

## Q 33: Laser Development: Semiconductor Lasers / Nonlinear Effects II

Time: Wednesday 14:00–16:00

Location: F 128

Q 33.1 We 14:00 F 128

**Gekoppelte Ringresonatoren mit Tapered Amplifier und miniaturisiertem SHG Resonator zur effizienten Frequenzverdopplung auf 488 nm** — •DANILO SKOCZOWSKY, ANDREAS JECHOW, AXEL HEUER und RALF MENZEL — Universität Potsdam, Institut für Physik und Astronomie, Lehrstuhl für Photonik, Karl-Liebknecht-Straße 24–25, 14476 Potsdam

Die effiziente Erzeugung von sichtbarer Laserstrahlung ist für viele Anwendungen von hohem Interesse. Neben der direkten Erzeugung beispielsweise mit Laserdioden ist die Frequenzverdopplung von infraroter Laserstrahlung nach wie vor eine gängige Technik. Wird die Intensität der Grundwelle mit Hilfe eines Resonators überhöht, so kann der Verdopplungsprozess deutlich effizienter ablaufen. Diese Technik erfordert jedoch eine Stabilisierung der Frequenz des Pumplasers und die Resonanzfrequenz des hochvergüteten Resonators oder umgekehrt.

Vorgestellt wird ein neues, passives Kopplungskonzept basierend auf einem „Tapered Amplifier“ in einer ringförmigen Resonatoranordnung, an den ein zweiter, miniaturisierter Ringresonator gekoppelt ist. Dieser ist hochvergütet ausgeführt und enthält einen periodisch gepolten, nichtlinearen Kristall zur Frequenzverdopplung. Beide Resonatoren sind rein optisch gekoppelt ohne aktive Regelung. Es konnten bisher über 300 mW blaues Licht bei 488 nm generiert werden. Das blaue Licht ist nahezu beugungsbegrenzt und hat eine Bandbreite von 50 MHz. Die Emission ist zeitlich stabil mit Fluktuationen  $< 1\%$ .

Q 33.2 We 14:15 F 128

**Untersuchung der Specklereduktion bei inkohärent gekoppelten Diodenlasern im externen Resonator** — •ANTONIO SAGHATI, DANILO SKOCZOWSKY, AXEL HEUER und RALF MENZEL — Universität Potsdam, Institut für Physik und Astronomie, Photonik, Karl-Liebknechtstraße 24-25 14476 Potsdam

Speckle sind störend für diverse Anwendungen wie zum Beispiel die Displaytechnologie und Linienprojektion. Eine Möglichkeit Speckle zu reduzieren ist die Verwendung von breitbandigen Strahlquellen.

Um Laserlicht mit guter Strahlqualität und einer Bandbreite von mehreren nm zu erzeugen ist die inkohärente Kopplung von Diodenlasern mittels spectral beam combining (SBC) gut geeignet. Dieses Verfahren kann als „Wavelength-Multiplexing“ im Resonator verstanden werden.

Mit einem AR beschichteten Diodenlaser-Array bestehend aus 40 Emittern wurde mit SBC eine Ausgangsleistung von 500 mW, eine Strahlqualität von  $M^2 < 2$  und eine Bandbreite von  $\approx 4$  nm realisiert.

Der Einfluß der Bandbreite auf die Speckle wurde bei verschiedenen Betriebsparametern untersucht.

Q 33.3 We 14:30 F 128

**Investigations on wave chaos phenomena in VCSELs** — •ANDREAS MOLITOR<sup>1</sup>, MATTHIAS BREUER<sup>1</sup>, PIERLUIGI DEBERNARDI<sup>2</sup>, and WOLFGANG ELSÄSSER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institute of Applied Physics, Darmstadt University of Technology, Schloßgartenstr 7, 64289 Darmstadt, Germany — <sup>2</sup>IEIIT-CNR c/o Politecnico di Torino, Corsa Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy

VCSELs are modern low-cost semiconductor laser structures that have become standard lasers in optical datacom applications. The same properties, which make them so interesting for applications, imply also high invulnerability to instabilities or chaos. We experimentally investigate the onset of wave chaos in VCSELs with different shaped resonators [1]. Signatures of chaos are found by analyzing highly-resolved transverse mode spectra measured with a Czerny-Turner-spectrometer and a single photon counting system. The nearest-neighbor eigenvalue distribution is determined from the mode spacing normalized by its mean value. Furthermore, cumulated eigenvalue spacing distributions are derived in order to analyze the optical spectra. This cumulated distribution allows to differentiate between regular behavior for circular and chaotic characteristics for non-circularly shaped apertures, respectively. These first results are complemented by investigations on surface grating relief VCSELs where the emission and in particular the polarization can be controlled technologically [2].

