfahrens angepasst. Durch die Entwicklung eines speziellen 3D Druckers sowie die Auswahl materialspezifischer Prozessparameter werden mittels des HT-SLS individuelle, dreidimensionale Formkörper hergestellt.

Durch scannende CO₂-Laserstrahlung wird das Glaspulver bei Bauraumtemperaturen bis zu 1000 °C schichtweise versintert und poröse Formkörper mit einer relativen Dichte von $\leq 70\%$ im Vergleich zu synthetisch hergestelltem Kieselglas erzeugt. Eine möglichst geringe Kontamination des Glaspulvers wird durch ein entwickeltes Pulvertransportsystem, bestehend aus artverwandten Baumaterialien, erreicht.

In einem nachfolgenden Prozessschritt lassen sich mittels spezieller Sinterstrategien formtreue Körper mit Bauteildichten von $\leq 96\%$ im Vergleich zu reinem Kieselglas erzeugen.

Das HT-SLS bietet mit der neu entwickelten additiven Anlagentechnik, in Verbindung mit angepassten Pulvermaterialien, einen hohen Innovationsgrad insbesondere bei Materialsystemen, die z.B. aufgrund hoher Verarbeitungstemperaturen bislang nicht favorisiert wurden. Damit ergeben sich völlig neue Möglichkeiten u.a. bei der Fertigung komplexer Bauteile für optische Anwendungen.



Bild 1: Formkörper aus Kieselglas, hergestellt mittels HT-SLS

Frei formbare Ausgangsimpulsmuster im GHz-Bereich bei Durchschnittsleistungen >1kW

Fabian Stutzki¹, Christian Gaida¹, Florian Just¹, Arno Klenke^{2,3}, Armin Hoffmann¹, Sven Breitkopf^{1,*},
Tino Eidam¹, Marco Kienel¹ and Jens Limpert^{1,2,3,4}

1. Active Fiber Systems GmbH, Wildenbruchstr. 15, 07745 Jena, Germany

2. Institut für Angewandte Physik, Abbe Center of Photonics, Friedrich-Schiller-Universität Jena,
Albert-Einstein-Str. 15, 07745 Jena, Germany

3. Helmholtz-Institut Jena, Fröbelstieg 3, 07743 Jena, Germany

4. Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Albert-Einstein-Str. 7, 07745 Jena, Germany

*breitkopf@afs-jena.de

Seit einigen Jahren kommen zunehmend Materialbearbeitungsverfahren auf, die von sehr hohen Pulsrepetitionraten profitieren können. Auch hier sind Pulsdauern im Femtosekundenbereich oft von großem Nutzen. Dieser Bedarf hat die industrielle Entwicklung derartiger Systeme angetrieben und so sind heute kompakte Femtosekundenlaser mit Durchschnittsleistungen bis in den kW-Bereich verfügbar (Abb. 1); genug Leistung für selbst die anspruchsvollsten Applikationen.

Wir berichten hier über faserbasierte Ultrakurzpulslaser mit herausragenden Leistungswerten, die dennoch bis in den GHz-Bereich einzelpulsgenaue Leistungsmodulation des Ausgangspulszuges erlauben. Die Grundvoraussetzung hierfür ist die Technologien des kohärenten Kombinierens, d.h. die parallele Verstärkung in mehreren Faserverstärkern und die anschließende interferometrische Überlagerung.

Kohärentes Kombinieren ist vor allem als Methode zur Leistungs- und Pulsenergieskalierung bekannt [1]. Typischerweise werden dabei mithilfe von Phasenstellgliedern und Detektoren sämtliche zeitliche Schwankungen stabilisiert um dauerhaft konstruktive Interferenz am Laserausgang zu ermöglichen. Wird nun jedoch die Phase eines Kanals gezielt manipuliert, so kann statt konstruktiver, destruktive Interferenz erreicht und somit der Puls „ausgeschaltet“ werden. Mit kommerziell erhältlichen fasergekoppelten elektro-optischen Modulatoren kann auf diese Art außerdem das Ausgangssignal mit bis zu einigen GHz Bandbreite quasi beliebig moduliert werden.

Ein solcher schneller und leistungsskalierbarer Aufbau wird gerade ausführlich in einem von uns entwickelten und aufgebauten Faserverstärker-System mit ultrakurzen Pulsen und 1000W Durchschnittsleistung erfolgreich getestet. Aktuelle Resultate aus diesem Aufbau werden vorgestellt.

