

## Q 8: Laserentwicklung: Festkörperlaser II

Zeit: Montag 14:00–16:00

Raum: VMP 6 HS-C

Q 8.1 Mo 14:00 VMP 6 HS-C

**Untersuchung von Energietransferprozessen in  $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Yb}^{3+}:\text{Sc}_2\text{O}_3$**  — ●HENNING KÜHN, MATTHIAS FECHNER, ANDREAS KAHN, HANNO SCHEIFE und GÜNTER HUBER — Institut für Laser-Physik, Universität Hamburg, Luruper Chaussee 149, D-22761 Hamburg

Die Codotierung von  $\text{Er}^{3+}$ -dotierten Lasermaterialien mit  $\text{Yb}^{3+}$ -Ionen ist wegen der hohen  $\text{Yb}^{3+}$ -Absorptionswirkungsquerschnitte ein gebräuchliches Verfahren zur Erhöhung der Pumpabsorption. Um einen effizienten Laserbetrieb zu erzielen, ist ein guter Energietransfer zwischen den  $\text{Yb}^{3+}$ - und  $\text{Er}^{3+}$ -Ionen erforderlich. Im Rahmen dieses Beitrages wurden die Energietransferparameter zur Beschreibung der Energietransferprozesse zwischen  $\text{Er}^{3+}$  und  $\text{Yb}^{3+}$  in  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  mit zwei verschiedenen Methoden bestimmt. Hierzu wurden einerseits Messungen der Lebensdauer der  $\text{Yb}^{3+}$ -Ionen in den codotierten Proben durchgeführt, andererseits konnte der Transferparameter durch den relativen Anteil der emittierten Photonen der Wellenlänge  $1,55 \mu\text{m}$  durch  $\text{Er}^{3+}$ -Ionen unter cw-Anregung der  $\text{Yb}^{3+}$ -Ionen bestimmt werden. Laser-Experimente wurden durchgeführt, um die Eignung von  $\text{Er}^{3+}, \text{Yb}^{3+}:\text{Sc}_2\text{O}_3$  als Laser-Material zu untersuchen.

Q 8.2 Mo 14:15 VMP 6 HS-C

**Photoleitungsexperimente zur Klärung nichtlinearer Verlustmechanismen in hoch Yb-dotierten oxidischen Lasermaterialien** — ●ULRIKE WOLTERS, SUSANNE T. FREDRICH-THORNTON, CHRISTIAN HIRT, FRIEDJOF TELLKAMP, KLAUS PETERMANN und GÜNTER HUBER — Universität Hamburg, Institut für Laser-Physik, Luruper Chaussee 149, 22761 Hamburg

Aufgrund ihres vorteilhaften Energieniveauschemas werden Yb-dotierte Oxide häufig in Hochleistungslasern verwendet, da interne Verlustprozesse wie Kreuzrelaxation, Upconversion oder ESA nicht zu erwarten sind. Dennoch treten in Yb-dotierten Oxiden nichtlineare Verluste auf, die von Dotierungskonzentration, Anregungsdichte sowie der Temperatur abhängen<sup>[1]</sup> und die Lasertätigkeit stark einschränken. Bei Konzentrationen über 15% erschweren sie den Scheibenlaserbetrieb deutlich. Photoleitungsmessungen bestätigen die Existenz eines Upconversion-Prozesses, der Ladungsträger mit 2 bis 3 Yb-Anregungen kooperativ in ein stromführendes Band anhebt.

Mögliche Ursache für die beobachteten Photoströme ist die Bildung von  $\text{Yb}^{3+}/\text{Yb}^{2+}$  Charge-Transfer-Zuständen, die in der Bandlücke von YAG liegen und mit 2 bis 3 Anregungen erreichbar sind. Es werden Messungen vorgestellt zur Konzentrationsabhängigkeit, zum Einfluss von Kodotierungen von Yb:YAG mit z.B. Eisen als Verunreinigung sowie zum unterschiedlichen Verhalten von einkristallinem Yb:YAG und Yb:YAG-Keramiken.

[1] M. Larionov et al., *OSA Trends in Optics and Photonics, Advanced Solid-State Photonics, paper TuB49 (2005)*

Q 8.3 Mo 14:30 VMP 6 HS-C

**Intrinsische Reduktion von Depolarisationsverlusten in Nd:YAG Kristallen** — ●HENRIK TÜNNERMANN, OLIVER PUNCKEN, MAIK FREDE, PETER WESSELS und DIETMAR KRACHT — Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, D-30419 Hannover

