

## Q 13: Laserentwicklung (Nichtlineare Effekte und Anwendungen)

Zeit: Dienstag 11:00–13:00

Raum: 3H

Q 13.1 Di 11:00 3H

**Resonatorinterne Frequenzkonversion von fs-Lichtimpulsen in den sichtbaren Spektralbereich mit sektioniert periodisch gepoltem MgO:LiNbO<sub>3</sub>** — ●FELIX RÜBEL, PETER HAAG, RICHARD WALLENSTEIN und JOHANNES L'HULLIER — Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Physik, Erwin-Schrödinger-Str. 46, 67663 Kaiserslautern

Ultrakurze Lichtimpulse im sichtbaren Spektralbereich sind für viele wissenschaftliche und technische Anwendungen, wie z.B. der zeitaufgelösten Spektroskopie, der Medizin oder der Display-Technologie, von besonderem Interesse. Der Wellenlängenbereich zwischen 500 nm und 700 nm kann jedoch nicht von kerllinsen-modengekoppelten Ti:Saphir-Lasern oder deren Harmonischen abgedeckt werden. Eine Möglichkeit zur Erzeugung von fs-Impulsen in diesem Bereich bietet die Frequenzkonversion der IR-Strahlung synchron gepumpter OPOs. Durch resonatorinterne, kaskadierte Frequenzverdopplung der Signalstrahlung konnten fs-Impulse im gelben Spektralbereich bei 593 nm erzeugt werden. Hierzu wurden periodisch gepolte MgO:LiNbO<sub>3</sub>-Kristalle mit unterschiedlichen, kaskadierten Polungsperioden verwendet, so dass sowohl der OPO- als auch der SHG-Prozess im gleichen Kristall realisiert werden konnte. Gepumpt mit 1,3 W und 100 fs bei einer Repetitionsrate von 82 MHz, wurde in dem kaskadierten OPO-SHG-Prozess eine maximale Ausgangsleistung von 220 mW erzeugt. Für die Konversion von Pumpstrahlung zu sichtbarer Strahlung entspricht dies einer Effizienz von 17%. Die minimale Impulsdauer betrug 280 fs. Es ergab sich ein Zeit-Bandbreiten-Produkt von 1,09.

Q 13.2 Di 11:15 3H

**Temperaturabhängigkeit des Koerzitivfeldes in VTE-LiTaO<sub>3</sub>** — ●ALEXANDER QUOSIG<sup>1</sup>, VOLKER WESEMANN<sup>2</sup>, DANIEL RYTZ<sup>2</sup> und JOHANNES L'HULLIER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Physik, Erwin-Schrödinger-Strasse 46, 67663 Kaiserslautern — <sup>2</sup>FEE GmbH, Struthstrasse 2, 55743 Idar-Oberstein

Kongruentes LiTaO<sub>3</sub> (CLT) ist aufgrund des hohen nichtlinearen Koeffizienten  $d_{33}=14,6\text{pm/V}$  und der hohen Transparenz im mittleren infraroten, sichtbaren und ultravioletten Spektralbereich ein geeignetes Material zur Frequenzkonversion von Laserstrahlung durch Quasiphasenanpassung (QPM) mittels periodisch angeordneter ferroelektrischer Domänen. Die mit dem Czochralski-Verfahren gezüchteten Kristalle weisen ein Lithium-Defizit auf. Daraus resultierende nachteilige Eigenschaften wie grün-induzierte Infrarotabsorption (GRIIRA) und Photorefraktivität lassen sich durch eine Nachbehandlung des Materials mittels Vapour-Transport-Equilibration (VTE) stark reduzieren. Die Verringerung des Koerzitivfeldes durch VTE von 21kV/mm bei CLT auf bis zu 0,1kV/mm ermöglicht darüber hinaus die Herstellung dicker QPM-Kristalle (>1mm). In Ferroelektrika mit niedrigem Koerzitivfeld sind die thermische Stabilität der Domänenwände und die Polungsdynamik von besonderem Interesse. Temperaturerhöhung von 13°C auf 80°C bewirkt in VTE-LT mit einem Li<sub>2</sub>O-Anteil von 49,95mol% eine Abnahme des Koerzitivfeldes um 23% von 256V/mm auf 198V/mm. Die Polungsdynamik und die Temperaturabhängigkeit des Koerzitivfeldes konnte durch ein quantitatives zweidimensionales Modell des Domänenwachstums theoretisch beschrieben werden.

