

## Short Time-scale Physics Division Fachverband Kurzzeitphysik (K)

Andreas Görtler  
Leonhard-Wagner-Gymnasium  
86830 Schwabmünchen  
agoertler@gmx.de

### Overview of Invited Talks and Sessions (Lecture rooms f428; Poster Empore Lichthof)

#### Invited Talks

K 1.1	Mon	14:30–15:10	f428	<b>Information und Grenze physikalischer Erkenntnis</b> — •RUDOLF GERMER
K 3.1	Tue	14:30–15:10	f428	<b>Vibrational-rotational and electronic temperatures in laser induced plasma of polyethylene determined by optical emission spectroscopy</b> — •JOHANNES HEITZ, JURAJ JASIK, JOHANNES D. PEDARNIG, PAVEL VEIS
K 5.1	Wed	11:00–11:40	f428	<b>Strahl- und Optikcharakterisierung für Anwendungen in der Laser-Materialbearbeitung</b> — •BERND SCHÄFER, KLAUS MANN

#### Invited talks of the joint symposium SYAD

See SYAD for the full program of the symposium.

SYAD 1.1	Tue	11:00–11:30	e415	<b>Artificial gauge fields and topology with ultracold atoms in optical lattices</b> — •MONIKA AIDELSBURGER
SYAD 1.2	Tue	11:30–12:00	e415	<b>Many-body physics with impurities in ultracold quantum gases</b> — •FABIAN GRUSDT
SYAD 1.3	Tue	12:00–12:30	e415	<b>How to determine the handedness of single molecules</b> — •MARTIN PITZER
SYAD 1.4	Tue	12:30–13:00	e415	<b>Quantum systems under gravitational time dilation</b> — •MAGDALENA ZYCH

#### Invited talks of the joint symposium SYUL

See SYUL for the full program of the symposium.

SYUL 1.1	Fri	11:00–11:50	e415	<b>Exawatt laser concepts for extreme field science</b> — •CHRIS BARTY
SYUL 1.2	Fri	11:50–12:20	e415	<b>Generation of short pulses with ultra-high temporal contrast at the PHELIX petawatt facility</b> — •VINCENT BAGNOUD
SYUL 1.3	Fri	12:20–12:50	e415	<b>Petawatt lasers for particle acceleration at HZDR Dresden</b> — •ULRICH SCHRAMM
SYUL 1.4	Fri	12:50–13:20	e415	<b>High-intensity few-cycle pulses with ultrahigh temporal contrast</b> — •STEFAN KARSCH, ALEXANDER KESSEL, CHRISTOPH SKROBOL, MATHIAS KRÜGER, CHRISTOPH WANDT, SANDRO KLINGEBIEL, OLGA LYSOV, IZHAR AHMAD, SERGEI TRUSHIN, VYACHESLAV LESHCHENKO, ZSUZSANNA MAJOR, FERENC KRAUSZ
SYUL 2.1	Fri	14:00–14:30	e415	<b>Coherent Combination of Ultrafast Fiber Lasers</b> — •JENS LIMPERT
SYUL 2.2	Fri	14:30–15:00	e415	<b>Cryogenic multipass amplifiers for high peak and average power ultrafast lasers</b> — •LUIS E. ZAPATA
SYUL 2.3	Fri	15:00–15:30	e415	<b>Multi-TW infrared laser using Frequency domain Optical Parametric Amplification</b> — •BRUNO E. SCHMIDT, PHILIPPE LASSONDE, GUILMOT ERNOTTE, MATHIEU GIGUERE, NICOLAS THIRE, ANTOINE LARAMEE, HEIDE IBRAHIM, FRANCOIS LEGARE

**Sessions**

K 1.1–1.2	Mon	14:30–15:30	f428	<b>Optical Methods and New Applications</b>
K 2.1–2.2	Mon	15:50–16:30	f428	<b>Light Sources - EUV and Lasers</b>
K 3.1–3.5	Tue	14:30–16:30	f428	<b>Laser Applications and Laser Matter Interactions I</b>
K 4.1–4.7	Tue	16:30–19:00	Empore Lichthof	<b>Poster</b>
K 5.1–5.5	Wed	11:00–13:00	f428	<b>Laser Applications and Laser Matter Processing II</b>

