

Q 29: Laserentwicklung: Nichtlineare Effekte 1

Time: Wednesday 10:30–13:00

Location: SCH 251

Q 29.1 Wed 10:30 SCH 251

Frequency Comb Generation in Crystalline Whispering-Gallery Mode Resonators — •TOBIAS HERR¹, CHRISTINE WANG², PASCAL DEL'HAYE², KLAUS HARTINGER³, RONALD HOLZWARTH³, and TOBIAS KIPPENBERG^{1,2} — ¹École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), CH-1015 Lausanne, Switzerland — ²Max-Planck-Institut für Quantenoptik, D-85748 Garching, Germany — ³Menlo Systems GmbH, Am Klopferspitz 19a, D-82152 Martinsried, Germany

We experimentally demonstrate frequency comb generation via four-wave mixing in ultra high-Q crystalline MgF₂ whispering-gallery mode resonators. More than 800 comb lines with spacing of 43 GHz are observed, while the resonator is thermally self-locked to a 700mW continuous wave pump laser at 1556 nm. Cross-correlation measurements reveal well separated pulses in the time-domain output at the comb repetition rate.

Q 29.2 Wed 10:45 SCH 251

Superkontinuumserzeugung mit Rückkopplung — •MICHAEL KUES, NICOLETTA BRAUCKMANN, SVEN DOBNER, MAXIMILIAN BRINKMANN, TILL WALBAUM, PETRA GROSS und CARSTEN FALLNICH — Institut für Angewandte Physik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Corrensstr. 2, 48149 Münster

Superkontinua, die durch eine spektrale Verbreiterung eines ultrakurzen Laserimpulses in mikrostrukturierten Fasern erzeugt werden, finden in vielen Bereichen Anwendung und können durch Änderung der Pumpimpulsparameter sowie der Faserparameter beeinflusst werden. Um jedoch weitere Möglichkeiten für eine gezielte Beeinflussung nicht nur der spektralen Form sondern auch der zeitlichen Entwicklung der Superkontinua zu erhalten, verfolgen wir das Konzept der Superkontinuumserzeugung mit Rückkopplung. In diesem Beitrag wird ein System, bestehend aus einer mikrostrukturierten Faser in einem Ringresonator, synchron gepumpt mit Laserimpulsen, vorgestellt. Es werden sowohl numerische als auch experimentelle Ergebnisse präsentiert, wobei zwischen der Superkontinuumserzeugung mittels Solitonendynamiken und mittels Vier-Wellen-Mischen (FWM) unterschieden wird. Im ersten Fall können je nach Parameterwahl nichtlineare Dynamiken wie Periodenverdopplung, Grenzyklen oder Chaos auftreten, die eine maßgebliche Beeinflussung des Frequenzkammes ermöglichen und stark von der Phase der Rückkopplung abhängig sind, wodurch eine Kontrolle dieser Dynamiken ermöglicht wird. Im zweiten Fall kann eine Verstärkung der Maxima des FWM sowie eine Verschiebung der Frequenz bei Variation der zeitlichen Verzögerung beobachtet werden.

Q 29.3 Wed 11:00 SCH 251

A Widely tunable XUV frequency comb source — •DOMINIK Z. KANDULA², TJEERD J. PINKERT¹, CHRISTOPH GOHLE³, ITAN BARMES¹, JONAS MORGENWEG¹, WIM UBACHS¹, and KJELD S.E. EIKEMA¹ — ¹LaserLaB Amsterdam, Institute for Lasers Life and Biophotonics, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1081, 1081HV Amsterdam, The Netherlands — ²Max Born Institute, Max-Born Str. 2A, 12489 Berlin, Germany — ³Ludwig-Maximilians-Universität, Schellingstrasse 4, 80799 München, Germany

A frequency comb in the extreme ultraviolet (XUV) spectral range is produced by means of high harmonic upconversion of two phase-locked infrared pulses. The IR-pulse pair originates from a frequency comb oscillator and is amplified to energies in the order of several mJ per pulse in a noncollinear optical parametric chirped pulse amplifier. The amplification scheme allows to select the wavelength and the bandwidth of the amplified IR-pulses in the range between 700nm and 1000nm. This enables to cover the entire spectral range from the 5th harmonic at 200nm, to at least the 15th harmonic at 50nm with the upconverted frequency comb.

The versatility of the system is demonstrated by recording direct frequency comb excitation signals in helium, neon and argon with visibilities of up to 62%, at wavelengths from 51.5 nm to 83.5 nm. Using the XUV frequency comb a new ground state energy of helium could be measured with 6 MHz accuracy, presenting the most accurate direct frequency measurement in the XUV to date.

