

Symposium Mikro- und Nanomaterialbearbeitung mit Kurzpulslasern (SYLM)

gemeinsam veranstaltet von der
Wissenschaftliche Gesellschaft für Lasertechnik e.V. (WLT),
und vom
Fachverband Kurzzeitphysik der DPG (FV K)

Andreas Ostendorf
Laserzentrum Hannover (LZH)
Hollerithallee 8
30419 Hannover
a.ostendorf@lzh.de

Andreas Görtler
Coherent GmbH
Zielstattstrasse 32
81379 München
andreas.goertler@coherent.com

Übersicht der Hauptvorträge und Fachsitzungen (Hörsaal 2B/C)

Hauptvorträge

SYLM 1.2	Mi	14:30–15:00	2B/C	Neue Entwicklungen und Anwendungen von Pikosekunden-Lasern — •ACHIM NEBEL
SYLM 1.3	Mi	15:00–15:30	2B/C	Excimerlaser Stand der Technik — •CLAUS F. STROWITZKI
SYLM 1.4	Mi	15:30–16:00	2B/C	Nonlinear interaction of ultrashort laser pulses in photonic crystal fibers — •ALEXANDER PODLIPENSKY, PRZEMISLAV SZARNIAK, NICOLAS Y. JOLY, PHILIP ST.J. RUSSELL
SYLM 2.1	Mi	16:30–17:00	2B/C	Laserkristallisation von Niedertemperatur Polysilizium für Dünnschichttransistor Anwendungen — •NORBERT FRÜHAUF
SYLM 2.2	Mi	17:00–17:30	2B/C	Excimerlaser in der Fertigung von Dieselmotoren — •ANDREAS EMMEL
SYLM 2.3	Mi	17:30–18:00	2B/C	Laser processing for highly efficient crystalline Si solar cells — •ROLF BRENDDEL, SONJA HERMANN, THOBIAUS NEUBERT
SYLM 3.1	Do	8:30– 9:00	2B/C	High quality micro machining with temporal and spacial tailored ultra short laser pulses — •ARNOLD GILLNER, CLAUDIA HARTMANN, ANDREAS DOHRN, STEFAN BECKEMPER
SYLM 3.2	Do	9:00– 9:30	2B/C	Mikrostrukturierung mit leistungsstarken Ultrakurzpulslasern - Vorteile und Möglichkeiten — •STEFAN NOLTE
SYLM 3.3	Do	9:30–10:00	2B/C	Lasermikrobearbeitung mit hochrepetierender fs-Laserstrahlung — •HORST EXNER, UDO LÖSCHNER, JÖRG SCHILLE, ROBBY EBERT
SYLM 3.4	Do	10:00–10:30	2B/C	Entwicklung bei der Strahlformung mit Kurzpulslasern — •MICHAEL SCHMIDT, PETER BECHTOLD
SYLM 4.1	Do	11:00–11:30	2B/C	High precision refractive beam shaping: From the solution of the Maxwell equations to industrial material processing using short pulses — •BJÖRN GÜTLICH, THOMAS MITRA, OLIVER HOMBURG, DIRK HAUSCHILD, LUTZ ASCHKE, VITALIJ LISSOTSCHENKO
SYLM 4.2	Do	11:30–12:00	2B/C	Towards nanostructuring with femtosecond lasers — •BORIS CHICHKOV
SYLM 4.3	Do	12:00–12:30	2B/C	Near infrared 80 MHz femtosecond laser nanoprocessing — KARSTEN KOENIG, AISADA UCHUGONOVA, IRIS RIEMANN, RONAN LEHARZIC, •JENS MÜLLER
SYLM 4.4	Do	12:30–13:00	2B/C	Nanostructuring by Optical Near Fields — •PAUL LEIDERER

Fachsitzungen

SYLM 1.1–1.4	Mi	14:15–16:00	2B/C	Strahlquellen
SYLM 2.1–2.3	Mi	16:30–18:00	2B/C	Funktionalisieren
SYLM 3.1–3.4	Do	8:30–10:30	2B/C	Abtragen und Strahlführung
SYLM 4.1–4.4	Do	11:00–13:00	2B/C	Strahlführung II und Nanostrukturierung