Q 13.3 Di 11:30 3H

**Diodengepumpter einfachresonanter dauerstrich-optisch-parametrischer Oszillator** — ●JENS KIESSLING, ROSITA SOWADE, INGO BREUNIG, BASTIAN KNABE und KARSTEN BUSE — Physikalisches Institut, Universität Bonn, Wegelerstr. 8, 53115 Bonn

Dauerstrich-optisch-parametrische Oszillatoren (OPOs) zeichnen sich durch ihren weiten Durchstimmbereich bei schmaler Linienbreite aus und sind deshalb beliebte Lichtquellen für spektroskopische Anwendungen. Longitudinal und transversal einmodige Laserdioden sind für solche Systeme kompakte und preisgünstige Pumpquellen, jedoch ist ihre Ausgangsleistung begrenzt. Um sie dennoch hierfür einsetzen zu können, muss die Pumpschwelle des OPOs deutlich unter 1 W gesenkt werden. Dafür bieten sich doppelt- und dreifachresonante Oszillatoren an, deren Aufbau und Stabilisierung im Vergleich zu einfachresonanten Systemen allerdings aufwändiger ist. Wir demonstrieren einen alternativen Ansatz, der es ermöglicht, eine transversal und longitudinal einmodige Laserdiode mit weniger als 100 mW Ausgangsleistung als Pumpquelle für einen einfachresonanten OPO zu verwenden.

\*Gefördert von der Deutsche Telekom AG.

Q 13.4 Di 11:45 3H

**Ramanstreuung in einem einfachresonanten dauerstrich-optisch-parametrischen Oszillator** — ●INGO BREUNIG, JENS KIESSLING, ROSITA SOWADE, BASTIAN KNABE und KARSTEN BUSE — Physikalisches Institut, Universität Bonn, Wegelerstr. 8, 53115 Bonn

In einem einfachresonanten optisch-parametrischen Oszillator (OPO) entstehen aus einem Pumpfeld ein Idler- und ein Signalfeld, wobei letzteres resonant überhöht wird. Die Bandbreite der parametrischen Verstärkung liefert eine obere Grenze für die spektrale Breite des Signalfelds. In unserem Aufbau beobachten wir Linien außerhalb dieses Verstärkungsprofils, deren Anzahl sich mit steigender Pumpleistung erhöht. Die ermittelten Frequenzabstände von 1.4 THz bzw. 7.5 THz stimmen mit bekannten Ramanverschiebungen des verwendeten nichtlinearen Materials (Lithiumniobat) überein. Weiterhin lässt sich ein Zusammenhang zwischen spektraler Reinheit des Signalfelds und Idlerleistung feststellen.

\*Gefördert von der Deutsche Telekom AG.

Q 13.5 Di 12:00 3H

**Messung von Emissionsspektren der Brillouin Streuung in Ytterbium dotierten infrequenten Faserverstärkern mit 130 W Ausgangsleistung** — ●SEBASTIAN BÜSCHE, MATTHIAS HILDEBRANDT, MAIK FREDE und DIETMAR KRACHT — Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, 30419 Hannover

Es werden Heterodyn-Messungen von Emissionsspektren der spontanen und stimulierten Brillouinstreuung eines infrequenten Faserverstärkers vorgestellt. Dazu wurde ein schmalbandig emittierender Ringlaser (NPRO) mit einer diodengepumpten Ytterbium dotierten Doppelkernfaser auf bis zu 130 W verstärkt. Durch Überlagerung der gestreuten Brillouinstrahlung mit einem zweiten schmalbandigen Ringlaser wurden Brillouinspektren über den gesamten Verstärkerleistungsbereich detektiert. Mit steigender Ausgangsleistung zeigen die Spektren einen Übergang von Lorentz- zu Gaußprofilen bei einer exponentiellen Abnahme der Halbwertsbreiten. Ein zweites Experiment mit ungepumpter Faser, bei der ein zweiter Ringlaser gegenläufig zur Seedquelle in die Faser gekoppelt und mit seiner Kristalltemperatur diskret über den Frequenzbereich des Brillouin Verstärkungsprofils gestimmt wurde, verifiziert die Heterodyn-Messung. Die gemessenen Verstärkungsprofile stimmen gut mit den Profilen bei niedriger Verstärkerleistung überein. Die experimentellen Ergebnisse sollen zum Verständnis der Entwicklung stimulierter Brillouinstreuung in Hochleistungsverstärkerfasern beitragen und zukünftig eine weitreichende Unterdrückung dieses leistungslimitierenden Effekts ermöglichen.