Die beim Pumpen in einem Laserkristall deponierte Heizleistung führt zu Spannungen im Kristall, welche über den photoelastischen Effekt zu einer Variation des Brechungsindizes und damit zur Depolarisation linear polarisierter Strahlung führen. Neben den Standardmethoden zur Doppelbrechungskompensation bietet die Abhängigkeit der thermisch induzierten Doppelbrechung von dem Kristallschnitt eine Möglichkeit, die Depolarisation zu verringern. Theoretische Betrachtungen zum photoelastischen Effekt unter Berücksichtigung von Kristallgeometrie und Pumplichtverteilung wurden experimentell mit niedrig dotierten, zylindrischen Nd:YAG Laserstäben überprüft. Dafür wurden neben den konventionell erhältlichen [111]-Schnitten auch Kristalle auf ihre Depolarisationseigenschaften untersucht, die in [110]- bzw. [100]-Richtung geschnitten sind. Die Depolarisation ist dann nicht nur von der Heizleistung, sondern auch von der Polarisationsrichtung abhängig. Zur Messung der Effekte wurde ein Nd:YLF Seedlaser verwendet. Dieser emittiert linear polarisierte Strahlung, die in dem YAG Kristall nicht verstärkt wird. Die Depolarisation dieser Seedstrahlung wurde nach einem Durchgang durch die gepumpten Nd:YAG Kristalle analysiert. Depolarisationsgrad und Depolarisationsmuster wurden für ver-

schiedene Seedstrahlgrößen und Pumplichtverteilungen innerhalb der Kristalle gemessen und mit dem theoretischen Modell verglichen.

Q 8.4 Mo 14:45 VMP 6 HS-C

**Hocheffizienter Laserbetrieb von Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bei einer Wellenlänge von 2  $\mu\text{m}$**  — ●PHILIPP KOOPMANN, RIGO PETERS, KLAUS PETERMANN und GÜNTER HUBER — Universität Hamburg, Institut für Laser-Physik, Luruper Chaussee 149, 22761 Hamburg

Aufgrund seiner thermischen und spektroskopischen Eigenschaften ist Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ein vielversprechendes Lasermaterial für Anwendungen im Wellenlängenbereich um  $2 \mu\text{m}$ . Zur Ermittlung der Lasereigenschaften wurden Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristalle mit unterschiedlichen Dotierungskonzentrationen hergestellt. Messungen der thermischen Leitfähigkeit zeigen auch bei hohen Dotierungskonzentrationen bis 10 at.% Tm eine lediglich geringfügig reduzierte Wärmeleitfähigkeit gegenüber dem undotierten Material. Dies stellt im Vergleich zu Tm:YAG einen signifikanten Vorteil für die Skalierbarkeit zu hohen Ausgangsleistungen dar. Spektroskopische Untersuchungen ergaben hohe Emissionswirkungsquerschnitte von  $9 \cdot 10^{-21} \text{cm}^2$  und eine nur geringe Verkürzung der Fluoreszenz-Lebensdauer des oberen Laserniveaus bei zunehmender Dotierungskonzentration. Erste Laserexperimente wurden mit einem Ti:Saphir-Laser bei einer Pumpwellenlänge im Bereich von 800 nm durchgeführt. Über einen Kreuzrelaxationsprozess wird das obere Laserniveau effizient bevölkert. Erstmals konnte cw-Laserbetrieb von Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gezeigt werden. Differentielle Wirkungsgrade von bis zu 61% sowie niedrige Schwellpumpleistungen im Bereich von 30 mW bestätigen die ausgezeichneten Eigenschaften des Wirtsmaterials. Unter Verwendung eines doppelbrechenden Filters konnte der Laser in einem Bereich von 1900 nm bis 2110 nm durchgestimmt werden.

Q 8.5 Mo 15:00 VMP 6 HS-C

**Optische Verstärkung in einkristallinen Er:(Gd,Lu)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Rippenwellenleitern** — ●SEBASTIAN HEINRICH, ANDREAS KAHN, HENNING KÜHN, KLAUS PETERMANN und GÜNTER HUBER — Institut für Laser-Physik, Universität Hamburg

Die Wellenleitergeometrie ist vielversprechend im Hinblick auf die Entwicklung kompakter Lasersysteme. Infolge der hervorragenden thermomechanischen und optischen Eigenschaften stellen optisch aktive Sesquioxid-Wellenleiter schmale Emissionslinien, hohe Frequenzstabilität und eine hohe optische Verstärkung in Aussicht.

Daher wurden mit dem Pulsed Laser Deposition Verfahren einkristalline gitterangepasste Er:(Gd,Lu)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schichten auf Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Substraten hergestellt. Spektroskopische Untersuchungen zeigten, dass die Emissionsspektren, bis auf eine geringe Verbreiterung, gut mit den Spektren von Er:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Volumenkristallen übereinstimmen. Auch die gemessene Lebensdauer  $\tau = 6,3 \text{ms}$  des  $^4\text{I}_{13/2}$ -Niveaus entspricht annähernd dem Vergleichswert einer Er:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schicht.

In einem 7mm langen (0,6at%) Erbium dotierten Wellenleiter konnte bei einer Wellenlänge von 1535nm eine Verstärkung von 5,9dB/cm gemessen werden. Bei der Messung an einer vergleichbaren Schicht ergab sich für die Verluste eine obere Grenze von 4,4dB bei einer Wellenlänge von 633nm. Bei höheren Wellenlängen werden wesentlich geringere Verluste erwartet. So konnte bei erst kürzlich durchgeführten Experimenten mit einer Nd:(Gd,Lu)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schicht Lasertätigkeit bei 1079nm gezeigt werden [1].