**Annual General Meeting of the Short Time-scale Physics Division**

Montag 17:00–17:30 Raum f428

- Bericht des Vorsitzenden
- Verschiedenes

## K 1: Optical Methods and New Applications

Time: Monday 14:30–15:30

Location: f428

## Invited Talk

K 1.1 Mon 14:30 f428

**Information und Grenze physikalischer Erkenntnis** — ●RUDOLF GERMER — ITPeV — TU-Berlin

Daß sich Informationen maximal mit Lichtgeschwindigkeit verbreiten lassen, ist ein bekanntes physikalisches Phänomen. Die Lichtgeschwindigkeit taucht bei vielen physikalischen Fragestellungen auf, die Information wurde bisher dagegen stiefmütterlich behandelt. Wenn man beginnt, ein Universum aus einzelnen Objekten mit wenig Information aufzubauen, wird deutlich, daß physikalische Gesetze Beziehungen zwischen diesen Objekten beschreiben und daß Inhalt und Genauigkeit dieser Gesetze im Zusammenhang mit der Menge an Information stehen. Unschärferelationen, die Nullpunktsenergie und Gesetze des Rauschens sind aus einer solchen Position anschaulich zu verstehen. Die Maßstäbe von Zeit und Raum sind an die Existenz der Objekte gekoppelt. Der Einfluß des Experimentators auf eine Messung wird deutlich.

K 1.2 Mon 15:10 f428

**Zeitaufgelöste Spektroskopie zur Temperaturermittlung bei Stoßrohrexperimenten mit unterschiedlichen Machzahlen und Gaskonditionen** — ●HARTMUT BORCHERT, STEFAN BRIESCHENK und ALFRED EICHHORN — ISL, Deutsch-Französisches Forschungsinstitut, 5 rue du General Cassagnou, 68301 Saint-Louis, France

Zur besseren Kenntnis der Anströmbedingung von den Freiflugversuchen in den Hochenthalpie-Windkanälen wird eine spektroskopische Temperaturbestimmung durchgeführt. Die Anströmbedingung setzt die Kenntnis von Druck, Dichte, Geschwindigkeit und Temperatur voraus. Zur Ermittlung der Temperatur über der Zeit werden aus der Emission der sich unter verschiedenen Gaskonditionen ausbreitenden Schockwelle Spektren zeitaufgelöst gemessen. An die Kontinua der gemessenen Spektren wird die Planck-Funktion angepaßt, aus der sich dann die Temperatur ergibt.

## K 2: Light Sources - EUV and Lasers

Time: Monday 15:50–16:30

Location: f428

K 2.1 Mon 15:50 f428

**Einsatz einer Hochdruckdüse zur Erzeugung weicher Röntgenstrahlung mittels laserinduzierter Plasmen** — ●JONATHAN HOLBURG — Laser-Laboratorium Göttingen e.V.

In der Röntgenmikroskopie und -spektroskopie ist die weiche Röntgenstrahlung (SXR) im Bereich des Wasserfensters (2,3 nm - 4,4 nm) von besonderer Bedeutung. Für diese Anwendungen werden stabile Strahlquellen benötigt, die in genau diesem Spektralbereich eine hohe Emission aufweisen.

Die Verwendung einer mittels Gastarget betriebenen laserinduzierten Plasmaquelle ist eine geeignete Methode zur stabilen Erzeugung weicher Röntgenstrahlung. Durch die Fokussierung eines Laserstrahls auf ein Target wird ein Plasma erzeugt, welches als Strahlenquelle dient. Durch die Verwendung eines Gastargets wird ein nahezu debris-freier Betrieb der Strahlquelle erreicht. Die Bereitstellung des Targetmaterials erfolgt über eine gepulste Piezodüse. Basierend auf der Annahme, dass ein höherer Gasdruck entsprechend zu einer höheren Teilchendichte und damit zu einem brillanteren Plasma führt, wurde eine Hochdruckdüse entwickelt, deren Betrieb einen 10-fach höheren Gasdruck von bis zu 200 bar ermöglicht.

