

KURZPULSLASER - FS UND PS-SYSTEME, ANWENDUNGEN UND PERSPEKTIVEN (SYKP)

Dr. Andreas Görtler
 TuiLaser AG
 Zielstattstraße 32
 81379 München
 E-Mail: a.goertler@tuilaser.com

Prof. Dr. Reinhart Poprawe M.A.
 Fraunhofer ILT
 Präsident der WLT
 Steinbachstraße 15
 52074 Aachen
<http://wlt.de>

Im Rahmen des Symposium wird in über aktuelle Trends und Entwicklungen im Bereich der Kurzpulslaser berichtet. Neben den Laserquellen werden auch Anwendungen in Industrie, Medizin und Wissenschaft dargestellt. Ebenso werden Perspektiven zukünftiger Entwicklungen und Anwendungen gegeben.

ÜBERSICHT DER HAUPTVORTRÄGE (Hörsaal 1001)

Hinweis: Plenarvortrag von Herrn Tünnermann

Am Mittwoch findet um 8:30 Uhr im Raum 1002 der Plenarvortrag von Herrn Tünnermann zum Thema „Ultrakurzpuls-Faserlaser“ statt.

Hauptvorträge

SYKP 1.1	Mi	09:30	(1001)	Nanotechnology with fs-laser pulses, <u>Andreas Ostendorf</u>
SYKP 2.1	Mi	10:30	(1001)	Femtosecond Laser Pulse Carrier-Envelope Phase Stabilisation, <u>Andreas Assion</u>
SYKP 2.2	Mi	11:00	(1001)	Der Femtosekunden-Faserlaser und seine Anwendungen, <u>Jan Posthumus</u>
SYKP 2.3	Mi	11:30	(1001)	Compact Ultrafast Lasers, <u>Max Lederer</u>
SYKP 2.4	Mi	12:00	(1001)	Scheibenlaser im Pulsbetrieb, <u>Adolf Giesen</u>
SYKP 2.5	Mi	12:30	(1001)	Präzise Mikromaterialbearbeitung mit hochrepetierenden Pikosekundenlasern, <u>Ralf Knappe</u> , Thomas Herrmann, Bernhard Henrich, Achim Nebel
SYKP 3.1	Mi	14:00	(1001)	Femtonik-Programme des BMBF: Ergebnisse und neue Aktivitäten, <u>Friedrich Dausinger</u>
SYKP 3.2	Mi	14:30	(1001)	Ausgewählte Anwendungen der Wechselwirkung von Femtosekunden Laserstrahlung mit Materie, <u>Alexander Horn</u>
SYKP 3.3	Mi	15:00	(1001)	Mikro-Schockwellen durch Ultrakurzpuls-Interaktion als neuartiger Mechanismus für ein hochgenaues Laserjustierverfahren, <u>Michael Schmidt</u> , Manfred Dirscherl
SYKP 3.4	Mi	15:30	(1001)	Anwendungspotential ultrakurzer Laserpulse in der Medizin und Life science, <u>Holger Lubatschowski</u>
SYKP 3.5	Mi	16:00	(1001)	Ultrakurzpulslaser in der Medizin, <u>Frieder Loesel</u>
SYKP 4.1	Mi	17:00	(1001)	Zukünftige Anwendungen von Kurzpulslasern, <u>Wolfgang Sandner</u>

Fachsitzungen

– Hauptvorträge –

SYKP 1 Symposium Kurzpulslaser I - Einführung

Zeit: Mittwoch 09:30–10:00

Raum: 1001

Hauptvortrag

SYKP 1.1 Mi 09:30 1001

Nanotechnology with fs-laser pulses — ●ANDREAS OSTENDORF — Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, 30419 Hannover

Due to their high intensities and the nonlinear absorption process femtosecond lasers can be used as a flexible tool for the nanostructuring of metal layers and transparent materials. The aim is to develop a simple laser-based technology for fabricating two- and three-dimensional nanostructures with structure sizes on the order of several hundred nanometers. This is required for many applications in photonics, for the fabrica-

tion of photonic crystals and microoptical devices, for data storage, displays, etc. Measurements of thermionic electron emission from metal targets, which provide valuable information on the dynamics of femtosecond laser ablation, are discussed. Sub-wavelength microstructuring of metals is performed and the minimum structure size that can be fabricated in transparent materials with different energy bandgap is identified. Two-photon polymerization of hybrid polymers is demonstrated as a promising femtosecond laser-based 3-d nanofabrication technology. Using this technology opens the horizon for many new applications ranging from nanophotonics to biomedical implants.

