

Q 12: Laser Development: Solid State Lasers I

Time: Monday 16:30–19:00

Location: F 128

Q 12.1 Mo 16:30 F 128

Simulation und Fertigung von integrierten Faserschmelzkopplern mit hoher Transmission des Pump- und Signallichtes — KATHARINA HAUSMANN, •THOMAS THEEG, HAKAN SAYINC, MATTHIAS HILDEBRANDT, JÖRG NEUMANN und DIETMAR KRACHT — Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, D-30149 Hannover

Für Faserlaser und -verstärker werden Schmelzkoppler für die justagefreie und verlustarme Pumplichtkopplung in Doppelkernfasern verwendet. Zumeist werden hierfür Faserbündel aus sechs oder mehr Pumpfasern und einer Faser mit Signaldurchführung getapert und anschließend mit der gewünschten (aktiven) Doppelkernfaser verspleißt. Dies ermöglicht eine effiziente Pumplichtkopplung mit Transmissionswerten von über 90%. Jedoch können die Transmissionsverluste der Signalstrahlung durch eine fehlerhafte Modenfeldanpassung bis zu 20% betragen. Besonders für einen Verstärkerbetrieb mit gegenläufiger Pumpstrahlung sind geringe Transmissionsverluste für die Signalstrahlung notwendig. Dies kann durch seitliches Einkoppeln der Pumpstrahlung in eine Doppelkernfaser realisiert werden. Hierfür wird die Pumpfaser vorgetapert und seitlich mit der Signalfaser verschmolzen.

In diesem Beitrag werden Schmelzkoppler mit bis zu vier Pumpfasern mit 125 μm Durchmesser mit Einkoppeleffizienzen bei 25 W Leistung pro Port von bis zu 95% präsentiert. Die verwendete Doppelkernfaser mit einem Kerndurchmesser von 30 μm und einem Pumpkerndurchmesser von 250 μm zeigte eine Transmission der Signalstrahlung von über 97%.

Q 12.2 Mo 16:45 F 128

Einkristalliner $\text{Yb}^{3+}:(\text{Gd},\text{Lu})_2\text{O}_3$ -Wellenleiterlaser bei 976,8 nm — •HENNING KÜHN, SEBASTIAN HEINRICH, ANDREAS KAHN, KLAUS PETERMANN und GÜNTER HUBER — Institut für Laser-Physik, Universität Hamburg, Luruper Chaussee 149, D-22761 Hamburg

Wir berichten über einen Yb^{3+} -dotierten Sesquioxid-Rippenwellenleiterlaser basierend auf einer gitterangepassten Yb^{3+} (3%): $(\text{Gd},\text{Lu})_2\text{O}_3$ -Schicht, die epitaktisch mit Pulsed Laser Deposition (PLD) auf einem Y_2O_3 -Substrat aufgewachsen wurde. Mittels Argon-Ionenätzen wurden Rippenwellenleiter strukturiert und Wellenleitung nachgewiesen. Unter Pumpen mit einem $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ -Laser bei 905 nm wurde Laseremission bei 976,8 nm beobachtet [1]. In Bezug auf die eingestrahle Leistung wurden eine Laserschwelle von 17 mW und aufgrund der noch recht hohen Verluste ein differentieller Wirkungsgrad von bisher 6,7% erzielt. Bei einer einfallenden Pumpleistung von 200 mW wurde eine maximale Ausgangsleistung von 12 mW erreicht. [1] H. Kühn et al., Optics Letters 34 (18), 2718-2720 (2009)

Q 12.3 Mo 17:00 F 128

Tapering fibers with complex shape — •SEBASTIAN PRICKING and HARALD GIessen — 4. Physikalisches Institut, Universität Stuttgart

We present a model which allows us to accurately simulate the fabrication process of complex-shaped tapered fibers. The range of possible profiles is only limited by the properties of the heat source used to shape the fiber. The model takes into account the motion of the heat source relative to the fiber as well as its temperature distribution. Our measurements and corresponding finite element method (FEM) simulations have shown a strong dependency of the temperature distribution along the fiber axis on the actual diameter of the fiber. The inclusion of this relation in the model proved to be crucial for the accuracy of the results. Our model has been verified experimentally by fabricating tapered fibers with a sinusoidally modulated waist. A comparison to the profile predicted by our model reveals an excellent agreement.