Neben Untersuchungen zur Teilchendichtebestimmung mit Hilfe eines Hartmann-Shack-Wellenfrontensensors werden Ergebnisse und spezielle Effekte der Plasmaerzeugung bei hohen Gasdrücken vorgestellt. Es wird gezeigt, dass durch die Verwendung einer Hochdruckdüse eine Steigerung der Brillanz um den Faktor 2 erreicht werden kann.

K 2.2 Mon 16:10 f428

**High-energy pump line for Ytterbium based frequency synthesizer** — ●ANNE-LAURE CALENDRON<sup>1,2</sup>, EMMA KUENY<sup>3</sup>, HUSEYIN CANKAYA<sup>1</sup>, FABIAN REICHERT<sup>1,2</sup>, MICHAEL HEMMER<sup>1</sup>, LUIS E. ZAPATA<sup>1</sup>, JOACHIM MEIER<sup>1</sup>, JOHANN DERKSEN<sup>1</sup>, GIOVANNI CIRMI<sup>1,2</sup>, OLIVER D. MÜCKE<sup>1,2</sup>, and FRANZ X. KÄRTNER<sup>1,2,4</sup> — <sup>1</sup>Center for Free-Electron Laser Science, Deutsches Elektronen Synchrotron, and Department of Physics, University of Hamburg, Hamburg (D) — <sup>2</sup>The Hamburg Centre for Ultrafast Imaging, Hamburg (D) — <sup>3</sup>Université Paris Sud, Orsay (F) — <sup>4</sup>RLE, MIT, Cambridge (USA)

Attosecond pulses are sought for experiments investigating intratomic phenomena on the attosecond or femtosecond time scale, and can currently only be obtained via high-harmonics generation (HHG) in gases. The laser driver system we develop for HHG is capable of delivering a broadband spectrum covering several octaves with high energy, obtained via parallel parametric amplification stages. Here, we will present the developments of the ytterbium based pump laser for high-energy OPCPAs.

The output of a regenerative amplifier delivering 5mJ pulses at 1µm is divided into 2 parts: one is compressed to sub-ps duration and then used for generating broadband, low energy, CEP stable pulses as seed for OPCPAs. The other one is further amplified by a cryogenically cooled Yb:YAG amplifier before compression to <5ps duration and serves as OPCPA pump. These two arms require timing synchronization. We will present our latest results in the development of the pump line, compression of the high-energy pulses, and synchronization.

## K 3: Laser Applications and Laser Matter Interactions I

Time: Tuesday 14:30–16:30

Location: f428

## Invited Talk

K 3.1 Tue 14:30 f428

**Vibrational-rotational and electronic temperatures in laser induced plasma of polyethylene determined by optical emission spectroscopy** — ●JOHANNES HEITZ<sup>1</sup>, JURAJ JASIK<sup>3</sup>, JOHANNES D. PEDARNIG<sup>1</sup>, and PAVEL VEIS<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institute of Applied Physics, Johannes Kepler University Linz, Austria — <sup>2</sup>Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Bratislava, Slovakia — <sup>3</sup>Department of Organic Chemistry, Charles University in Prague, Czech Republic

Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) of polyethylene (PE) is investigated employing vacuum ultraviolet (VUV) laser ablation in argon or nitrogen gas background and optical detection from VUV to visible (VIS) spectral range. In the VUV range (wavelength 115 to 200 nm), strong atomic emission lines of carbon are detected by using a homemade VUV spectrometer equipped with gated photon counter.

In the VIS range, intense molecular emissions, C2 Swan and CN violet bands, are measured with an Echelle spectrometer equipped with an intensified CCD camera. Measured molecular emission spectra (C2 Swan and CN violet bands) are fitted by vibrational-rotational transitions and good agreement of measured and fitted spectra is achieved. The vibrational-rotational temperatures are determined from fits. From the atomic line intensities and molecular band intensities, we conclude that there are systematic differences of the various temperatures. These differences can be related to different locations of the atomic and molecular species in the expanding plasma plume.