[1] T.Gensty et al., PRL 94, 233901 1-4 (2005)

[2] J. M. Ostermann et al., Opt. Commun. 246, 511 (2005)

Q 33.4 We 14:45 F 128

**Characterization of novel TBR laser diodes at 980nm** — •CHRISTOF ZINK, DANILO SKOCZOWSKY, ANDREAS JECHOW, AXEL HEUER, and RALF MENZEL — Universität Potsdam, Institut für Physik und Astronomie, Lehrstuhl Photonik, Karl-Liebknecht-Straße 24-25, 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 transverse 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 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. Preliminary measurements of different laser samples with two or three quantum well structures and a Bragg grating with grating period of  $3\mu\text{m}$  will be presented. Furthermore, the TBR lasers were operated in an external resonator which allows selecting different types of modes.

Q 33.5 We 15:00 F 128

**Erzeugung von 267 fs-Impulsen durch Colliding Pulse Mode-locking in Zweisektions-Diodenlasern und externer Kompression** — •THORSTEN ULM, FLORIAN HARTH und JOHANNES A. L'HUILLIER — Photonik-Zentrum Kaiserslautern e.V., Kohlenhofstr. 10, 67663 Kaiserslautern

Mit einem Oszillator-Verstärker-System auf der Basis von InGaAs-Diodenlasern und einem nachfolgenden Gitterkompressor wurden 267 fs lange Impulse mit 708 mW mittlerer Leistung, 661 W Spitzenleistung, 213 pJ Impulsenergie und 3,3 GHz Wiederholrate erzeugt. Die spektrale Breite beträgt 7 nm. Die Zentralwellenlänge ist 920 nm. Lasersysteme dieser Bauart sollen in Zukunft zusammen mit Faserverstärkern für die nichtlineare Optik und die Mikromaterialbearbeitung genutzt werden.

Zur Impulserzeugung wurde die Methode des *Colliding Pulse Mode-locking* eingesetzt. Der zur passiven Modenkopplung benötigte Absorber ist in den Wellenleiter einer Zweisektions-Diode integriert. Eine Gegenspannung reduziert die Erholzeit des Absorbers und stabilisiert die Modenkopplung. Um Gain-Sättigung und Selbstphasenmodulation im nachfolgenden Trapezverstärker zu vermeiden, müssen die Impulse eine Dauer von mehreren Pikosekunden haben. Die relativen Intensitäten und der Kollisionspunkt der umlaufenden Impulse wurden im Hinblick auf einen möglichst starken und linearen Frequenzchirp systematisch optimiert. Die Kompensation des linearen Chirps im Gitterkompressor erzeugt Femtosekunden-Impulse mit einem Zeit-Bandbreite-Produkt, das nur um den Faktor 1,8 über dem theoretischen Limit liegt.

Q 33.6 We 15:15 F 128

**Schmalbandiger GaSb-OPSDL bei  $2\mu\text{m}$  Wellenlänge** — •PHILIPP KOOPMANN<sup>1,2</sup>, SAMIR LAMRINI<sup>2</sup>, KARSTEN SCHOLLE<sup>2</sup> und PETER FUHRBERG<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institut für Laser-Physik, Universität Hamburg, Luruper Chaussee 149, 22761 Hamburg — <sup>2</sup>LISA laser products, Max-Planck-Str. 1, 37191 Katlenburg-Lindau

An Lasern mit Wellenlängen im Bereich um  $2\mu\text{m}$  besteht ein großes Interesse, da diese in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden. So finden sie z. B. in der Medizin, in der Gas-Detektion und in LIDAR-Systemen Verwendung. Mit optisch gepumpten Halbleiterscheibenlasern (OPSDL) lassen sich kompakte Aufbauten und hohe Strahlqualitäten realisieren. OPSDLs auf (AlGaIn)(GaSb)-Basis ermöglichen Laseraktivität im Bereich von  $1,9\mu\text{m}$  bis  $2,7\mu\text{m}$ . Mit diesem System konnten von uns Ausgangsleistungen von bis zu 2,6 W erreicht werden, wobei der OPS bei einer Wellenlänge von 976 nm gepumpt wurde. Mittels eines doppelbrechenden Filters konnte die Wellenlänge des Lasers über 60 nm durchgestimmt werden. Wurde anstelle eines Auskoppelspiegels ein Volumen Bragg Gitter (VBG) verwendet, konnte die Wellenlänge des Lasers fixiert und die Linienbreite auf unter 2,4 MHz reduziert werden. Die maximale Ausgangsleistung bei Verwendung des VBG war auf 750 mW begrenzt. Die verwendeten Gitter ermöglichten Lasertätigkeit bei 1960 nm, 2013 nm und 2021,3 nm.