SYKP 2 Symposium Kurzpulslaser II - Strahlquellen

Zeit: Mittwoch 10:30–13:00

Raum: 1001

Hauptvortrag

SYKP 2.1 Mi 10:30 1001

Femtosecond Laser Pulse Carrier-Envelope Phase Stabilisation — ●ANDREAS ASSION — Femtolasers Produktions GmbH

Die Carrier-Envelope Phase bestimmt den zeitlichen Unterschied zwischen der Einhüllenden des elektrischen Feldes eines ultrakurzen Laserpulses und der Trägerfrequenz. Die Krontrolle der Carrier-Envelope Phase eröffnet völlig neue Perspektiven hinsichtlich der Präzision von Messungen im Frequenz- und im Zeitbereich. Die Carrier-Envelope Phasen Stabilisierung bewirkt, dass ultrakurze Laserpulse im Frequenzbereich einen Frequenzkamm aufweisen. Basierend auf diesen Frequenzkamm wurden hoch auflösende spektroskopische Verfahren mit bisher nicht erreichter Genauigkeit entwickelt. Mittels Carrier-Envelope Phase stabilisierten Lasersystemen können weiche Röntgenstrahlen im Attosekundenbereich erzeugt werden, was die derzeitige zeitliche Auflösung um etwa einen Faktor 100 erhöht. In diesem Beitrag wird ein Carrier-Envelope Phasen stabilisiertes Lasersystem vorgestellt. Es werden zwei Techniken zur Messung der Carrier-Envelope Phase und das Konzept zur Stabilisierung erläutert, der Einfluss der Verstärkerkomponenten auf den Phasen-Jitter und den Phasen-Drift diskutiert und derzeitige Anwendungen in der Metrologie und Attosekunden-Puls Erzeugung vorgestellt.

Festkörperlasermaterialien sowie verschiedener Mode-locking Methoden in den letzten 15 Jahren beachtliche Fortschritte erzielt. Der erreichte Entwicklungsstatus animiert eine wachsende Zahl von Anwendern in der Industrie, Biomedizin, Metrologie u. s. w. dazu, die Vorteile von UKPL Strahlung für ihre Prozesse einzuspannen. Neben den permanenten Anstrengungen, die Produktspezifikationen den Prozessanforderungen anzupassen geht deshalb ein weiterer wichtiger Entwicklungsschritt hin zur Kompaktisierung und Stabilisierung der Systeme, um die Systemintegration zu erleichtern und den dauerhaften "turn-key" Einsatz zu garantieren. Der Vortrag zeigt verschiedene Beispiele.

Hauptvortrag

SYKP 2.2 Mi 11:00 1001

Der Femtosekunden-Faserlaser und seine Anwendungen — ●JAN POSTHUMUS — Toptica Photonics, Lochhamer Schlag 19, 82166 Gräfelfing/München

Der neue FemtoFiber Laser von Toptica Photonics ist ein robuster, wartungsfreier, und kostengünstiger Femtosekundenlaser. Neue Anwendungen mit der Femtosekunden-Technologie sind häufig so komplex, dass die Zuverlässigkeit des Lasers mitentscheidend für den wissenschaftlichen Erfolg ist. Außerhalb des Laserlaboratoriums ist die Bedienerfreundlichkeit ein wichtiges Kriterium, weil nicht alle Anwender auch Laserexperten sind.

In diesem Beitrag wird das Konzept von unserem Erbium-Faserlaser vorgestellt sowie die verschiedenen Optionen, die den Durststimmbereich auf mehr als zwei Oktaven erweitern (~ 500 - 2100 nm). Verschiedene Anwendungen, bei denen dieser Laser bereits eingesetzt wird, werden kurz erläutert. Diese sind:

- Die Erzeugung von Frequenzkämmen für hochpräzise Spektroskopie
- Neue Wellenlängen für die konfokale Mikroskopie (auch gepulst)
- Terahertz-Spektroskopie
- Pump-probe Spektroskopie
- Seeden von Verstärkern (auch OPCPA)

Hauptvortrag

SYKP 2.3 Mi 11:30 1001

Compact Ultrafast Lasers — ●MAX LEDERER — High Q Laser Production GmbH, Kaiser-Franz-Josef-Str. 61, A-6845 Hohenems, Österreich

Ultrakurzpulsl Lasersysteme (UKPL) haben durch Entwicklung und Ausreifung von Konzepten wie z. B. das Diode-Pumpen von