SYLM 1: Strahlquellen

Zeit: Mittwoch 14:15–16:00

Raum: 2B/C

SYLM 1.1 Mi 14:15 2B/C

Einführung in das Symposium — ●ANDREAS OSTENDORF — Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, 30419 Hannover

Das Symposium SYLM gibt einen hervorragenden Überblick über die Entwicklungen im Bereich der präzisen Lasermaterialbearbeitung durch kurze und ultrakurze Laserpulse. Die Aufteilung in Laserquellen, Strahlführungs-Systeme und Anwendungen (Funktionalisieren, Strukturieren, Nanotechnologie) erzeugt zusätzliche Attraktivität, da das Feld damit in seiner Gesamtheit beleuchtet wird. Alle führenden Gruppen sind in diesem Symposium mit Vorträgen vertreten.

Hauptvortrag SYLM 1.2 Mi 14:30 2B/C
Neue Entwicklungen und Anwendungen von Pikosekunden-Lasern — ●ACHIM NEBEL — LUMERA LASER GmbH, Opelstr. 10, 67661 Kaiserslautern

Hauptvortrag SYLM 1.3 Mi 15:00 2B/C
Excimerlaser Stand der Technik — ●CLAUS F. STROWITZKI — Coherent GmbH, Zielstattstrasse 32, 81379 München

Excimerlaser sind das Arbeitspferd in vielen Applikationen. Durch den präzisen Abtrag kleiner Materialmengen ist der Excimerlaser für Applikationen in der Mikrostrukturierung besonders geeignet. Die Lasermaterialbearbeitung stellt hohe Ansprüche an die Lasersysteme. Insbesondere die Strahlparameter sollten möglichst stabil über die Lebensdauer der Systeme sein. Es wird ein Überblick über den derzeitigen Stand der Technik für Lasersysteme gegeben.

SYLM 1.4 Mi 15:30 2B/C

Hauptvortrag
Nonlinear interaction of ultrashort laser pulses in photonic crystal fibers — ●ALEXANDER PODLIPENSKY¹, PRZEMISLAW SZARNIAK¹, NICOLAS Y. JOLY², and PHILIP ST.J. RUSSELL¹ — ¹Max-Planck Research Group (IOIP), University of Erlangen-Nuremberg, Guenther-Scharowsky Str. 1/Bau 24, 91058 Erlangen, Germany — ²Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 Ville France neuve d'Ascq Cedex

The third-order optical nonlinearity in silica drives nonlinear phenomena in optical fibers such as four-wave mixing, self-phase-modulation, soliton formation, stimulated Raman and Brillouin scattering. Moreover, the optical nonlinear effects strongly depend on sign and magnitude of the GVD of the optical fiber as well as on the duration and shape of the laser pulses. The GVD in the solid-core photonic crystal fiber (PCF) can be tailored over a very broad range by adjusting the core diameter and the microstructure in the cladding. This enables studies of nonlinear optical phenomena both in the CW and in the ns, ps and fs pulsed regimes. Here, we will discuss propagation and nonlinear interaction of ultrashort laser pulses in highly nonlinear PCF. We have performed detailed numerical and experimental studies of the propagation of 110 fs laser pulses at 800 nm and discovered that the break-up of higher order solitons (fission) occurs in three distinct regimes defined by the input power. At higher input power levels the soliton dynamics demonstrates inelastic soliton collisions and formation of bound soliton pairs under the particular circumstances.