Q 12.4 Mo 17:15 F 128

Hocheffiziente Femtosekunden-Laser geschriebene Kanal-Wellenleiterlaser in $\text{Yb}:\text{YAG}$ -Kristallen — •THOMAS CALMANO, JÖRG SIEBENMORGEN, KLAUS PETERMANN und GÜNTER HUBER — Universität Hamburg, Institut für Laser-Physik, Luruper Chaussee 149, 22761 Hamburg

Aufgrund eines nichtlinearen Absorptionsprozesses ist eine Volumenstrukturierung dielektrischer Materialien mit fs-Laserpulsen im μm -Bereich möglich. In Yb -dotierten und undotierten YAG -Kristallen wur-

de die kristalline Struktur im Fokus des fs-Lasers zerstört. Durch Verfahren der Probe unter dem Fokus des fs-Lasers wurden Spuren aus zerstörtem Material hergestellt. Aufgrund des elasto-optischen Effekts bewirken diese Spuren eine lokale spannungsinduzierte Erhöhung des Brechungsindex im umgebenen Material um $\Delta n \approx 10^{-3}$. In diesen Bereichen konnte Wellenleitung gezeigt werden. Durch Schreiben zweier paralleler Spuren in einem Abstand von 25 μm wurden im Bereich zwischen den Spuren Wellenleiter mit Verlusten von ca. 1,2 dB/cm hergestellt. Lasertätigkeit der Wellenleiter war über die Rückkopplung an den Endflächen aufgrund der Fresnel-Reflexion von $R \approx 9\%$ möglich. Dies entspricht einem Auskoppelgrad von 99%. Mit $\text{Yb}(7\%):\text{YAG}$ wurde eine maximale Ausgangsleistung von 775 mW bei 1,21 W eingekoppelter Pumpleistung und einer Schwellpumpleistung von 163 mW erreicht. Der differentielle Wirkungsgrad von $\eta_s = 74\%$ bezüglich eingekoppelter Pumpleistung und $\eta_{se} = 66\%$ bezüglich einfallender Pumpleistung ist der höchste Wirkungsgrad, der bisher in fs-Laser geschriebenen Wellenleiterlasern erzielt wurde.

Q 12.5 Mo 17:30 F 128

Ein leistungsstarker Ytterbium-Faserverstärker bei 1091 nm für eine Lyman- α -Quelle — •RUTH STEINBORN, MARTIN SCHEID, DANIEL KOLBE, ANDREAS MÜLLERS, ANDREAS KOGLBAUER, STEFAN BOETTNER, SVEN RICHTER und JOCHEN WALZ — Institut für Physik, Universität Mainz, D-55099 Mainz

Als Teil eines Kühllasersystems für Anti-Wasserstoff wird ein stabiler, leistungsstarker und kontinuierlicher Laser bei einer Wellenlänge von 1091 nm benötigt [1].

Zu diesem Zweck wird das Licht einer gitterstabilisierten Laserdiode in einer Ytterbium-dotierten Faser verstärkt. Um dieses Faserverstärkersystem unter dem Gesichtspunkt maximaler Ausgangsleistung bei möglichst hoher ASE-Unterdrückung (Amplified Spontaneous Emission) zu optimieren, wurden unterschiedliche Fasern getestet und der Einfluss der Faserlänge untersucht.

Mit dem aufgebauten System kann bei einstufiger Verstärkung eine stabile Ausgangsleistung von 3 W bei einer ASE-Unterdrückung von 40 dB erreicht werden.

[1] M. Scheid, D. Kolbe, F. Markert, T. W. Hänsch, and J. Walz, Optics Express, Vol. 17, No. 14, 11274 (2009)

Q 12.6 Mo 17:45 F 128

Femtosekunden-Laser geschriebener Nd:YAG Wellenleiter mit $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ Dünnschicht als gütegeschalteter Laser — •FRIEDJOF TELLKAMP, THOMAS CALMANO, JÖRG SIEBENMORGEN, KLAUS PETERMANN und GÜNTER HUBER — Universität Hamburg, Institut für Laser-Physik, Luruper Chaussee 149, 22761 Hamburg

Mit Laserpulsen einer Pulsdauer von 140 fs und einer Wellenlänge von 775 nm wurden in einem 9 mm langen Nd(1 at.):YAG Kristall ca. 300 μm unter die Oberfläche spannunginduzierte Wellenleiter geschrieben.

Auf eine der Endflächen des Kristalls wurde eine ca. 5 μm dünne Schicht aus $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ mittels Pulsed Laser Deposition auf einen Nd:YAG Wellenleiterlaser aufgetragen. Die Dotierung der Dünnschicht beträgt 10 at.% Chrom. Als Ladungskompensation zum Erhalt von vierwertigem Chrom wurde Magnesium beigemischt. Die Deposition der Schicht fand bei Raumtemperatur und einem Druck von 2×10^{-3} mbar in einer Sauerstoffatmosphäre statt. Für den Ablationsprozess wurde ein KrF-Excimerlaser mit 800 mJ Pulsenergie und einer Wiederholrate von 40 Hz verwendet.