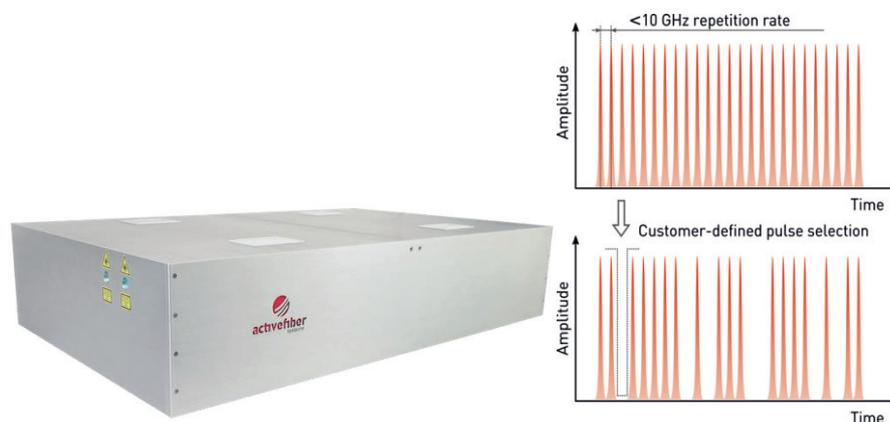


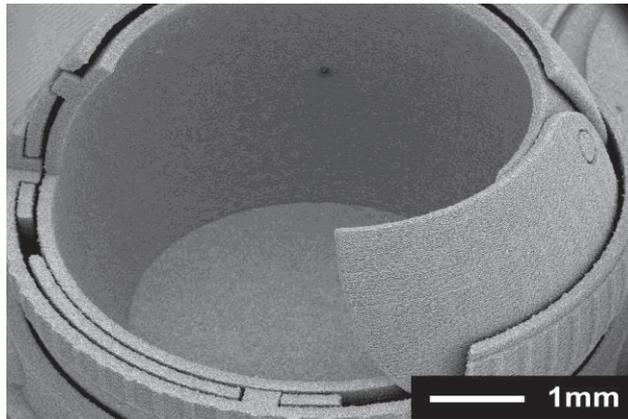
Abb. 1 Links: Lasersystem; Rechts: Laserpulszug ohne Phasenmodulationen eines Kanals (oben) und mit softwaregesteuerter Modulation um ein gewünschtes Pulsmuster zu erreichen (unten).

Referenzen: [1] J. Limpert et al., "Performance Scaling of Ultrafast Laser Systems by Coherent Addition of Femtosecond Pulses," in IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 20, no. 5, pp. 268-277, Sept.-Oct. 2014.

UNTERSUCHUNGEN ZUR PULSANORDNUNG BEIM LASERMİKROSINTERN

Frank Ullmann, Martin Erler, Robby Ebert, Horst Exner
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Es wurden Untersuchungen zu verschiedenen Pulsanordnungen (semistochastisch, regelmäßig) beim Lasermikrosintern unternommen. Die Auswertung erfolgte hinsichtlich der Rissneigung der erzeugten Gefüge und der erzielten Dichte. Es konnten relevante Abhängigkeiten der Resultate von der Pulsanordnung trotz gleich eingebrachter Energie pro Fläche gefunden werden. In Anwendung der Erkenntnisse wurde ein Funktions-Demonstrator in Form einer Mikro-Irisblende erzeugt.



REM-Aufnahme eines teilweise ausgeschnittenen Funktions-Demonstrators in Form einer Mikro-Irisblende (geöffnet)

Laserbasierte Herstellung von 2.5D Körpern aus Polylactid

Tina Viertel, Robby Ebert, Horst Exner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Ultrakurze Laserpulse bieten ein enormes Potenzial für die präzise Mikrostrukturierung, insbesondere von transparenten Materialien. [1-2] Bei der Fokussierung von ultrakurzen Laserpulsen in das Material ist die Intensität im Fokusbereich ausreichend, um nichtlineare Absorptionsprozesse zu induzieren, welche zu Strukturveränderungen im Materialvolumen führen. [3] In folgender Studie wurden die lokal begrenzten Strukturveränderungen so angeordnet, dass sich Schnittflächen für das Ausschneiden von 2.5D Körpern ergaben. Die Untersuchungen wurden in Polylactid, einem bioresorbierbarem Polymer durchgeführt. Hierfür wurde eine Femtosekunden-Laserquelle eingesetzt, die bei einer Wellenlänge von 1030 nm 200 fs Pulse emittiert, wobei der Strahlradius 5 μm betrug. Prozessbeeinflussende Parameter, wie Pulsenergie, Pulsabstand, Frequenz und Ebenenabstand wurden variiert und ihre Auswirkung auf die Schneidbarkeit, sowie die Qualität des ausgeschnittenen Teils evaluiert. Die Machbarkeit der Technologie konnte anhand von einfachen Körpern demonstriert werden. Die Anwendung der vorgestellten Technologie soll in der Herstellung von Mikroimplantaten liegen.

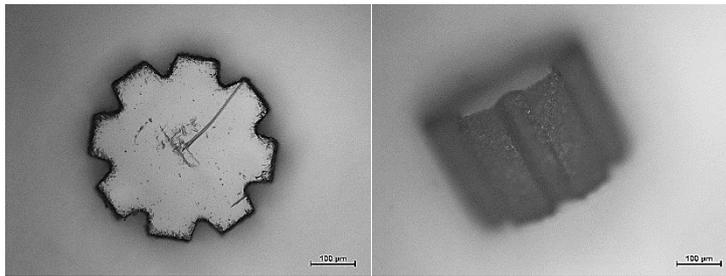


Bild 1: Ausgeschnittener 2.5D Körper aus Polylactid, Parameter: Pulsenergie $Q = 1 \mu\text{J}$, Ebenenabstand $dz = 2,5 \mu\text{m}$, Pulsabstand $pd = 1 \mu\text{m}$, Frequenz $f_{\text{REP}} = 16 \text{ kHz}$; links: Draufsicht; rechts: Seitenansicht der Schnittfläche

[1] R. Patel, V. Matylitsky et al., *Indus. Laser Solut.* 1, 25–27 (2014)

[2] S. Nolte, M. Will et al., *Appl. Phys. A* 77, 109–111 (2003)