Q 13.6 Di 12:15 3H

**Fourier Domain Mode Locking (FDML): Ein neuer Operationsmodus von Lasern und dessen Anwendungen** — CHRISTOPH EIGENWILLIG<sup>1</sup>, BENJAMIN BIEDERMANN<sup>1</sup>, DESMOND ADLER<sup>2</sup>, JAMES FUJIMOTO<sup>2</sup> und ●ROBERT HUBER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Lehrstuhl für BioMolekulare Optik, Fakultät für Physik, LMU München — <sup>2</sup>Department of Electrical Engineering and Computer Science, and Research Laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology

Fourier Domain Mode Locking (FDML) stellt einen neuartigen, stationären Betriebszustand von Lasern dar [1]. Im Gegensatz zur herkömmlichen Modenkopplung basiert FDML nicht auf einem Amplituden- oder Phasen-Modulationsmechanismus, sondern es kommt ein schnell abstimmbarer, schmalbandiger spektraler Filter zum Einsatz. FDML-Laser emittieren sehr schnelle, schmalbandige Wellenlängendurchläufe mit Bandbreiten von mehr als 150nm und instantanen Linienbreiten von etwa 50pm bei Repetitionsraten von mehreren 100 kHz. Die Emissionscharakteristik ist äquivalent zu einer Serie extrem dispersiver (gechirpter) Lichtimpulse. Neben der Hauptanwendung von FDML Lasern für die optische Kohärenztomographie (engl.: optical coherence tomography - OCT) in der biomedizinische Bildgebung, wird der Einsatz von FDML Lasern für Profilometrie-Anwendungen mit pm-Auflösung, für die Echtzeitspektroskopie an chemischen Reaktionsprozessen in Verbrennungsmotoren und für die Zustandsanalyse von Gemälden vorgestellt.

1. Huber R. et al. Optics Express 14:3225-3237 (2006).

2. Huang D. et al. Science 254:1178-1181 (1991).

Q 13.7 Di 12:30 3H

**PLD-hergestellte, kristalline Antireflexbeschichtungen und dichroitische Spiegel** — ●FRIEDJOF TELLKAMP, TEOMAN GÜN, BILGE ILERI, KLAUS PETERMANN und GÜNTER HUBER — Institut für Laser-Physik, Universität Hamburg, Luruper Chaussee 149, 22761 Hamburg

Mittels Pulsed Laser Deposition (PLD) hergestellte kristalline Vielschichtsysteme wurden bezüglich ihrer strukturellen und optischen Qualität analysiert. Die Schichtsysteme werden in situ mittels Reflection High Energy Electron Diffraction (RHEED) und Reflektometrie sowie ex situ mittels Röntgenstrukturanalyse (XRD) und Spektroskopie auf Transmissivität und Struktur untersucht.

Es konnte anhand der Antireflexsysteme Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> auf (0001)-Saphir und LuAG/YAG auf {100}-YAG gezeigt werden, dass sich die Reflexion um das theoretisch zu erwartende Maß reduzieren lässt. Die XRD-Messungen lassen auf ein texturiertes Wachstum der Schichten schließen. Die RHEED-Analyse an dem System LuAG/YAG auf YAG zeigt einkristallines Schichtwachstum.

Ferner wurden gitterangepasste LuGdAG-Schichten untersucht. Die mittels XRD gemessene Gitterfehlpassung lag bei < 0,5 %; mit RHEED konnte epitaktisches Wachstum auch nach Deposition von

29 Schichten bei einer Gesamtdicke von 1850 nm gezeigt werden. Allerdings wurde eine sich kontinuierlich vermindernde Depositionsrate festgestellt, sodass die Reflexionseigenschaften dieser dichroitischen Spiegel noch nicht zu beobachten waren. Eine in situ Schichtdickenregelung wird dieses Problem in Zukunft beheben.

Q 13.8 Di 12:45 3H

**Neue Entwicklungen bei ps-Laserstrahlquellen für die Mikromaterialbearbeitung** — ●ACHIM NEBEL — Lumera Laser GmbH, Opelstr. 10, 67661 Kaiserslautern

Ultrakurzpulslaser haben für die Mikromaterialbearbeitung eine Vielzahl von Vorteilen. Sie bearbeiten alle Materialien und das mit höchster Qualität. Für den industriellen Einsatz besonders ausgezeichnet haben sich ps-Laser. Sie sind diodengepumpt, ermöglichen höchste Wiederholraten und hohe Leistungen. Ihre beugungsbegrenzte polarisierte Strahlung ermöglicht zudem eine effiziente Frequenzkonversion bis in den UV-Bereich, so dass Prozessoptimierungen auch mit hohen Leistungen bei 532nm- und 355nm möglich sind. Vorgestellt werden u.a. verstärkte Nd:YVO<sub>4</sub> ps-Laser. Die neueste Generation dieser Laser hat mittlere Leistungen größer 50 W bei Wiederholraten von 1MHz (50 μJ Pulsenergie). Anhand von Bearbeitungsbeispielen wird der große Nutzen der Pikosekundenlaser für die Präzisionsmikromaterialbearbeitung dargestellt.