SYLM 2: Funktionalisieren

Zeit: Mittwoch 16:30–18:00

Raum: 2B/C

Hauptvortrag SYLM 2.1 Mi 16:30 2B/C
Laserkristallisation von Niedertemperatur Polysilizium für Dünnschichttransistor Anwendungen — ●NORBERT FRÜHAUF — Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bildschirmtechnik

Dünnschichttransistoren (thin film transistor, TFT) aus polykristallinem Silizium besitzen im Vergleich zu TFTs amorphem Silizium eine um zwei Größenordnungen höhere Schaltgeschwindigkeit und eine deutlich verbesserte Driftstabilität bei Gleichspannungsbelastung, weshalb die Technologie derzeit das weitaus größte Potenzial zur Realisierung von Aktiv-Matrix OLED Bildschirmen hat. Aufgrund der eingeschränkten Temperaturbelastbarkeit kostengünstiger großflächiger Bildschirmsubstrate erfolgt die Erzeugung der polykristallinen Halbleiterschicht durch Excimer Laser Kristallisation einer aus der Gasphase abgeschiedenen amorphen Silizium Schicht. Im Vortrag werden Aspekte des Laserkristallisationsprozesses auf die Eigenschaften der resultierenden Halbleiterschicht und die daran anschließenden Prozessschritte zur Herstellung ganzer Aktiv-Matrix Ansteuerschaltungen und OLED Bildschirmdemonstratoren vorgestellt. Dies beinhaltet experimentelle Untersuchungen zur Untersuchung des zeitlichen Verlaufs des Schmelzvorgangs, Homogenitätsuntersuchungen in den Überlapp-Bereichen mehrerer Laserbehandlungen, die Untersuchung von Verfahren zur determinierten Plazierung der Kristallite und die Beschreibung kostengünstiger Dünnschichttransistor Prozessvarianten welche auf einer Kombination von Kristallisation und Dotanden Aktivierung in einem einzigen Laserprozessierungsschritt beruhen.

Hauptvortrag SYLM 2.2 Mi 17:00 2B/C
Excimerlaser in der Fertigung von Dieselmotoren — ●ANDREAS EMMEL — Laserlabor FH Amberg-Weiden, Amberg

Seit den 80*er Jahren ist der Excimerlaser als verlässliche Strahlquelle für Anwendungen beispielsweise in der Photolithographie oder auch in der Medizintechnik bestens eingeführt. Etwa zeitgleich begannen Entwicklungsarbeiten zur Einführung des Lasers im Maschinen- und Aggregatebau. Dazu gehörten umfassende Untersuchungen an tribologischen Systemen, insbesondere der Zylinderlauffläche. In zahlreichen Motorentests wurden die positiven Effekte des lasergestützten Konditionierens von Zylinderlaufflächen aus Gusseisen auf den Verschleiß und den Ölverbrauch nachgewiesen. Dabei wird mit dem Excimerlaser

die Oberfläche derart umgeschmolzen, dass sich ein an den Graphitlamellen oder -nestern unterbrochener Eisen(Stahl-)film bildet, der mikrostrukturelle Eigenschaften aufweist, die einer bereits sehr gut eingelaufenen Oberfläche entsprechen. Die 1-2 um dicke Schicht weist einen sehr hohen Anteil interstitiell gelöster Atome, eine hohe Versetzungsdichte sowie martensitische Anteile auf, die in Summe zu einer hohen Tragfähigkeit des modifizierten Werkstückbereiches führen. Der an den Graphitausscheidungen unterbrochene Oberflächenfilm beinhaltet zudem Volumen, um Schmiermittel oder auch Reibpartikel aufzunehmen. Insgesamt betrachtet, entsteht durch die Bearbeitung mit dem Excimerlaser eine Oberfläche, die nahezu ideal für die Aufnahme der Belastungen in Verbrennungsmotoren geeignet ist. Das Verfahren ist seit Januar 2004 in der Großserie eines renommierten deutschen Automobilherstellers eingeführt.