Hauptvortrag

SYKP 2.4 Mi 12:00 1001

Scheibenlaser im Pulsbetrieb — ●ADOLF GIESEN — Universität Stuttgart, Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW), Pfaffenwaldring 43, 70569 Stuttgart

Neben den herausragenden Eigenschaften des Scheibenlaserdesigns für kontinuierlichen Laserbetrieb ist der Scheibenlaser auch für gepulste Lasersysteme geeignet, vor allem, wenn hohe mittlere Leistungen gefordert werden. Bis heute wurden gepulste Scheibenlasersysteme für Pulsdauern im ns-, ps- und fs-Bereich demonstriert. Alle Systeme zeichnen sich durch ihre gute Strahlqualität und ihren hohen Wirkungsgrad aus. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse für gütegeschaltete Scheibenlaser und für die Pulsverstärkung mit Hilfe des Scheibenlasers detailliert dargestellt. Mittlere Leistungen von mehr als 100 W sind für alle Pulsdauern bei hohen Repetitionsraten erreichbar. Ebenfalls sind Pulse mit Energien von mehr als 100 mJ aus einer Scheibe extrahierbar. Anhand aktueller Ergebnisse wird gezeigt, dass mit Scheibenlasern Pulse mit hoher Energie und hoher mittlerer Leistung im gesamten Pulsdauerbereich zwischen einigen 100 fs und einigen 100 ns sowohl erzeugt als auch verstärkt werden können.

Hauptvortrag

SYKP 2.5 Mi 12:30 1001

Präzise Mikromaterialbearbeitung mit hochrepetierenden Pikosekundenlasern — ●RALF KNAPPE, THOMAS HERRMANN, BERNHARD HENRICH und ACHIM NEBEL — LUMERA LASER GmbH, Opelstr. 10, 67661 Kaiserslautern

Die Vorteile von ultrakurzen Laserimpulsen für die Mikromaterialbearbeitung sind wohlbekannt. Höchste Bearbeitungsqualität mit beispielloser Präzision wird mit Femtosekundenlasern seit einigen Jahren in unterschiedlichen Anwendungen an verschiedenen Materialien demonstriert. Neuartige Pikosekunden-Festkörperlaser erreichen eine vergleichbare Bearbeitungsqualität bei vielen Materialien. Zusätzlich ermöglichen sie durch ihre hohe Effizienz, diese Qualität auch wirtschaftlich in vielen industriellen Anwendungen nutzbar zu machen. Die direkt diodengepumpten Pikosekundenlaser erzeugen hohe mittlere Leistungen mit guter Strahlqualität. Pulswiederholraten von einigen hundert kHz werden direkt in hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten umgesetzt. Eine Pulsdauer von ca. 10 ps ist ideal zur Bearbeitung von Metallen und hinreichend,

um auch mit Gläsern, Keramiken und Halbleitern gute Ergebnisse zu erzielen. Der freie Zugriff auf die Laserpulse durch TTL-Trigger ermöglicht es dem Benutzer, die Pulswiederholrate auf externe Prozesse zu synchronisieren und auf Abruf Impuls-Gruppen, -Sequenzen oder Bursts zu er-

zeugen. Bearbeitungsbeispiele für Schneiden, Bohren und Strukturieren von unterschiedlichen Materialien mit hoher Qualität werden präsentiert und das große Potenzial von Pikosekundenlasern in neuen industriellen Anwendungen wird diskutiert.

SYKP 3 Symposium Kurzpulslaser III - Anwendungen

Zeit: Mittwoch 14:00–16:30

Raum: 1001

Hauptvortrag

SYKP 3.1 Mi 14:00 1001

Femtonik-Programme des BMBF: Ergebnisse und neue Aktivitäten — ●FRIEDRICH DAUSINGER — Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge mbH, Pfaffenwaldring 43, 70569 Stuttgart

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert seit einigen Jahren die Entwicklung von Femtosekundenlasern und deren Anwendungen. Im Projektverband Femtosekundentechnologie (FST) wurden in sechs Verbundprojekten die Themen

- Präzise Mikrobearbeitung technischer Materialien
- Medizinische Therapie
- Erzeugung von Röntgenstrahlung
- Dreidimensionale Messtechnik und
- Arbeitssicherheit

behandelt. Im Herbst 2004 hat eine neue Förderperiode begonnen. Im Projektverband Femtonik sind zehn Verbundprojekte vorgesehen, von denen inzwischen die meisten starten konnten. Die Themen umfassen neuartige Strahlquellen, Röntgenstrahlerzeugung, Medizintechnik und Mikrofertigungstechnik.