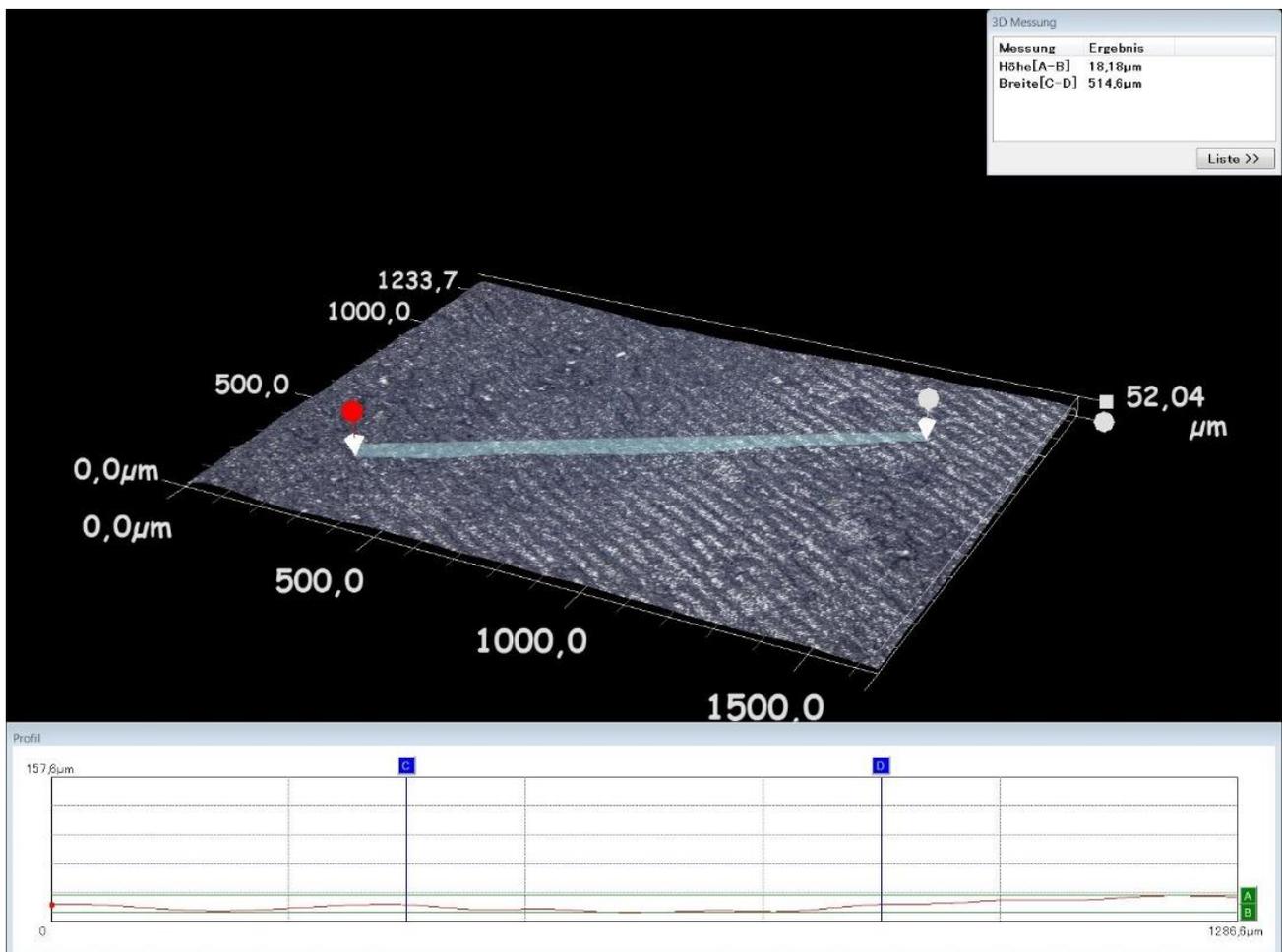
[3] R. Osellame, G. Cerullo et al., *Femtosecond Laser Micromachining*, Chap. 1. (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012)

LASERINNENBEARBEITUNG VON GALLIUMARSENID

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

Für die Herstellung von elektronischen Bauelementen werden vielfältige Halbleitermaterialien wie Silizium, Germanium, Siliziumcarbid, Galliumarsenid oder Galliumnitrid eingesetzt. Die Grundlage für die Produktion dieser Bauteile bildet meist ein Halbleiterwafer, auf dem die jeweiligen elektronischen Komponenten durch spezifische Verfahren erzeugt werden. Zur Herstellung der betreffenden Wafer wird bisher das zuvor erzeugte Kristallmaterial, der Ingot, mit einer Drahtsäge in Scheiben geschnitten. Bei diesem Verfahren, dem sogenannten Wafering, kommt es durch das Sägeverfahren zu einem Materialverlust im Schnittspalt und zur mechanischen Beeinflussung der Randbereiche.

Zur Verbesserung der Materialausbeute beim Wafering soll zukünftig der Ingot mittels fokussierter Laserstrahlung in einer definierten Tiefe mit einer laserbearbeiteten Ebene versehen und vorgeschädigt werden und im Nachgang der Wafer durch ein Splitverfahren definiert abgespalten werden. Diese Verfahrensvariante ist zukünftig besonders für hochpreisige oder sehr harte Wafermaterialien interessant. Es werden Untersuchungsergebnisse bezüglich Parametervariation zur Laserinnenbearbeitung von Galliumarsenid mit den dazu gehörigen Ergebnissen aus dem Materialsplit vorgestellt. Darüber hinaus werden Ergebnisse zur Erhöhung der Bearbeitungsgeschwindigkeit durch die Verwendung von Multi- oder Linienfoki präsentiert.



Profilaufnahme einer durch Laserinnenbearbeitung von GaAs mittels Linienfokus erzeugten Splitfläche

Die nächste Generation der Polygonscannertechnik in der Lasermaterialbearbeitung

Marcel Wolf, Mathias Müller, André Streek

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Abstract:

Der wachsende Bedarf an Laser gestützten Fertigungsmethoden unserer heutigen Zeit erfordert ein hohes Maß an Innovation und stetiger Weiterentwicklung. Nicht nur die Lasergeräte, sondern auch die Strahlführungssysteme, rücken in den Fokus der Forschung, um die enormen Ansprüche der Industrie erfüllen zu können. Die Polygonscantechnologie bietet die Möglichkeit die erfordernten Geschwindigkeiten der Strahlablenkung in Verbindung mit der geforderten Genauigkeit zu realisieren. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der adaptiven Anwendung des entwickelten Scansystems für verschiedenste Arbeitsaufgaben mit aktuellem Bezug auf industrielle Anforderungen. Des Weiteren wird die Realisierung großer Scanfelder und Minimierung von Strukturierungsabweichungen, mittels hoch präziser Strahljustage gezeigt. Ebenso wird die Anwendbarkeit des Scansystems auf Prozesse, welche mit Hochleistungsstrahlquellen realisiert werden, untersucht.