K 3.2 Tue 15:10 f428

**Quantitative Untersuchungen von Halogenverbindungen in kalibrierten Betonproben mit LIBS über die zeitaufgelöste Messung von Molekülbanden** — ●THOMAS DIETZ, PETER KOHNS

und GEORG ANKERHOLD — Hochschule Koblenz, Laserspektroskopie und Photonik, Joseph-Rovan-Allee 2, 53424 Remagen

Hauptursache der Korrosion von Stahlbeton ist eindiffundiertes Tausalz. Die laserinduzierte Plasmaspektroskopie (LIBS) stellt eine vielversprechende Messmethode für die schnelle orts aufgelöste Konzentrationsbestimmung chemischer Elemente dar. Atomares Chlor zeigt leider nur sehr schwache Emissionslinien, so dass die geforderte Nachweisgrenze nicht erreicht werden kann. Ein bislang wenig beachteter Ausweg wäre die zeitaufgelöste Untersuchung deutlich stärkerer Molekülbanden, die in der Abkühlphase des laserinduzierten Plasmas beobachtet werden können. Insbesondere erscheinen CaCl-Radikale, die sich aus dem im Beton stets vorhandenen Calcium zusammen mit Chlor bilden, für quantitative spektroskopische Messungen geeignet.

Wir haben den Chlorgehalt kalibrierter Betonpresslinge mit zeitaufgelöstem LIBS untersucht und die charakteristische CaCl-Molekülbanden aufgenommen. Zur qualitativen und quantitativen Auswertung sind Methoden der multivariaten Datenanalyse eingesetzt worden. Unsere Messungen zeigen eine gute Übereinstimmung der Stärke der CaCl-Banden mit dem Chlorgehalt der Presslinge. Die nach europäischer Norm geforderte Nachweisgrenze von 0,5 Masseprozent konnte sicher erreicht werden.

Gefördert über ZIM durch das BMWi.

K 3.3 Tue 15:30 f428

**Influence of gas background and pressure on calibration-free analysis of multi-component oxides by laser-induced breakdown spectroscopy** — •JOSEF HECHENBERGER<sup>1</sup>, SIMON ESCHLBOECK-FUCHS<sup>1</sup>, NORBERT HUBER<sup>1</sup>, ROMAN RÖSSLER<sup>2</sup>, and JOHANNES D. PEDARNIG<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institute of Applied Physics, Johannes Kepler University Linz, A-4040 Linz, — <sup>2</sup>voestalpine Stahl GmbH, A-4031 Linz, Austria

Calibration-free Laser-induced breakdown spectroscopy (CF-LIBS) enables to determine the concentration of elements in a sample material without measuring reference samples. We investigate the influence of the background gas and gas pressure on the plasma parameters and the CF-LIBS analysis. Samples are slags from industrial steel production consisting of 7 major and minor oxides (CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, SiO<sub>2</sub>, FeO, MnO, TiO<sub>2</sub>) with varying concentrations. Plasma is ignited on samples in a vacuum chamber with gas supply and pressure control by Nd:YAG laser ablation. The electron number density  $N_e$  and plasma temperature  $T_e$  and the CF-LIBS calculated concentrations of oxides CCF are determined.  $N_e$  was derived from Stark-broadening of Mg I line and  $T_e$  by Saha-Boltzmann plot method of Ca, Mn and Ti lines. The concentrations CCF were compared to nominal concentrations

CN analyzed by X-Ray fluorescence (XRF). Our preliminary results indicate that multi-oxide samples can be CF-LIBS analyzed with similar relative errors in Martian-simulant atmosphere (approx. 7 mbar CO<sub>2</sub>) and air atmosphere (1 bar). Financial support by the Austrian Research Promotion Agency FFG (Project 838861) is acknowledged.

K 3.4 Tue 15:50 f428

**Low-loss femtosecond laser written waveguides in PMMA** — •WELM PÄTZOLD<sup>1</sup>, CARSTEN REINHARDT<sup>2</sup>, AYHAN DEMIRCAN<sup>1,3</sup>, and UWE MORGNER<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Institut für Quantenoptik, Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover — <sup>2</sup>Laserzentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, 30419 Hannover — <sup>3</sup>Hannoversche Zentrum für optische Technologien, Nienburger Straße 17, 30167 Hannover

We present recent results of low-loss femtosecond laser written waveguides in poly(methyl methacrylate) (PMMA). The laser pulses get focused inside the bulk material and an increase in refractive index is induced by non-linear absorption. The measured propagation losses of these embedded waveguides are well below 1 dB/cm for visible and near-infrared wavelengths. Utilizing a refocusing effect, we achieve guiding of an almost symmetric fundamental mode. Influences of the most important writing parameters such as pulse energy, writing speed and repetition rate are investigated. The three-dimensional capabilities of this process in combination with low propagation losses make it a good candidate for rapid prototyping applications on a large scale, such as in polymer foils.