[1] A. Kahn et al., eingereicht bei OpticsExpress.

Q 8.6 Mo 15:15 VMP 6 HS-C

**Subharmonische Fourier Domänen Modenkopplung (shFDML)** — ●CHRISTOPH EIGENWILLIG, WOLFGANG WIESER, BENJAMIN BIEDERMANN und ROBERT HUBER — Lehrstuhl für biomolekulare Optik, Fakultät für Physik, LMU München

Fourier Domänen modengekoppelte Laser (FDML) sind instantan schmalbandige, schnell wellenlängenabstimmbare Laser, die unter anderem in der biomedizinischen Bildgebung zur optischen Kohärenztomographie (OCT) Anwendung finden. Hier konnte durch den Einsatz von FDML-Lasern die Abtastrate um ein Vielfaches vergrößert werden. Abstimmgeschwindigkeiten von bis zu 370 kHz über einen Abstimmbereich von 100 nm wurden demonstriert. Das FDML-Prinzip basiert darauf, dass ein optischer Bandpass-Filter im Laserresonator resonant zur Lichtumlaufzeit verstimmt wird. Eine Voraussetzung hierfür ist eine optische Verzögerungsstrecke in der Form von

mehreren Kilometern Glasfaser. Insbesondere bei Verwendung von teurer Spezialfaser kann die Länge jedoch einen Nachteil darstellen. Hier wird ein neuartiger FDML-Laser (subharmonic FDML) vorgestellt, bei dem Licht die optische Verzögerungsstrecke mehrmals durchläuft und somit die Faserlänge reduziert werden kann. Durch Auskoppeln des Lichts in der Verzögerungsstrecke besteht zudem die Möglichkeit, die Frequenzdurchläufe optisch zu vervielfältigen und damit die Abstrakte für OCT zu vergrößern. Einschränkungen der Abstimmbandbreite und mögliche Lösungsansätze werden diskutiert. Die Anwendung des Lasers für OCT-Bildgebung wird demonstriert.

Q 8.7 Mo 15:30 VMP 6 HS-C

**Frequency stabilization of a Q-switched Nd:YAG oscillator following a radio-frequency sideband scheme modified by a sample and hold circuit** — ●ROBERT ELSNER, MARTIN OSTERMEYER, THOMAS WALTINGER, and MARKUS GREGOR — Institute for Physics and Astronomy, University of Potsdam, Karl-Liebknecht-Str 24/25, 14476 Potsdam, Germany

Frequency stabilized laser sources in the pulsed domain are of interest for a number of applications - in particular for advanced LIDAR measurements. We present a modified Pound-Drever-Hall [1] technique applied to a Q-switched Nd:YAG ring oscillator [2]. The PDH-technique relies on a reasonably high Q of the resonator. The main limitation of the PDH-method for Q-switched operation is the low Q during the pump period of the gain material. During this period the PDH-scheme is blind and an ill-defined error signal is produced. This problem can be avoided by introducing a sample and hold controller to the scheme

that is triggered by the Q-switch. Applying this technique to the injection seeded oscillator a frequency stability of better than 285kHz (rms) is obtained. The oscillator emits pulses of 23ns duration and 20mJ energy at a repetition rate of 400Hz.

- [1] R. W. P. Drever et al., Appl. Phys. B **31** 97\*105 (1983)
- [2] A. Sträßer et al., Applied Optics **46** 8358-8363 (2007)

Q 8.8 Mo 15:45 VMP 6 HS-C

**Erzeugung flexibler Pulszüge zur effizienten Materialbearbeitung mit Hochleistungslasern** — ●OLIVER LUX und THOMAS RIESBECK — TU Berlin, Deutschland

Hochleistungsfestkörperlaser sind von großer Bedeutung für zahlreiche Anwendungen in der Industrie und Wissenschaft. Dabei bedürfen diese Systeme speziell für das breite Gebiet der Materialbearbeitung neben einer hohen Ausgangsleistung auch einer sehr guten Strahlqualität. Hierzu wurde ein blitzlampengepumptes, aktiv gütegeschaltetes Nd:YAG-Oszillator-Verstärker-System mit einer Ausgangsleistung von über 100 W und einer Strahlqualität von  $M^2 < 2,5$  entwickelt. Das System operiert mit einer Repetitionsrate von 100 Hz, wobei während jedes Pumpulses eine flexibel einstellbare Zahl an so genannten Burst-Pulsen erzeugt wird. Auf diese Weise gelingt es die Intensität des Laserstrahls unter Beibehaltung seiner geometrischen Parameter variabel einzustellen. Die Pulsbreiten lassen sich ebenso in einem Bereich von 25 bis 150 ns steuern. Die hohe Strahlqualität des verstärkten Strahls wird durch eine Anordnung zur Kompensation der thermisch induzierten Doppelbrechung realisiert, so dass ein linear polarisierter Laserstrahl mit Depolarisationsverlusten von unter 2 % erzielt wird.