Abstract:

The increasing demand on laser-supported production methods in our time requires a high degree of innovation and continuous further development. Not only the laser devices, but also the beam guidance systems are moving into the focus of research in order to be able to meet the enormous industrial demands. The Polygon scan technology offers the possibility to realize the required speeds of the beam deflection in connection with the required accuracy. The focus of this work is the adaptive application of the developed scanning system for various work tasks with current reference to industrial requirements. Also the realization of large scan fields and minimization of structuring deviations by using of high-precision beam adjustment is investigated. Furthermore, the application of the scanning system is demonstrated for high-laser power processes.



Bild 1: Polygonscanner ULTRAX.

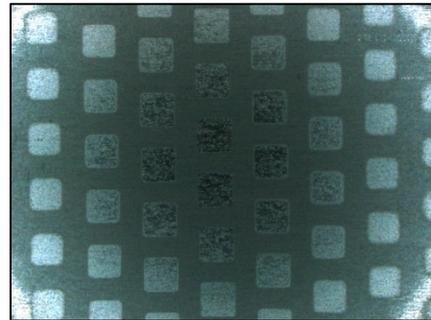


Bild 2: Abbildungsebene, $P = 2 \text{ kW}$,
Pulsdauer 100 ns, Reinigungslaser
IPG.

Untersuchung der Wechselwirkung von gepulster Laserstrahlung mit nanoskaligem Wolframpulver

Jens Woytkowiak, Robby Ebert, Frank Ullmann, Ole Peters, Andre Streek, Horst Exner

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Email: woytkowi@hs-mittweida.de

Die Untersuchung befasste sich mit der Wechselwirkung von gepulster Laserstrahlung der Pulsdauern 15 –220 ns mit gerakelten nanoskaligen Wolframpulveroberflächen. Die entstandenen Schmelzstrukturen wurden in 6 Klassen eingeteilt und den Pulsenergien und Pulsabständen zugeordnet (Abb. 1). Der Einfluss von Intensität, Fluenz und Streckenenergie auf die Bildung der Schmelzstrukturen wurde untersucht und mit vorhandenen Untersuchungen zur Bestrahlung mit cw - Laserstrahlung und mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung verglichen [1]. Variationen der Pulsdauer bei gleicher Fluenz zeigten keine signifikanten Unterschiede der Schmelzstrukturen, was die Ergebnisse des Vergleichs von Femtosekunden Pulsen und cw-Strahlung bestätigte. Der Vergleich der klassifizierten Schmelzstrukturen in Abhängigkeit von der Pulsenergie Q_P und dem Pulsabstand s_{PP} ergab für Pulsabstände bis 20 % des Strahldurchmessers eine tendenzielle Abhängigkeit von der Streckenenergie Q_S ($Q_S = \frac{Q_P}{s_{PP}}$). Bei den kleinen Pulsabständen konnte ebenfalls ausgeprägtes Balling beobachtet werden [2]. Es konnte gezeigt werden, dass durch eine geeignete Strategie das Balling vermindert werden kann.

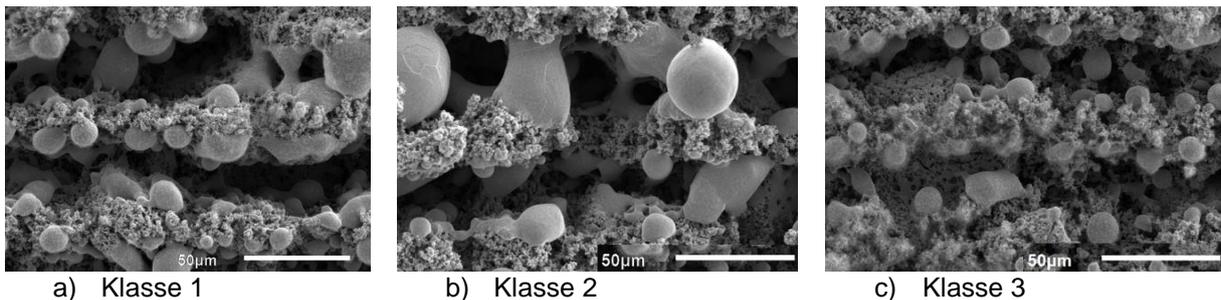


Abbildung 1. Beispiele für klassifizierte Schmelzstrukturen. In a und b ist Balling zu erkennen.

Ein weiterer Effekt war die Bildung von Nanostrukturen bei Pulsenergien kleiner als 7 μ J. Die Entstehungsursache konnte noch nicht geklärt werden. Bei größeren Pulsenergien waren in den Schmelzkugeln zunehmend Risse zu beobachten. Mögliche Ursachen werden in [3] genannt.

- [1] R. Ebert, F. Ullmann, J. Schille, U. Loeschner, and H. Exner, "Investigation of cw and ultrashort pulse laser irradiation of powder surfaces: a comparative study," in *researchgate.net*, 2013, vol. 8607, p. 86070X.
- [2] X. Zhou, X. Liu, D. Zhang, Z. Shen, and W. Liu, "Balling phenomena in selective laser melted tungsten," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 222, pp. 33–42, Aug. 2015.
- [3] C. J. Smithells, *Beimengungen und Verunreinigungen in Metallen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1931.

Sponsoren der 11. Mittweidaer Lasertagung



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 Laserpulsabscheidung von Hartstoffschichten zum Verschleißschutz, 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 das weltweit einmalige Lasermikrosintern 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 Know-how 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.