K 3.5 Tue 16:10 f428

**Crystal-momentum resolved analysis of femtosecond-laser induced ultrafast melting in silicon** — •TOBIAS ZIER, EEUWE S. ZIJLSTRA, and MARTIN E. GARCIA — Theoretische Physik, Universität Kassel, Germany

The phenomenon of ultrafast melting, the structural disordering within several hundreds of femtoseconds after an irradiation with an ultrashort laser pulse, in silicon is a subject of interest since several decades. Whereas it is by now well understood that it originates from a non-equilibrium state, in which the electronic system has a much higher temperature (several 10 000 K) than the ions, the microscopic trajectories of the atoms are still obscure. We used our ab initio code CHIVES to perform MD-Simulations of supercells with up to 512 atoms and analyzed the data by projecting the atomic motion onto different phonon directions in order to study in which direction the crystal is melting. We surprisingly found that our result depends on the laser fluence.

## K 4: Poster

Time: Tuesday 16:30–19:00

Location: Empore Lichthof

K 4.1 Tue 16:30 Empore Lichthof

**Compression of multi-mJ, 35-fs to the few-cycle regime** — •YINYU ZHANG<sup>1</sup>, PHILIPP WUSTELT<sup>1,2</sup>, MAX MOELLER<sup>1,2</sup>, MAX SAYLER<sup>1</sup>, and GERHARD PAULUS<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Institute for Optics and Quantum Electronics, Jena, Germany — <sup>2</sup>Helmholtz Institut Jena, Jena, Germany

Laser pulses of few optical cycles duration and high pulse energy have become fundamental tools for many ultra-intense and ultrafast nonlinear science experiments, such as high-harmonic generation (HHG) and attosecond physics. Here we present a study of few-cycle pulses with multi-mJ pulse energy from a Ti: Sapphire laser system with 35-fs pulse duration. The pulse compression by a hollow core fiber (HCF) filled with gradient pressure of noble gases and filamentation were studied. The experimental parameters and the compression results from two compression mechanisms were compared.

In addition, the efficiency of coherent pulses combination of delayed pulses were tested for compression through a HCF and filamentation. The birefringent crystals, quartz and calcite with different thickness were used for temporal pulse division and coherent combination. Pulses with 10-fs pulse duration and multi-mJ energy were generated with different compression techniques

K 4.2 Tue 16:30 Empore Lichthof

**Excited State Dynamics and Conformations of a Cu(II)-Phthalocyanine-Perylenebisimide Dyad** — •KEVIN

WILMA<sup>1</sup>, THOMAS UNGER<sup>2</sup>, MANUEL HOLLFELDER<sup>3</sup>, CHRISTOPH HUNGER<sup>4</sup>, SINEM TUNCEL<sup>4,5</sup>, ANNA KÖHLER<sup>2</sup>, MUKUNDAN THELAKKAT<sup>4</sup>, STEPHAN GEKLE<sup>3</sup>, JÜRGEN KÖHLER<sup>1</sup>, and RICHARD HILDNER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Experimentalphysics IV, University of Bayreuth — <sup>2</sup>Experimentalphysics II, University of Bayreuth — <sup>3</sup>Physics Department, University of Bayreuth — <sup>4</sup>Applied Functional Polymers, University of Bayreuth — <sup>5</sup>Technical University of Gebze, Turkey

We investigate a new molecular donor-bridge-acceptor system, a Cu(II)-phthalocyanine (CuPc) covalently linked via a long, flexible spacer group to a perylenebisimide (PBI), for its potential use in solar cell applications. In order to get insights into the excited state dynamics and the conformation of this dyad, we performed time-resolved polarization anisotropy and pump-probe measurements in combination with molecular dynamics simulations. The data suggest the existence of two conformations of the dyad: an extended conformation and a highly stable folded structure, in which PBI and CuPc are stacked on top of each other. The extended dyad shows emission from both PBI and CuPc. In contrast, for the folded conformation the emission of the dyad is strongly quenched, due to energy transfer from the PBI to CuPc (3 ps) and subsequent intersystem-crossing (300 fs) from the first excited singlet state of CuPc into the triplet state. Finally (non-)radiative deactivation of the triplet state takes place within 25 ns.