Q 29.4 Wed 11:15 SCH 251

Optisch parametrischer Oszillator hoher mittlerer Leistung mit Femtosekunden-Pulsen und schnell durchstimm-

barem Spektrum — •TINO LANG¹, MICHAEL JACKSTADT¹, STEFAN RAUSCH¹, THOMAS BINHAMMER², GUIDO PALMER¹ und UWE MORGNER¹ — ¹Institut für Quantenoptik, Leibniz Universität Hannover, Deutschland — ²VENTEON Laser Technologies GmbH, Garbsen, Deutschland

Wir präsentieren einen optisch-parametrischen Oszillator (OPO), der mittels eines frequenz-verdoppelten modengekoppelten Yb:KLuW-Scheibenlasers gepumpt wird. Bei der Pumpwellenlänge von 515 nm stehen damit über 12 Watt Pumpleistung bei einer Puls-Wiederholrate von 34,7 MHz und Pulsdauern von 500 fs zur Verfügung. Bei dem OPO handelt es sich um einen linearen signal-resonanten Oszillator mit BBO als aktives Medium, welcher über einen piezobetriebenen Verschiebetisch an die Puls-Wiederholrate des PumpLasers angepasst werden kann. Über eine gezielte Verstimmung der beiden Wiederholraten können die erzeugten Femtosekunden-Pulse in einem Bereich von 700 nm bis 1000 nm spektral schnell durch gestimmt werden. Dabei konnten mittlere Leistungen bis zu 3 W erreicht werden.

Q 29.5 Wed 11:30 SCH 251

Saturable absorption and nonlinear refractive index in composites doped with metal nanoparticles — •KWANG-HYON KIM, ANTON HUSAKOU, and JOACHIM HERRMANN — Max Born Institute for Nonlinear Optics and Short Pulse Spectroscopy, Max-Born-Str. 2a, 12489 Berlin

Commonly applied saturable absorbers for passive mode-locking of lasers are semiconductors, especially multi-quantum wells. However, in the short wavelength range below 700 nm attractive saturable absorbers are still missing. In the present talk we demonstrate that composites doped with metal nanoparticles can provide the required photonic element. By using a modified self-consistent Maxwell-Garnett formalism for spherical nanoparticles and a generalization of the discrete-dipole formalism for particles with arbitrary shape we show that the total absorption coefficient exhibit strong saturation behaviour near the plasmon resonance with saturation intensities in the range of 10 MW/cm². The plasmon resonance can be shifted in a wide wavelength range by choosing nanoparticles of different size and shape. This paves the way to a new class of designable saturable absorbers in the wavelength range of 400~700 nm, where standard types of saturable absorbers are hard to apply. In addition, we study also the nonlinear refractive index and the field enhancement factor in the considered composites.

Q 29.6 Wed 11:45 SCH 251

Messung des nichtlinear-optischen Koeffizienten von Lithiumniobat im Terahertz-Frequenzbereich* — •ROSITA SOWADE, JENS KIESSLING, KARSTEN BUSE und INGO BREUNIG — Physikalisches Institut, Universität Bonn, Wegelerstr. 8, 53115 Bonn

Basierend auf kaskadierten parametrischen Prozessen konnten wir einen optisch parametrischen Oszillator realisieren, der in der Lage ist, Dauerstrich-Terahertzstrahlung zu erzeugen. Aus der Bestimmung der Schwelle für diese Prozesse ergibt sich für den effektiven nichtlinearen Koeffizienten bei 1,4 THz für magnesiumdotiertes Lithiumniobat der Wert 94 pm/V. Über die Durchstimmbarkeit der erzeugten Terahertzwellen erhalten wir zusätzlich die Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex für Terahertzfrequenzen, 0,0013/K.

* Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (FOR 557) und der Deutschen Telekom AG für finanzielle Unterstützung.

Q 29.7 Wed 12:00 SCH 251

Erzeugung durchstimmbarer Terahertzstrahlung mit einem optisch parametrischen Oszillator und resonatorinterner Differenzfrequenzerzeugung im Dauerstrichbetrieb* — •FLORIAN FUCHS, JENS KIESSLING, KARSTEN BUSE und INGO BREUNIG — Physikalisches Institut, Universität Bonn, Wegelerstr. 8, 53115 Bonn

Zur Erzeugung weit durchstimmbarer Terahertzstrahlung generieren wir zwei Signalwellen um 1,4 μ m Wellenlänge in einem optisch parametrischen Oszillator mit einem periodisch gepolten Lithiumniobat-Kristall, der eine Doppelstruktur aufweist. Der Frequenzabstand dieser Wellen ist variabel von 0,5 – 5 THz einstellbar. Die Differenzfrequenzmischung findet phasenangepasst in einem zusätzlichen Lithiumniobatkristall statt, welcher in einem zweiten Fokus des Resonators platziert wird. Mit diesem Aufbau wurde eine Durchstimmbarkeit von 0,7 –

2 THz bei Terahertzleistungen bis zu $0,4 \mu\text{W}$ gezeigt.

* Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (FOR 557) und der Deutschen Telekom AG für finanzielle Unterstützung.