Hauptvortrag SYLM 2.3 Mi 17:30 2B/C
Laser processing for highly efficient crystalline Si solar cells — ●ROLF BRENDEL, SONJA HERMANN, and THOBAS NEUBERT — Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), Germany

In order to enhance the solar absorption of Si solar cells it is advantageous to structure the surface as to enhance light trapping. Some of the widely used Si materials can hardly be textured by wet chemical etching. In this case structuring a dielectric layer with an excimer laser and subsequent chemical etching is an attractive alternative. Solar absorption is also enhanced by placing both contacts on the back side of the cell since this reduces the front side shadowing. However, a low-cost patterning step is then required on the contacted side. Direct patterning of Si with ns-pulses laser pulses may be used as an alternative to photolithography. In order to have as few as possible electron-hole pairs recombine with each other, both cell surfaces have to be electronically passivated by silicon dioxide or silicon nitride. For contacting the cell, these dielectric layers have to have local openings. We find the direct ablation of silicon dioxide with ps-laser pulses to be a low-damage rout to form contact openings. This presentation quantifies the recombination losses in laser-processed back-contacted Si solar cells. We pay particular attention to the processing speed that is achievable with todays laser technology and to the recombination losses introduced by laser processing. We report on power conversion

efficiencies up to 21.4% that we achieve on an aperture area of 92 cm^2 .

SYLM 3: Abtragen und Strahlführung

Zeit: Donnerstag 8:30–10:30

Raum: 2B/C

Hauptvortrag SYLM 3.1 Do 8:30 2B/C
High quality micro machining with temporal and spacial tailored ultra short laser pulses — ●ARNOLD GILLNER, CLAUDIA HARTMANN, ANDREAS DOHRN, and STEFAN BECKEMPER — Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen, Deutschland

In the production of micro-scaled products and products with micro and nano scaled surface functionalities, laser ablation becomes an important tool which is able to generate structure sizes in the range of 10 - 100 micrometer and with new machining strategies even in range smaller than one micrometer. One crucial task for all laser machining applications is the realisation of a high surface quality with a minimum of roughness and with no thermal effect on the geometry of the part. Using tailored ultra short laser pulses with pulse durations of 10 ps in pulse bursts of several pulses with a time spacing of 20 ns each and adapted pulse energies, the surface quality of metal micro ablation have been increased significantly. Compared to single pulse ablation, the roughness has been decreased by a factor of 2 and at the same time the ablation efficiency has been increased up to a factor of 4. Using interference methods with multiple beam interference structure sizes of less than 200 nm can be achieved. By transferring this technology to the production of micro moulds a cost effective and flexible way for the generation of functional parts with micro and nano sized structures is available.

Hauptvortrag SYLM 3.2 Do 9:00 2B/C
Mikrostrukturierung mit leistungsstarken Ultrakurzpulslasern - Vorteile und Möglichkeiten — ●STEFAN NOLTE — Institut für Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Max-Wien-Platz 1, 07743 Jena

Laser sind als effiziente und flexible Werkzeuge zur Mikromaterialbearbeitung in vielen Bereichen der Industrie etabliert. Derzeit werden überwiegend Laser mit einer Pulslänge im Bereich von Nano- und Mikrosekunden eingesetzt. Gerade in metallischen Werkstoffen treten beim Abtrag mit diesen Pulsdauern allerdings Gefügeveränderungen und Schmelzbildung auf. Daher wird der Einsatz ultrakurzgepulster Laserstrahlung im Femtosekunden- bis Pikosekundenbereich seit Mitte der 1990er Jahre untersucht. Thermische und mechanische Schädigungen können hier praktisch vermieden werden. Allerdings sind die Prozesszeiten mit den bisherigen, kommerziell verfügbaren Lasersystemen für die meisten industriell relevanten Fertigungsprozesse zu lang. Durch neue Entwicklungen im Bereich der Ultrakurzpulslaser sind nun jedoch Systeme mit deutlich gesteigerten mittleren Leistungen bis in den Bereich von 100 W verfügbar. Dabei ergeben sich neue Effekte, wie z.B. Wärmeakkumulation oder die Wechselwirkung abströmender Partikel mit dem nächsten Laserpuls.

Im Rahmen des Vortrags werden die grundlegenden Mechanismen der Wechselwirkung ultrakurzer Laserpulse mit Festkörpern aufge-

zeigt, die bei der Laserablation eine Rolle spielen. Experimentelle Untersuchungen zur Mikrostrukturierung bei hohen Leistungen und Wiederholraten werden diskutiert.