K 4.3 Tue 16:30 Empore Lichthof

**An XUV and soft X-ray split-and-delay unit for FLASH**

**II — •MATTHIAS ROLLNIK, SEBASTIAN ROLING, FRANK WAHLERT, MICHAEL WÖSTMANN, and HELMUT ZACHARIAS** — Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Germany

An XUV and soft X-ray split-and-delay unit is built that enables time-resolved pump-probe experiments covering the whole spectral range of FLASH II from  $h\nu = 30$  eV up to 1500 eV. With wave front beam splitting and grazing incidence angles sub-fs resolution with a maximum delay of  $-6$  ps  $< \Delta t < +18$  ps will be achieved. Two different coatings are required to cover the complete spectral range. Therefore, a design that is based on a three dimensional beam path allows choosing the propagation via two sets of mirrors with these coatings. A Ni coating will allow a total transmission on the order of  $T = 55\%$  for photon energies between  $h\nu \approx 30$  eV and 600 eV at a grazing angle of  $\theta = 1.8^\circ$  in the variable delay line. With a Pt coating at a grazing angle of  $\theta = 1.3^\circ$  a transmission of  $T > 29\%$  will be possible for photon energies up to  $h\nu = 1500$  eV. For a future upgrade of FLASH II the Ni coating can be used at a grazing angle of  $\theta = 1.3^\circ$  to cover a range up to  $h\nu \approx 2500$  eV.

K 4.4 Tue 16:30 Empore Lichthof

**Wavefront propagation study concerning the influence of non-ideal mirror surfaces inside a split-and-delay unit on the focusability of XFEL-pulses** — •VICTOR KÄRCHER<sup>1</sup>, SEBASTIAN ROLING<sup>1</sup>, LIUBOV SAMOYLOVA<sup>2</sup>, KAREN APPEL<sup>2</sup>, FRANK SIEWERT<sup>3</sup>, HARALD SINN<sup>2</sup>, ULF ZASTRAU<sup>2</sup>, and HELMUT ZACHARIAS<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Westfälische Wilhelms-Universität Münster — <sup>2</sup>European XFEL GmbH, Hamburg — <sup>3</sup>Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie

For the High Energy Density (HED) instrument at the SASE2 - Undulator at the European XFEL an x-ray split-and-delay unit (SDU) is built covering photon energies from  $h\nu = 5$  keV up to  $h\nu = 24$  keV. This SDU will enable time-resolved x-ray pump / x-ray probe experiments as well as sequential diffractive imaging on a femtosecond to picosecond time scale. In order to reach intensities on the order of  $10^{15}$  W/cm<sup>2</sup> the XFEL pulses will be focused by means of compound refractive lenses (CRL) to a diameter of  $D = 24$   $\mu$ m. The influence of wavefront disturbances caused by height- und slope-errors of the mirrors inside the SDU on the quality of the two focused partial beams is studied by wavefront propagation simulations using the WPG-framework.

K 4.5 Tue 16:30 Empore Lichthof

**A split-and-delay unit for the European XFEL: Enabling hard x-ray pump/probe experiments at the HED instrument** — •SEBASTIAN ROLING<sup>1</sup>, KAREN APPEL<sup>2</sup>, STEFAN BRAUN<sup>3</sup>, PETER GAWLITZ<sup>3</sup>, HARALD SINN<sup>2</sup>, FRANK WAHLERT<sup>1</sup>, ULF ZASTRAU<sup>2</sup>, and HELMUT ZACHARIAS<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Westfälische Wilhelms-Universität Münster — <sup>2</sup>European XFEL GmbH, Hamburg — <sup>3</sup>Fraunhofer IWS, Dresden