Der Beitrag gibt einen Überblick über die im FST-Verband erzielten Ergebnisse und die im Femtonik-Verband laufenden Aktivitäten.

Hauptvortrag

SYKP 3.2 Mi 14:30 1001

Ausgewählte Anwendungen der Wechselwirkung von Femtosekunden Laserstrahlung mit Materie — ●ALEXANDER HORN — Lehrstuhl für Lasertechnik der RWTH Aachen, Steinbachstrasse 15, 520 74 Aachen

Die Anwendung von ultrakurz gepulster Laserstrahlung erstreckt sich von der Metrologie, über Mikromaterialbearbeitung bis zur Life-Science. Femtosekunden Laserstrahlung besitzt optisch interessante Eigenschaften, wie z.B. die große spektrale Bandbreite welche für zeitaufgelöste Spektroskopie eingesetzt wird oder die ultrakurze Pulsdauern < 100 fs, welche z.B. in der Mikromaterialbearbeitung erfolgreich eingesetzt wird. Ergebnisse, welche mit Pump & Probe Technik erzielt worden sind, werden vorgestellt: Modifikation in Gläsern werden nach Bestrahlung mit 100 fs - 3 ps IR Laserstrahlung mit zeitaufgelöster Nomarski-Photographie und Transienter-Absorptions-Spektroskopie untersucht. Nach Absorption der Laserstrahlung werden freie Elektronen gebildet, welche relaxieren und das Glas modifizieren. Die Modifikation von Glas durch Schmelzen und anschließender Rissbildung werden beobachtet. Mit zeitaufgelöster Schatten- und Phasenmikroskopie wird die Dynamik beim Abtragen von Metallen sichtbar. Plasma- und Schmelzbildung werden diagnostiziert. Durch Wechselwirkung von femtosekunden Laserpulsen bei Intensitäten von 10^{16} W/cm² mit Plasmen wird Röntgenstrahlung erzeugt, welche wegen der kleinen räumlichen Ausdehnung der Röntgenquelle < 100 μ m zur ortsaufgelösten Diagnose eingesetzt werden kann.

Hauptvortrag

SYKP 3.3 Mi 15:00 1001

Mikro-Schockwellen durch Ultrakurzpulz-Interaktion als neuartiger Mechanismus für ein hochgenaues Laserjustierverfahren — ●MICHAEL SCHMIDT und MANFRED DIRSCHERL — Bayerisches Laserzentrum gGmbH, Konrad-Zuse-Str. 2-6, 91052 Erlangen

Die Funktion mikromechanischer und mikrooptischer Baugruppen muss oftmals durch hochgenaue Positionierung einzelner optischer, mechanischer oder elektronischer Komponenten sichergestellt werden. Thermisch basierte Laserjustierverfahren stoßen bei fortschreitender Miniaturisierung sowohl bezüglich der Ausbildung der erforderlichen

Temperaturgradienten als auch der Justiergenauigkeit an ihre Grenzen, zusätzlich limitiert die thermische Belastbarkeit der Aktoren und der zu justierenden Komponenten ihre Anwendbarkeit.

Das wesentliche Ziel der vorgestellten Arbeit ist es daher, neue laserbasierte Prozesse zur Mikrojustiertechnik mittels Laserstrahlung grundlegend theoretisch und experimentell zu untersuchen, die nicht auf thermischen Mechanismen basieren. Deshalb werden gezielt Mechanismen zur Erzeugung von Mikrodeformationen auf Grundlage der kalten Wechselwirkungseffekte von ultrakurzen Laserpulsen mit Materie erforscht und analysiert. In diesem Beitrag wird das Laserstrahljustieren durch Mikro-Schockwellenumformen vorgestellt. Dieser Prozessmechanismus nutzt die mechanische Wirkung der bei der Ultrakurzpulslaserablation auftretenden, schnellen Plasmaexpansion zur Erzeugung plastischer Mikrodeformationen im Aktor, während thermische Interaktionen weitestgehend vermieden werden können.