Q 33.7 We 15:30 F 128

**Modellierung und Anwendung eines Verfahrens zur Verbesse-**

**Stabilisierung der Eigenschaften von Laserdioden mit externem Resonator (ECDL)** — ●THORSTEN FÜHRER, BENJAMIN REIN und THOMAS WALTHER — TU Darmstadt, Institut für Angewandte Physik, AG Laser und Quantenoptik, Schlossgartenstr. 7, D-64289 Darmstadt

Für viele Bereiche, beispielsweise in der Sensorik oder der Präzisionspektroskopie, sind ECDLs unverzichtbar. Je nach Anwendung ist dabei ein großer modensprungfreier Durchstimmbereich oder ein stabiler ECDL-Betrieb bei einer konstanten Wellenlänge nötig. In beiden Fällen ist es essentiell, den Diodenstrom und die Länge des externen Resonators aufeinander abzustimmen, um die Resonanz des Gesamtsystems zu erhalten. Durch Übertragen der Resonanzinformation auf den Polarisationszustand des Laserlichts kann der Stokes-Parameter  $S_1$  als Fehlersignal für einen geschlossenen Regelkreis verwendet werden. Dadurch konnte ein modensprungfreier Durchstimmbereich von 130 GHz mit einer nicht AR-beschichteten Laserdiode erreicht werden. Ferner konnte durch eine heterodyne Messung gezeigt werden, dass im gelockten Fall auch bei einer Drift der Resonatorlänge eine niedrige Linienbreite aufrechterhalten wird. Ungelockt kann es zu multi-mode Betrieb sowie einer Linienverbreiterung kommen. Zur Modellierung des Fehlersignals wird der ECDL als 3-Spiegel-Interferometer aufgefasst und der Polarisationszustand mit Hilfe des Jones-Formalismus beschrieben. Aufgrund des großen Parameterraums wurde das Modell mit Hilfe eines evolutionären Algorithmus an die Messdaten angepasst. Es zeigt sich eine exzellente Übereinstimmung von Modell und Messung.

Q 33.8 We 15:45 F 128

**Stabiler Diodenlaser-gepumpter, Idler resonanter CW OPO auf Basis von MgO:PPLN** — ●ANDREAS LENHARD<sup>1</sup>, SEBASTIAN ZASKE<sup>1</sup>, JOHANNES L'HUILIER<sup>2</sup> und CHRISTOPH BECHER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Universität des Saarlandes, Technische Physik, Campus E2.6, 66123 Saarbrücken — <sup>2</sup>Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Physik, Erwin-Schrödinger-Str 46, 67663 Kaiserslautern

Diodenlasersysteme basierend auf InGaAs-Trapezverstärkern erreichen im Bereich 920 nm hohe Ausgangsleistungen bei gleichzeitig nahezu beugungsbegrenzter Strahlqualität. Dies erlaubt ihren effizienten Einsatz in der nichtlinearen Optik.

Wir stellen einen cw optisch parametrischen Oszillator vor, der von einem Diodenlaser master-oscillator-power-amplifier (MOPA) System bei 923 nm gepumpt wird. Der OPO Resonator ist resonant für die Pump- und Idlerwellenlänge und wird durch ein Pound-Drever-Hall Verfahren auf die Wellenlänge der Pumpquelle stabilisiert. Zur Erzeugung des Fehlersignals wird direkt der Diodenlaserstrom moduliert, was zusätzliche Modulatoren im Strahlengang überflüssig macht. Das MOPA-System als Referenz für die Stabilisierung erlaubt die amplituden- und frequenzstabile Erzeugung der Signalstrahlung und modensprung-freien Betrieb des OPO für mehr als eine Stunde. Bei 2.5 W Pumpleistung wird eine Ausgangsleistung von bis zu 220 mW erreicht. Als nichtlineares Medium dient ein 38 mm langer, periodisch gepolter MgO:LiNbO<sub>3</sub> Kristall bei Periodenlängen von 26.6  $\mu\text{m}$  und 26.4  $\mu\text{m}$ . Durch Ändern von Kristalltemperatur oder Pumpwellenlänge wird Signalstrahlung in einem Bereich von 1.4 – 1.6  $\mu\text{m}$  erzeugt.