**RAPID.TECH
FABCON 3.D**

International Hub for Additive Manufacturing:
Exhibition + Conference + Networking

**16-18
JUNE 2020**

**MESSE
ERFURT
GERMANY**

www.rapidtech-fabcon.com

Aussteller der 11. Mittweidaer Lasertagung





ACSYS Lasertechnik GmbH

LASERTECHNIK Die ACSYS Lasertechnik GmbH wurde 2003 mit dem Ziel gegründet, innovative Laserbearbeitungsmaschinen für kundenspezifische Anforderungen zu entwickeln. Im Fokus steht dabei insbesondere das Markieren, Beschriften, Gravieren, Schneiden, Schweißen und die Lasermikrobearbeitung von Werkstücken aus den unterschiedlichsten Materialien. Mit der konsequenten Ausrichtung ist es in den vergangenen Jahren gelungen, ACSYS in diesen Applikationen als einen der führenden Anbieter von Lasermaschinen und in verschiedenen Bereichen auch als Technologieführer auf dem Markt zu etablieren. So beschäftigen wir mittlerweile über 90 hochqualifizierte Mitarbeiter an den Standorten Mittweida, Kornwestheim und Lüdenscheid, konnten eine permanente Entwicklungsabteilung etablieren und Tochterunternehmen in den USA, Großbritannien und Österreich aufbauen.



activefiber systems

Active Fiber Systems GmbH

PERFORMANCE MEETS RELIABILITY

- Customized pre- and main amplifiers
- Femtosecond and picosecond mode-locked fiber lasers
- Turnkey and maintenance-free dual-wavelength picosecond systems e.g. for CARS microscopy
- Fiber-laser-driven HHG sources
- High-repetition-rate energetic few-cycle lasers
- High-repetition-rate OPA and OPCPA systems

HIGH-PERFORMANCE ULTRAFAST FIBER LASERS

All essential parameters are software-controlled and can be tuned over a wide range, giving you the opportunity to evaluate and optimize your application



| | | | |
|-----------------------|-----------------|----------------|--|
| Pulse energy | up to 20 mJ | Pulse duration | 250 fs - 20 ps |
| Average power | up to 2 kW | Beam quality | $M^2 < 1.3$ |
| Wavelength | 1µm & 2µm | Addons | Ext. modulation, SHG, THG, OPA, burst, few cycle, CEP-stability, HHG |
| Pulse repetition rate | 50 kHz - 20 MHz | | |

Active Fiber Systems GmbH | Ernst-Ruska-Ring 17 | 07745 Jena | Germany
sales@afs-jena.de | www.afs-jena.de | Office +49 3641 63379-0



Amplitude Laser Group

Die Amplitude Laser Group wurde 2001 von zwei visionären Laserexperten gegründet und produziert und vermarktet ultraschnelle Laser für wissenschaftliche, medizinische und industrielle Anwendungen. Amplitude ist seit Anbeginn auf dem internationalen Markt führend und bietet eine breite Produktpalette an: diodengepumpte Ultrakurzpuls-Festkörperlaser, hochenergetische Ti:Sa-Ultrakurzpuls-laser und eine vollständige Palette von Hochenergie-Festkörperlaserprodukten. Amplitude ist immer auf dem neuesten Stand der Technik und stützt seine Kunden mit zuverlässigen Lasern aus, um sie bei der Verwirklichung ihrer Projekte zu unterstützen. Die Gruppe besteht aus drei Produktionsstandorten (Bordeaux und Paris in Frankreich und San Jose,

Kalifornien, USA) sowie mehreren Büros in Europa, Asien und Nordamerika. Amplitude und seine 300 Mitarbeiter sind bestrebt, innovative Laser herzustellen und zu entwickeln, die den ISO 9001- und ISO 13485-Zertifizierungsstandards entsprechen.

Mehr dazu: amplitude-laser.com



APE Angewandte Physik & Elektronik GmbH

Kontakt: APE Angewandte Physik & Elektronik GmbH
Plauener Straße 163-165 | Haus N
13053 Berlin, Germany
www.ape-berlin.de

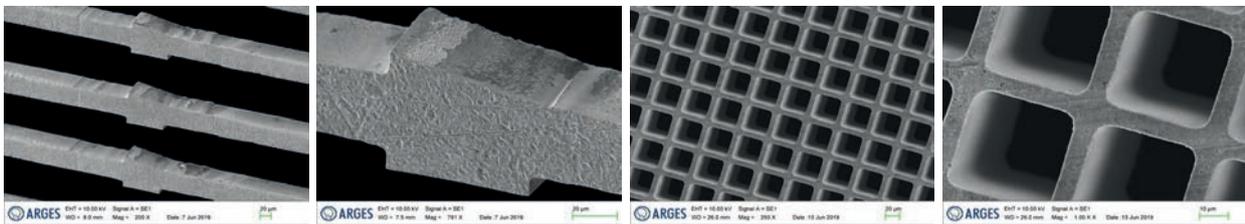
APE ist weltweit führend auf den Gebieten Ultrakurzpuls-Diagnostik und Wellenlängenkonversion. Das Produktportfolio umfasst u.a. Autokorrelatoren für die Pulsdauermessung, Spektrometer zur Charakterisierung von Femtosekunden- und Pikosekunden-Laserpulsen, Optische Parametrische Oszillatoren, Optische Parametrische Verstärker sowie Systeme zur Frequenzvervielfachung.



ARGES GmbH

ARGES entwickelt und produziert innovative Laser-Scan-Systeme zur Formung und Ablenkung von Laserstrahlen in anspruchsvollen Applikationen. ARGES bietet eine vielseitig einsetzbare Produktpalette von Scanköpfen, individuelle, kunden- und anwendungsspezifische Sonderentwicklungen sowie die Realisierung kompletter Laser-Subsysteme. Neben hauseigener Konstruktion, Soft-/Hardware-Entwicklung und Fertigung führt ARGES für seine Kunden Laserprozessentwicklungen durch. Auf diese Weise können die Kunden durch gezielte Bemusterungen und Materialanalysen von Anfang an bei ihren Projekten begleitet und exakt auf den Anwendungsfall abgestimmte Lösungen entwickelt werden. Die ARGES Laser-Scan-Systeme werden in der Mikro- und Makrolaserbearbeitung in verschiedensten Bereichen und Branchen eingesetzt. Anwendungsbereiche sind z. B. das Laserschneiden und -schweißen, die Additive Fertigung oder das hochpräzise Mikrobohren.