Hauptvortrag SYLM 3.3 Do 9:30 2B/C
Lasermikrobearbeitung mit hochrepetierender fs-Laserstrahlung — ●HORST EXNER, UDO LÖSCHNER, JÖRG SCHILLE und ROBBY EBERT — Hochschule Mittweida

Es werden erste Ergebnisse zur Materialbearbeitung mit hochrepetierenden Femtosekunden-Laserpulsen vorgestellt. Die eingesetzte Laserquelle liefert bis zu 8 mikroJ Pulsenergie bei Pulswiederholraten bis zu 25 MHz und Pulszeiten von 250 fs. Im Vordergrund stehen grundlegende Untersuchungen zur Materialmodifikation und zum Materialabtrag wahlweise mit Festoptik oder Laserscanner. Neben Metallen und Halbleitern wurden auch für die Laserwellenlänge transparente Gläser bearbeitet. Die Bewertung der Bearbeitungsergebnisse erfolgte mit verschiedenen Lasermessensoren und mittels Lichtmikroskopie. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen die Möglichkeiten und Grenzen des Bearbeitungsprozesses mit hochrepetierender Femtosekundenlaserstrahlung als neues Werkzeug für das Rapid Microtooling.

Hauptvortrag SYLM 3.4 Do 10:00 2B/C
Entwicklung bei der Strahlformung mit Kurzpulslasern — ●MICHAEL SCHMIDT und PETER BECHTOLD — Bayerisches Laserzentrum GmbH, Erlangen, Deutschland

Noch vor wenigen Jahren wurde Strahlformung nur als eine die Strahlkaustik beeinflussende Optik angesehen. Dies gilt mit Blick auf Ultrakurzpulslaser und neuartige optische Komponenten nicht mehr, so dass Strahlformungselemente heute in drei Bereiche unterteilt werden können. Neuartige Objektive, die die Strahlpropagation in allen drei Raumachsen beeinflussen und auf reflektiven Optiken basieren, stellen eine der Neuerungen zur geometrischen Strahlformung dar und werden in der Mikromaterialbearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen einen hohen Grad an Prozessintegration und -geschwindigkeit erlauben. Polarisatorische Strahlformungselemente ermöglichen eine über den gesamten Strahlquerschnitt beliebig verteilte Polarisation, die auf den jeweiligen Prozess angepasst werden kann. Zuletzt können all jene Strahlformungselemente zu einer Gruppe zusammengefasst werden, welche den zeitlichen Verlauf eines Laserpulses beeinflussen. Während lange Pulse vergleichsweise einfach durch eine entsprechend adaptierte Ansteuerung beeinflusst werden können, werden bei Ultrakurzpulslasern inzwischen sog. Pulse Shaper eingesetzt, um vor allem in der Spektroskopie vorteilhafte Pulsfolgen und -formen zu generieren. Gerade die Kombination dieser derzeit in Entwicklung befindlichen Strahlformungskomponenten wird eine Bandbreite neuer Anwendungsfelder für die Lasertechnik ermöglichen, deren Auswirkung auf Forschung, Entwicklung und Applikation sich zukünftig zeigen wird.

SYLM 4: Strahlführung II und Nanostrukturierung

Zeit: Donnerstag 11:00–13:00

Raum: 2B/C

Hauptvortrag SYLM 4.1 Do 11:00 2B/C
High precision refractive beam shaping: From the solution of the Maxwell equations to industrial material processing using short pulses — ●BJÖRN GÜTLICH, THOMAS MITRA, OLIVER HOMBURG, DIRK HAUSCHILD, LUTZ ASCHKE, and VITALIJ LISSOTSCHENKO — LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH, Bookenburgweg 4-8, 44319 Dortmund, Germany, www.limo.de