For the High Energy Density (HED) instrument at the SASE2 - Undulator at the European XFEL an x-ray split-and-delay unit (SDU) is built covering photon energies from  $h\nu = 5$  keV up to  $h\nu = 24$  keV. This SDU will enable time-resolved x-ray pump / x-ray probe experiments as well as sequential diffractive imaging on a femtosecond to picosecond time scale. Further, direct measurements of the temporal coherence properties will be possible by making use of a linear autocorrelation. The x-ray FEL pulses will be split by a sharp edge of a silicon

mirror coated with Mo/B<sub>4</sub>C and W/B<sub>4</sub>C multilayers. Both partial beams will then pass variable delay lines. For different wavelengths the angle of incidence onto the multilayer mirrors will be adjusted in order to match the Bragg condition. Because of the different incidence angles, the path lengths of the beams will differ as a function of wavelength. Hence, maximum delays between  $\pm 1.0$  ps at  $h\nu = 24$  keV and up to  $\pm 23$  ps at  $h\nu = 5$  keV will be possible. Measurements of the reflectance of the multilayer coatings have been performed at the ESRF yielding a maximum reflectance of the Mo/B<sub>4</sub>C coating of  $R = 0.85$ .

K 4.6 Tue 16:30 Empore Lichthof

**Ripple-Bildung in der Oberfläche von Metallen und Hartstoffen durch Bestrahlung mit Femtosekundenlaserstrahlungspulsen** — •ANDY ENGEL, MANUEL PFEIFFER und STEFFEN WEISSMANTEL — Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida, Germany

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

K 4.7 Tue 16:30 Empore Lichthof

**Einzelpulsabtrag von Metallschichten mit ultrakurzem Laserpuls unterschiedlicher Pulsdauer** — •PETER LICKSCHAT, JÖRG SCHILLE, MARKUS OLBRICH, LUTZ SCHNEIDER, ALEXANDER HORN und STEFFEN WEISSMANTEL — Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

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

## K 5: Laser Applications and Laser Matter Processing II

Time: Wednesday 11:00–13:00

Location: f428

### Invited Talk

K 5.1 Wed 11:00 f428

**Strahl- und Optikcharakterisierung für Anwendungen in der Laser-Materialbearbeitung** — •BERND SCHÄFER und KLAUS MANN — Hans-Adolf-Krebs-Weg 1, 37077 Göttingen

Der Vortrag gibt einen Überblick über den Stand und aktuelle Entwicklungen im Bereich der Laserstrahlcharakterisierung. Neben der Beschreibung von Messmethoden nach ISO-Norm liegt ein Schwerpunkt auf der Diagnose mit Hartmann-Shack Wellenfrontsensoren sowie Wellenfront-Krümmungssensoren. Die simultane Erfassung von Wellenfront und Nahfeldprofil erlaubt es Parameter wie Strahldurchmesser, Divergenz und M\* quasi in Echtzeit bestimmen. Erweiterungen des Wellenfrontsensors und alternative Techniken insbesondere zur Erfassung der Kohärenzeigenschaften von Laserstrahlung werden kurz

angesprochen.

Als Beispiel für den Einsatz von Wellenfrontsensoren in der Optikcharakterisierung werden Weiterentwicklungen des photothermischen Verfahrens basierend auf der Bestimmung der strahlungsinduzierten thermischen Wellenfrontdeformation in Hochleistungs-Laseroptiken vorgestellt.

K 5.2 Wed 11:40 f428

**Mikrostrukturierung von Quarzglas mittels Femtosekundenlaserstrahlung unterschiedlicher Wellenlängen** — •ANDY ENGEL, MANUEL PFEIFFER und STEFFEN WEISSMANTEL — Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida, Germany