Q 29.8 Wed 12:15 SCH 251

1.5 W Output Two-Color Femtosecond Optical Parametric Oscillator Pumped by a 7.4 W Femtosecond Yb:KGW Laser — ●ROBIN HEGENBARTH¹, ANDY STEINMANN¹, JÁNOS HEBLING², and HARALD GIESSEN¹ — ¹4th Physics Institute, University of Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70550 Stuttgart, Germany — ²Department of Experimental Physics, University of Pécs, Ifjúság út 6, H-7624 Pécs, Hungary

We developed a singly resonant optical parametric oscillator synchronously pumped by an Yb:KGW laser. The OPO signal was generated in a 1 mm long MgO-doped periodically poled congruent lithium niobate (MgO:cPPLN) crystal. With 7.4 W average pump power, 42 MHz repetition rate, and 530 fs FWHM pump pulse duration we were able to achieve more than 1 W in several wavelength regions between 1445 and 1880 nm wavelength with FWHM pulse durations shorter than 600 fs. In particular, we achieved up to 1.5 W using 60 % output coupling rate. A peak in conversion efficiency could be observed at approximately 3 to 5 times threshold pump power. At higher pump power levels conversion efficiency was decreasing. Two-color operation occurred when the OPO was operated close to the point at which total cavity GDD was equal to zero. Due to large signal bandwidth and due to the fact that identical group delay occurred at two wavelengths, oscillation at two wavelengths was possible. This can be used for efficient difference frequency generation into the mid-IR region.

Q 29.9 Wed 12:30 SCH 251

Characterization and modelling of novel TBR laser diodes at 980 nm — ●CHRISTOF ZINK, DANILO SKOCZOWSKY, ANDREAS JECHOW, AXEL HEUER, and RALF MENZEL — Universität Potsdam, Institut für Physik und Astronomie, Photonik, Karl-Liebknecht-Straße 24–25, Haus 28, 14476 Potsdam

Broad area (BA) lasers are the most efficient light sources available, but suffer from poor beam quality due to the lack of transversal mode selection. By incorporating a transverse Bragg grating into a BA laser diode it is possible to select one transversal mode. The resulting trans-

verse Bragg resonance (TBR) waveguide can be designed to have a single transversal mode that is distributed throughout the entire width of the laser for efficient, stable and single transversal mode operation even at high output powers. In addition the modal gain at the desired lasing frequencies can be increased by designing the dispersion of the TBR modes. This concept promises higher output powers and improved efficiency compared to traditional index-guided laser diodes. Detailed measurements of several lasers with different dimensions and numbers of quantum wells will be presented. The TBR lasers were also operated in an external resonator which allows selecting different types of modes. Finally, a simple model will be introduced which describes the emission characteristics of the different lasers.

Q 29.10 Wed 12:45 SCH 251

Impact of injector length on interband cascade laser performance — ●ROBERT WEIH, ADAM BAUER, SVEN HÖFLING, MARTIN KAMP, LUKAS WORSCHKECH, and ALFRED FORCHEL — Technische Physik, University of Würzburg, Wilhelm-Conrad-Röntgen-Research Center for Complex Material Systems Am Hubland, D-97074 Würzburg, Germany

The interband cascade laser (ICL) is a novel type of unipolar semiconductor laser emitting in the mid-infrared wavelength range. Although the laser operation is driven by interband transitions between electron states and hole states, only electrons are injected. While travelling through a cascaded active region, these electrons generate multiple photons making the ICL a hybrid laser, combining advantages of diode lasers and QCLs. Whereas bipolar diode lasers utilize also interband transition, but within a pn-junction, QCLs are unipolar devices and thoroughly based on intersubband transitions between electron states.

In this work ICLs were grown by MBE and investigated via temperature dependent electro-optical measurements. It was found that shortening the chirped superlattice injector regions used for resonant tunnel injection of electrons into the type-II "W" active regions improves the laser performance significantly. Stepwise reduction of the injector length from 74nm to 49nm led to close to linear dependence between pulsed maximum operation temperatures and injector length, while threshold current figures could be reduced monotonically. Devices incorporating the optimized shortened injector layout reach operation temperatures exceeding 335K (pulsed) and 273K (cw).