Short pulse, high power laser sources are used in a large variety of applications for material processing like cutting, drilling, annealing, micro-machining, ablation and micro-lithography. To meet the requirements of these applications the generation of appropriate beam profiles is decisive. LIMO has developed its own software based on the Maxwell equations to realize the best result for the beam shaping task. Various beam shaping principles, e.g. phase shifting for single mode lasers,

beam mixing for multi-mode lasers are discussed here. Widely used geometries are square, rectangular light fields or light lines. For these or other customized solutions the advantages of novel micro-lens arrays with asymmetric lens profiles are demonstrated. Based on LIMO's unique production technology with computer-aided design, free-form micro-lens surfaces can be structured cost-effectively on wafer-basis into any kind material for high power short pulse lasers. Particular emphasis is put on refractive Gaussian-to-tophat converters for single mode lasers and their advantages in micro-machining. Patterning results in plastics (polyamide) and ceramics (Al_2O_3) are presented and improved redevelopments of the beam shaping system for industrial applications are introduced.

Hauptvortrag SYLM 4.2 Do 11:30 2B/C

Towards nanostructuring with femtosecond lasers — ●BORIS CHICHKOV — Laser Zentrum Hannover e.V.

I will report on our progress in the development of laser-based nanotechnologies. In particular, three-dimensional microstructuring by multiphoton illumination technique will be discussed. Taking its origin from multiphoton microscopy, it is now becoming an important microfabrication tool. Two-photon polymerization (2PP) and a more general version of this technology, two-photon activated laser processing, are considered as enabling technologies for the fabrication of 3D photonic crystals and photonic crystal templates. 2PP is very promising technique for the fabrication of drug delivery systems and medical implants. These and other applications in nanophotonics and biomedicine will be discussed.

Hauptvortrag SYLM 4.3 Do 12:00 2B/C
Near infrared 80 MHz femtosecond laser nanoprocessing — KARSTEN KOENIG^{1,2}, AISADA UCHUGONOVA², IRIS RIEMANN², RONAN LEHARZIC^{1,2}, and ●JENS MÜLLER³ — ¹Saarland University, Faculty of Mechatronics&Physics, Campus, 66123 Saarbruecken — ²Fraunhofer IBMT, Ensheimer Strasse 48, 66386 St. Ingbert — ³JenLab GmbH, Schillerstrasse 1, 07745 Jena

Intense near infrared MHz femtosecond laser pulses at transient TW/cm² intensities and low pJ/nJ pulse energies can be used to perform material processing based on multiphoton ionization and plasma formation. Cut sizes of sub-wavelength, sub-100 nm which is far beyond the Abbe diffraction limit can be realized without any collateral damage effect. This technology has been used for nanodissection of

human chromosomes, targeted transfection of human stem cells due to the formation of nanoholes in the cellular membrane and for intraocular surgery. In addition, single cells within living tumor spheroids and 3D stem cell clusters were knocked out without destructive effects to the surrounding cells. Genomic regions of 40 nm size have been inactivated by a combination with metallic nanobeads. Sub-100nm nanoprocessing with 1 -2 nJ femtosecond laser pulses at 800 nm was also performed in metal films and silicon wafers. The femtosecond laser induced nanotopography in silicon and SU-8 photoresist was used to engineer particular morphologies of stem cells. As conclusion, femtosecond laser multiphoton microscopes can be considered as novel nanoprocessing tools in nanomedicine, nanobiotechnology and material science.

Hauptvortrag SYLM 4.4 Do 12:30 2B/C
Nanostructuring by Optical Near Fields — ●PAUL LEIDERER — University of Konstanz, 78457 Konstanz, Germany

Whereas the focusing of light in the optical far field is limited to a length of about half a wavelength due to diffraction, this restriction does not hold for the optical near fields in the vicinity of small objects. We have utilized this fact for structuring surfaces by means of local laser ablation on length scales far below the wavelength of the applied laser pulses. Both dielectric and metallic nanoparticles served as "nanoantennas" for structuring Si and glass surfaces as well as thin metal films. In order to avoid smearing out of the generated structures due to heat flow effects we have used femtosecond pulses (pulse duration 150 fs, wavelength 800nm) for our experiments. The smallest features achieved in this way had a scale of 10 nm.