Es werden Ergebnisse der Untersuchungen zur Mikrostrukturierung von hochreinem Quarzglas (Corning 7980 HPFS) durch Bestrahlung mittels Ultrakurzpuls-Laserstrahlung unterschiedlicher Wellenlängen präsentiert. Für die Untersuchungen wurde eine Femtosekundenlaseranlage mit einem integrierten Pharos FS-Lasersystem 15-1000-PP (Wellenlänge 1028 nm, 514 nm bzw. 257 nm, Repetitionsrate 200 kHz, Pulsdauer < 290 fs) genutzt. Ziel der durchgeführten Untersuchungen war die Bestimmung grundlegender Abtragsparameter (z.B. Abtragsvolumen und Abtragsraten) der eingebrachten Mikrostrukturen in Abhängigkeit von den applizierten Laserstrahl- und Prozessparametern (Wellenlänge, Fluenz und Pulsanzahl). Auf Grundlage der durchgeführten Abtragsuntersuchungen (Pulsabträge) erfolgte die Bestimmung der Schwellfluenzwerte der Mikrostrukturierung für die unterschiedlichen verwendeten Wellenlängen und Pulsanzahlen.

K 5.3 Wed 12:00 f428

**Mikrostrukturierung von Stahl mit Pikosekundenlaserpulsen im Burst-Modus** — ●STEFFEN WEISSMANTEL und PETER LICKSCHAT — Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

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

K 5.4 Wed 12:20 f428

**Influence of a femtosecond-laser pulse on the Peierls distortion in antimony** — ●BERND BAUERHENNE<sup>1,2</sup>, EEUWE S. ZIJLSTRA<sup>1,2</sup>, and MARTIN E. GARCIA<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Theoretical Physics, University of Kassel, Heinrich-Plett-Strasse 40, D-34132 Kassel, Germany

— <sup>2</sup>Center for Interdisciplinary Nanostructure Science and Technology (CINSaT), Heinrich-Plett-Strasse 40, D-34132 Kassel, Germany

Antimony crystallizes in the rhombohedral A7 structure, which can be constructed from a simple cubic lattice by rhombohedrally distorting it along a body diagonal. This distortion can be described in terms of an internal lattice parameter  $z$ . Under ambient conditions, antimony prefers  $z=0.2336$  instead of  $z=0.25$ , which corresponds to the simple cubic lattice. This so-called Peierls distortion can be easily seen in the atomic structure, which consists of layers with alternating short and long distances that become equal for  $z=0.25$ . Excitation by an intense femtosecond-laser pulse increases the equilibrium position of  $z$  and, consequently, excites displacively the A1g phonon, which corresponds to a movement of the before-mentioned atomic layers against each other. For a sufficiently high laser excitation the A1g oscillation exceeds  $z=0.25$  and the alternation of short and long interplanar distances is inverted. We studied this Peierls inversion in dependence of the laser excitation by means of large cell ab initio molecular dynamics simulations and obtained the range of excitations that can be used to achieve this process.

K 5.5 Wed 12:40 f428

**Untersuchungen zum Abtragsverhalten dünner Metallschichten mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung** — MARKUS OLBRICH, ERIC PUNZEL, PETER LICKSCHAT, STEFFEN WEISSMANTEL und ●ALEXANDER HORN — Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Ultrakurz gepulste Laserstrahlung ermöglicht den definierten Abtrag verschiedenster Materialien mit einer hohen räumlichen Auflösung. Insbesondere können mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung dünne Schichten mit einer hohen Präzision und Genauigkeit strukturiert und abgetragen werden. Dies erfordert jedoch ein detailliertes physikalisches Verständnis der während der Wechselwirkung von Laserstrahlung mit Materie stattfindenden Prozesse, sowie der anschließenden Auswirkungen auf das Material. Aus diesem Grund wurde das Abtragsverhalten dünner Aluminium-, Gold- und Platinschichten experimentell durch Bestrahlung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung (Pharos<sup>®</sup>, Light Conversion Ltd.,  $\lambda = 1.028$  nm,  $M^2 = 1,2$ ) für unterschiedliche Schichtdicken der Materialien ( $d = 30$  nm -  $2$   $\mu$ m) sowie verschiedener Pulsdauern ( $\tau_H = 200$  fs -  $10$  ps) der Laserstrahlung untersucht. Die Untersuchungen konnten zwei sich unterscheidende Bearbeitungsbereiche, den Strong- und den Gentle-Ablation-Bereich, nachweisen. Zur Erhöhung des Verständnisses wurden theoretische Betrachtungen auf der Grundlage der thermophysikalischen Eigenschaften sowie des Zwei-Temperatur-Modells (TTM) durchgeführt.