ARGES GmbH | Daniel Schwab | Werk 4 | D-92442 Wackersdorf
Mail: info@arges.de | Telefon: +49 (0)9431 7984-0



COHERENT Coherent GmbH

Coherent Inc. wurde 1966 gegründet und ist einer der weltweit führenden Anbieter von Lasern und laserbasierten Lösungen für Industrie und Wissenschaft. Mit Hauptsitz im Herzen des Silicon Valley, Kalifornien, und Niederlassungen in der ganzen Welt bietet Coherent ein einzigartiges Produktspektrum sowie Dienstleistungen für die wissenschaftliche Forschung, Biowissenschaft, Mikroelektronik und die industrielle Materialbearbeitung. Coherent differenziert sich von anderen Laserherstellern durch das breiteste am Markt verfügbare Produktportfolio. Das umfangreiche Angebot an Lasern, das in Wellenlänge und Ausgangsleistung variiert, ist fein genug für DNA-Untersuchungen, präzise genug für die Mikroelektronik und stark genug für das Schneiden großer Materialstärken.

Coherent's wichtigste Märkte und Applikationen umfassen u.a.:

- Mikroelektronik z. B. im Bereich Flat Panel Display, PCBoard, Wafer Bearbeitung, Photovoltaik
- Materialbearbeitung z. B. Schneiden, Schweißen, Markieren & Gravieren, Auftragschweißen, Oberflächenbearbeitung, Rapid Prototyping
- Wissenschaft z.B. Multiphotonen-Anregung, Spektroskopie, hochauflösende Spektroskopie
- OEM & Instrumentation z. B. Zytometry, Mikroskopie, DNA Sequenzierung, refraktive Chirurgie

Coherent Shared Services B.V. | Dieselstr. 5b | 64807 Dieburg

Telefon +49 6071 968-0 | Telefax +49 6071 968-490 | sales.germany@coherent.com | www.coherent.com



IPG Laser GmbH

Die IPG Laser GmbH, Tochtergesellschaft der IPG Photonics Corporation, ist der weltweite Marktführer für Hochleistungsfaserlaser. Seit 30 Jahren entwickeln und produzieren wir die zuverlässigsten und leistungsstärksten Faserlaser, Systeme und Faserverstärker für die verschiedensten Märkte. Unsere vielfältigen Faserlaser und –verstärker mit kleiner, mittlerer und hoher Leistung werden für zahlreiche Applikationen in der Materialbearbeitung, in der Kommunikationsbranche, in der Entertainmentbranche sowie für medizinische, wissenschaftliche und weitere hochentwickelte Anwendungen eingesetzt.

In vielen dieser Anwendungsbereiche ersetzen IPGs Faserlaser herkömmliche Lasertechnologien und erweitern durch neue, innovative Technologien gleichzeitig die Bandbreite an möglichen Laserapplikationen. Beispiele hierfür beinhalten eine neue High Peak Power Option für CW Laser, Adjustable Mode Beam Laser sowie ein Inline Prozessüberwachungssystem für Schweißprozesse. Aufgrund seiner vertikalen Integration ist IPG in der Lage, die individuellen Vorgaben seiner Kunden zu erfüllen, die Entwicklung neuer Produkte zu beschleunigen, die Produktionskapazitäten zu erhöhen sowie Kosten zu verringern, während wir gleichzeitig hohe Qualitäts- und Performancestandards gewährleisten. IPGs Faserlaser und Systeme revolutionieren den Markt dadurch, dass sie die Kunden schon heute mit den innovativsten Applikationskapazitäten ausstatten. IPG ist ein globales Unternehmen mit Produktionsstätten in den USA, Deutschland, Russland und Italien und regionalen Vertriebsstandorten in vielen Ländern Europas, Asiens und Südamerikas. Unsere Produkte sind weltweit für OEMs, Systemintegratoren und Endkunden auf diversen Märkten verfügbar.

IPG Laser GmbH | Carl-Benz-Straße 28 | D- 57299 Burbach | www.ipgphotonics.com
Phone:+49 2736 44 20 8344 | Fax: +49 2736 44 20 8160 | eMail: twestphaeling@ipgphotonics.com

MenloSystems Menlo Systems GmbH



Die Menlo Systems GmbH zählt zu den Marktführern in der hochpräzisen Messtechnik mit modernster Lasertechnologie. Das in Martinsried bei München angesiedelte Unternehmen ist bekannt für die nobelpreisgekrönte Frequenzkamm-Technologie. Mit Hauptsitz in Deutschland, Niederlassungen in USA und China, und einem weltweiten Netzwerk von Partnern ist Menlo Systems eng vernetzt mit Kunden aus Forschung und Industrie. Die Schwerpunkte der Produkte liegen auf optischen Frequenzkämmen, Zeit- und Frequenzverteilungssystemen, Terahertz Systemen, ultraschnellen und ultrastabilen Lasern und entsprechender Regelelektronik. Neben Serienprodukten entwickelt und fertigt Menlo Systems auch kundenspezifische Einzellösungen.