Hauptvortrag

SYKP 3.4 Mi 15:30 1001

Anwendungspotential ultrakurzer Laserpulse in der Medizin und Life science — ●HOLGER LUBATSCHOWSKI — Laser Zentrum Hannover, Hollerithallee 8, 30419 Hannover

In jüngster Zeit ist es verschiedenen Arbeitsgruppen gelungen, fs-Laserpulse für den Einsatz in der Medizin und Biologie nutzbar zu machen. Aufgrund der nichtlinearen Wechselwirkung der kurzen Lichtpulse mit dem Gewebe ist beispielsweise ein Schneiden innerhalb der Augenhornhaut möglich, ohne das Auge zu eröffnen. Erste fs-Lasersysteme zur Korrektur von Fehlsichtigkeiten sind bereits im klinischen Einsatz. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass durch gezielte Schnitte in der Linse des Auges, deren Elastizität erhöht und damit möglicherweise die Alterssichtigkeit behoben werden kann. Weitere medizinische Anwendungen der fs-Laserpulse erstrecken sich von der Gefäßchirurgie über die Bearbeitung von Gehörknöchelchen in der HNO bis hin zum Abtrag von Zahnhartmaterial. Durch Einstellen der Laserpulsenergie knapp oberhalb der sehr scharf ausgeprägten Schwellenintensität zum optischen Durchbruch kann die Gewebeveränderung sogar unter das Beugungslimit des verwendeten Lichts begrenzt werden. Chirurgische Anwendungen innerhalb einer lebenden Zellen mit sub-mikrometer Auflösung werden dadurch ermöglicht.

Hauptvortrag

SYKP 3.5 Mi 16:00 1001

Ultrakurzpulslaser in der Medizin — ●FRIEDER LOESEL — 20/10 PERFECT VISION GmbH, Heidelberg

Mit ihrem einzigartigen Laser/Gewebe-Wechselwirkungsmechanismus sind Ultrakurzpulslaser prädestiniert für eine ganze Reihe neuer, aufregender Prozeduren der Laserchirurgie. Der Beitrag stellt, neben den Grundlagen, verschiedene Verfahren des klinischen Einsatzes moderner Femtosekundenlaser vor.

Als Schwerpunktsgebiet wird dabei die Augenheilkunde präsentiert, in der diese Laser – ganz nach dem Motto "Ultraschnelles Licht für beste Sicht" – z.B. chirurgische Verfahren ermöglichen, die auf konventionelle Weise unmöglich durchzuführen wären. Gerade im Bereich der präzisen kleinvolumigen Gewebeabtragung und -schnitte, bei gleichzeitig minimaler Beeinträchtigung umliegendes Gewebes, können Ultrakurzpulslaser ihre Stärken ausspielen. Neben neuartigen Verfahren zur Korrektur von Fehlsichtigkeiten werden auch gänzlich neue therapeutische Ansätze erst ermöglicht und der medizinische Einsatz bildet so eine wichtige Speerspitze der kommerziellen Anwendung komplexer Femtosekundenlaser-Technologien.

SYKP 4 Symposium Kurzpulslaser IV - Perspektiven

Zeit: Mittwoch 17:00–17:30

Raum: 1001

Hauptvortrag

SYKP 4.1 Mi 17:00 1001

Zukünftige Anwendungen von Kurzpulslasern — •WOLFGANG SANDNER — Max Born Institut, Berlin

Kurzpulslaser sind einzigartige Werkzeuge, die - in kontrollierter, reproduzierbarer und flexibler Form - Zugang zu neuen Parameterräumen in interdisziplinärer Forschung und Anwendung erlauben, entweder durch die Primärstrahlung selbst oder sekundär mit Hilfe kollektiver Effekte in Gasen, Festkörpern oder Plasmen.

Forschung und Entwicklung an Primärquellen konzentriert sich hauptsächlich auf Erweiterung des Spektralbereichs, Erhöhung der

Spitzenleistung sowie Verkürzung der Pulsdauern in den unteren Attosekunden-Bereich, sowohl jeweils einzeln oder in Kombination. Daraus ergibt sich eine Vielzahl neuer Anwendungen, vielfach nur begrenzt durch die mittlere Leistung von Kurzpulslasern, deren Erhöhung ein übergreifendes und vordringliches Ziel ist. Sekundäre Effekte konzentrieren sich auf nichtlineare Optik und deren Anwendung in neuen Spektralbereichen, sowie Erzeugung und Anwendung von sekundärer Photonen- und Teilchenstrahlung. Ein zukünftig wichtiges Beispiel werden die freien Elektronenlaser im VUV- und Röntgenbereich sein, mit neuen Anwendungen, die sich bisher noch nicht vollständig absehen lassen.