MKS Instruments – Ophir Brand

Ophir, eine Marke der Light & Motion Division von MKS Instruments, Inc., bietet eine breite Palette an Messtechnik, darunter Leistungs- sowie Energiesensoren und Strahlprofilmessgeräte und entwickelt kontinuierlich innovative Produkte zur Messung von Lasern und LED Leuchten. Die modularen, individuell anpassbaren Lösungen werden rund um die Welt in Fertigung, Medizintechnik, im militärischen Bereich und der Forschung eingesetzt. Weitere Informationen finden Sie unter <http://www.ophiropt.com/de>

Mit **Ophir BeamWatch AM** präsentiert MKS auf der Mittweidaer Lasertagung das erste berührungslos arbeitende Laserstrahlmessgerät für die Additive Fertigung. Die Anwender erhalten den Fokusshift sowie zahlreiche Strahlparameter wie Strahlgröße und -position, Fokusgröße und die Strahlkaustik in Echtzeit. Einfach, schnell und reproduzierbar lässt sich damit feststellen, ob der Strahl korrekt ausgerichtet und fokussiert ist. Die Qualität der gefertigten Teile auf einer Anlage und über mehrere Anlagen hinweg kann so gewährleistet werden. Ophir BeamWatch AM liefert sowohl tabellarische als auch 2D- oder 3D-Ansichten. Schnell und realistisch zeigen sie sämtliche Charakteristiken des Laserstrahls auf der Bearbeitungsebene.

Sven Schipper und Roland Heinze |Guerickeweg 7 | 64291 Darmstadt | Deutschland | Tel. 06151 708 – 0
Sven.schipper@eu.ophiropt.com | Roland.Heinze@newport.com



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 10 Mitarbeitern. Das internationale Team hat eine ausgewiesene Expertise in den Bereichen Lasertechnik, Optik, Mechanik, Digitalelektronik und Programmierung. Das erste Produkt ist ein volldigitalisierter Polygonspiegelscanner mit exklusiven Eigenschaften wie großer Apertur, Kompaktheit, hoher Genauigkeit, Echtzeitfähigkeit, Synchronisierbarkeit und hoher Laserstrahlbelastbarkeit. Die Ansiedlung der Firma am Laserinstitut Hochschule Mittweida auf Basis eines Kooperationsvertrages bietet den Kunden alle Möglichkeiten der modernen Lasertechnik.

MOEWE Optical Solutions GmbH | Schillerstraße 10 | 09648 Mittweida
03727/9989407 | info@moewe-optik.de | www.moewe-optik.de



NeoLase GmbH

neoLASE ist ein innovativer Laserhersteller für industrielle und wissenschaftliche Lösungen von kontinuierlichen bis hin zu ultrakurzen Laserpulsen. Die modulare Photonik Plattform ermöglicht präzise Applikationen wie Schneiden, Bohren oder Schweißen mit einem Höchstmaß an Flexibilität der Laserparameter. Basierend auf hohen Qualitätsstandards bietet die neoMOS Serie industrielle Lasersysteme und kundenspezifische Laserstrahlquellen. Durch den modularen Aufbau werden hierbei eine Vielzahl von verschiedenen Laserparametern im Piko- und Femtosekundenbereich auf einer standardisierten Systemplattform ermöglicht. In der neoLASE Laser-Manufaktur werden unterschiedlichste Laseroszillatoren mit robusten Festkörperverstärkern kundenspezifisch kombiniert. Lösungen mit unterschiedlichen Ausgangsleistungen und Wiederholungsraten können in kompakte Laserköpfe integriert oder als plug & play Kombinationen aufgebaut werden. Die Laser-Verstärker der neoVAN Serie sind OEM-Festkörper-Lasersysteme, entwickelt um Pulsenergie bzw. mittlere Ausgangsleistung für Ihre Anwendungen zu steigern. Das flexible System-Design erschließt verschiedenste Leistungs- und Energieniveaus, immer auf der Grundlage der hohen Zuverlässigkeit und langen Lebensdauer der Verstärkungsmodule. Frei nach dem Motto „the power to select“ freuen wir uns auf Ihre Anfrage unter info@neolase.com.



PRIMES GmbH

Kompetenz in Strahldiagnose
PRIMES entwickelt und produziert marktführende Systeme zur Laserstrahlcharakterisierung in industriellen Anwendungen. Unser Spektrum an hochpräzisen, langlebigen Produkten kommt in zahlreichen Branchen zum Einsatz, wie z.B. in der Automobilindustrie, im Anlagen- und Maschinenbau, in der additiven Fertigung sowie in der F&E- und Laserfertigung. PRIMES ist ein wichtiger Akteur auf dem Weltmarkt, vertreten durch 12 Distributoren und eine Tochtergesellschaft in Japan. PRIMES bietet robuste, industrieerprobte Systeme für den industriellen Einsatz. Durch standardisierte Schnittstellen lassen sie sich leicht in Produktionsprozesse integrieren. Durch die eigene Entwicklung von Hard- und Software können wir optimale Lösungen für die unterschiedlichsten Lasermessaufgaben sowie für nahezu alle namhaften Laser- und Anlagenbauer anbieten. Unsere Kernkompetenz sind Strahldiagnosegeräte zum Einsatz in der Materialbearbeitung mit Systemen für Multi-Kilowatt-Laserleistung. Als ISO 9001 zertifiziertes Unternehmen ist Präzision unser Standard. Unser Kalibrierlabor hat Erfahrung mit den meisten Laseranwendungen und kalibriert Messgeräte aller Hersteller. Unser Spektrum an Strahlquellen - vom CO₂ bis zum Festkörperlaser - bietet dafür die besten Voraussetzungen. Mit über 20.000 weltweit installierten Systemen hat sich PRIMES einen hervorragenden Ruf erworben und ist bekannt für anspruchsvolle Lösungen in der Querschnittstechnologie "Laser".



SCANLAB GmbH

Die SCANLAB GmbH ist mit über 35.000 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 -präzise 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 | Fax: +49 89 800746-199 | E-Mail: info@scanlab.de | Web: www.scanlab.de



Sill Optics GmbH & Co. KG

Sill Optics ist eines der wenigen mittelständischen Unternehmen in Deutschland, das sich auf die Herstellung optischer Komponenten in höchster Qualität spezialisiert hat. Dabei gilt die Philosophie: „100% Made in Germany“. Das Produktionsspektrum umfasst eine breite Palette von der

Herstellung von Objektiven bis hin zu kompletten Systemen für folgende Bereiche: Lasertechnik, Bildverarbeitung, Messtechnik, Beleuchtung, Photonik und Medizintechnik. Bei Sonderanfertigungen werden unsere Kunden von der Ausarbeitung der Spezifikationen bis hin zum Serienprodukt beliefert. Bei Kleinserien und Prototypen erfolgen alle Produktionsschritte unter einem Dach. Auch die Integration von optomechanischen oder optoelektronischen Komponenten kann realisiert werden.

Sill Optics GmbH & Co. KG | Johann-Höllfritsch-Straße 13 | 90530 Wendelstein

Tel.: 09129 9023-0 | Fax: 09129 9023-23 | info@silloptics.de | www.silloptics.de



SITEC Industrietechnologie GmbH

SITEC ist ein weltweit geschätzter Partner und Systemlieferant für automatisierte Produktionsanlagen und für die Serienfertigung von Baugruppen und Komponenten.

Dem Einsatz innovativer Technologien widmen wir unsere ganze Aufmerksamkeit und entwickeln für unsere Kunden serienreife Lösungen zur Lasermaterialbearbeitung, zur elektrochemischen Metallbearbeitung und der automatisierten Montage in den Bereichen Automotive, E-Mobilität, Medizintechnik, erneuerbare Energien, Elektrotechnik, Luft- und Raumfahrt. Das gelingt uns mit 270 hoch motivierten und qualifizierten Mitarbeitern und einem optimalen Teamwork. In den SITEC-Technologiezentren wird praxisorientiert und interdisziplinär an serienreifen Lösungen von morgen gearbeitet. Die Ergebnisse finden kontinuierlich Eingang in unser aktuelles Maschinen-Portfolio zur Montage, Laserbearbeitung und elektrochemischen Metallbearbeitung. Mit höchster Flexibilität, Präzision und in zertifizierter Qualität stellen wir unsere Professionalität und Erfahrung in den Dienst unserer Kunden.

SITEC Industrietechnologie GmbH | Bornaer Str. 192 | 09114 Chemnitz | www.sitec-technology.de

Kontakt: info@sitec-technology.de | Tel. + 49 371 4708 241



SPI Lasers UK Ltd

SPI Lasers is a leading manufacturer of Premium CW & Pulsed Fiber Lasers for industrial marking, cutting, welding, drilling, micro-machining and additive manufacturing. Operations can be carried out faster and more accurately with an SPI Laser for better reliability, less waste and improved productivity. Our product portfolio covers countless application processes, across a range of industries including automotive, electronics and medical.

Drawing on over 40 years expertise, SPI Lasers sells its products across the globe as well as providing sales, technical support, staff training and sample processing in our own specialist applications laboratories based in the UK, China, Korea and the USA.



TOPAG Lasertechnik GmbH

▲ **Femtosekunden-Laser CARBIDE** von LightConversion mit 5...40W, variable Pulslänge (290fs...10ps) und Repetitionsraten (60kHz...2MHz) zum industriellen Einsatz in der Mikromaterialbearbeitung, Medizintechnik.

▲ **Pikosekunden-Laser ATLANTIC** von Ekspla mit 5W luft- und bis 80W wassergekühlt, Einzelschuss bis 1MHz Repetitionsrate, umschaltbare 532nm/355nm-Emission, zur industriellen Messtechnik und Mikrobearbeitung.

▲ **Diffraktive Strahlformungsoptiken:** FBS-Strahlformer (Fundamental Beammode Shaping) für Top-Hat-Profile; GTH-Strahlformer (refraktive Freiformoptiken) und DBS-Diffraktive Multistrahlteiler für optische Messtechnik und zur Parallelprozessierung in der Lasermaterialbearbeitung.

TOPAG Lasertechnik GmbH | Nieder-Ramstädter Str. 247 | 64285 Darmstadt
+49 6151 4259 78 | info[at]topag.de | www.topag.de

TRUMPF



TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH

Das Hochtechnologieunternehmen TRUMPF bietet Fertigungslösungen in den Bereichen Werkzeugmaschinen, Lasertechnik und Elektronik. Die digitale Vernetzung der fertigenden Industrie treiben wir durch Beratung, Plattform- und Softwareangebote voran. TRUMPF ist Technologie- und Marktführer bei Werkzeugmaschinen für die flexible Blechbearbeitung und bei industriellen Lasern.

2017/18 erwirtschaftete das Unternehmen mit rund 13.400 Mitarbeitern einen Umsatz von knapp 3,6 Milliarden Euro. Mit mehr als 70 Tochtergesellschaften ist die Gruppe in fast allen europäischen Ländern, in Nord- und Südamerika sowie in Asien vertreten. Produktionsstandorte

befinden sich in Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Österreich und der Schweiz, in Polen, Tschechien, den USA, Mexiko, China und Japan.

Weitere Informationen über TRUMPF finden Sie unter: www.trumpf.com



ULT AG

Die lufttechnischen Anlagen der ULT AG beseitigen effizient gesundheitsgefährdende Schadstoffe, wie z.B. Laserrauch, Lötrauch, feinste Stäube, Dämpfe, Gerüche, Gase und Schweißrauch. Damit werden Mitarbeiter, Produktionsanlagen und Produkte geschützt.

Des Weiteren entwickelt und fertigt die ULT AG Lösungen zur Prozesslufttrocknung.

Das Produktspektrum reicht von mobilen Absauganlagen über stationäre Systeme und Sonderlösungen, bis hin zu kompletten Hallenabsaugungen. Die Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten und Universitäten bei der Entwicklung der Anlagen hat bei der ULT AG einen hohen Stellenwert. Das Unternehmen ist seit über 20 Jahren durchgängig DIN EN ISO 9001 zertifiziert.