Der Wellenleiter mit dem aufgebrachtten sättigbaren Absorber wurde mit einem Ti:Saphir-Laser bei 808 nm gepumpt und auf Lasertätigkeit hin untersucht. Hierbei zeigte der Laser eine schnelle Modulation von ca. 1 MHz bei Pulsbreiten von etwa 100 ns.

Q 12.7 Mo 18:00 F 128

Design von aktiven Großkernfasern mit hoher Modendiskreminierung — FLORIAN JANSEN¹, MARTIN BAUMGARTL^{1,2}, •HANS-JÜRGEN OTTO¹, CESAR JAUREGUI¹, JENS LIMPERT^{1,2} und ANDREAS TUNNERMANN^{1,2,3} — ¹Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Angewandte Physik, Albert-Einstein-Str. 15, 07745 Jena — ²Helmholtz-Institut Jena, Max-Wien-Platz 1, 07743 Jena — ³Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Albert-Einstein-Str. 7, 07745 Jena

Die wachsende Ausgangsleistung von Faserlasern erfordert eine Vergrößerung der Kernfläche zur Vermeidung nichtlinearer Effekte. Hierfür haben sich aktive Großkernfasern mit photonischer Kristallstruktur etabliert, welche jedoch keinen strikten Einmodenbetrieb besitzen. Durch Moden höherer Ordnung (HOM) wird die Strahlqualität und Strahllagestabilität verschlechtert. Mit einem angepassten Design der photonischen Struktur für aktive Großkernfasern lassen sich dennoch eine gute Strahlqualität und große Modenfelddurchmesser erreichen. Für verschiedene hexagonale Designs wird der Einfluss der Brechzahlabsenkung des Kerns, hervorgerufen durch die aktive Dotierung des Kernbereichs, untersucht. Für einen Propagationsverlust von 1dB/m bei einem Modenfelddurchmesser von $50\mu\text{m}$ wird bei einem angepassten Design für die 1. HOM ein Verlust von 100dB/m erreicht. Die experimentelle Bewertung eines solchen Faserdesigns ist mit Hilfe räumlich aufgelöster Spektroskopie (S^2) möglich.

Q 12.8 Mo 18:15 F 128

Einkristalline Seltenerd-dotierte Sesquioxid Rippenwellenleiter — ●SEBASTIAN HEINRICH, ANDREAS KAHN, HENNING KÜHN, FRIEDJOF TELLKAMP, KLAUS PETERMANN und GÜNTER HUBER — Universität Hamburg, Institut für Laser-Physik, Luruper Chaussee 149 22761 Hamburg

Die Wellenleitergeometrie ist vielversprechend im Hinblick auf die Entwicklung kompakter Lasersysteme. Infolge der hervorragenden thermomechanischen und optischen Eigenschaften stellen Seltenerd-dotierte Sesquioxid-Wellenleiter schmale Emissionslinien, eine hohe Frequenzstabilität und hohe optische Verstärkung in Aussicht. Mit dem Pulsed Laser Deposition-Verfahren wurden auf Y_2O_3 -Substrate gitterangepasste Seltenerd-dotierte $(\text{Gd},\text{Lu})_2\text{O}_3$ -Schichten hergestellt. Spektroskopische Untersuchungen zeigten, dass die Emissionsspektren, bis auf eine geringe Verbreiterung, gut mit den Spektren von $\text{Er}:\text{Y}_2\text{O}_3$ -Volumenkristallen übereinstimmen. In einem 0,6at.% Erbium-dotierten Wellenleiter konnte bei einer Wellenlänge von 1535 nm eine Verstärkung von 5,9 dB/cm gemessen werden. Die optische Verstärkung in Erbium-dotierten $(\text{Gd},\text{Lu})_2\text{O}_3$ -Schichten reichte nicht aus, um die Wellenleitungsverluste von typischerweise einigen dB/cm auszugleichen. Dagegen konnte in einem Neodym-dotierten $(\text{Gd},\text{Lu})_2\text{O}_3$ -Rippenwellenleiter Lasertätigkeit mit einem differentiellen Wirkungsgrad von 0,5% nachgewiesen werden [1]. Diskutiert werden verschiedene Verfahren, um die Wellenleitungsverluste zu reduzieren und so die Effizienz der Rippenwellenleiterlaser zu erhöhen. [1] A. Kahn et al., Opt. Express 17, 4412 (2009)

Q 12.9 Mo 18:30 F 128

Komplett faserbasierte regenerative Verstärkung von 40 ps Pulsen mit niedriger Pulsenergie von einer gewinngeschalteten Laserdiode — ●SEBASTIAN KANZELMEYER, MATTHIAS HILDEBRANDT, THOMAS THEEG, MAIK FREDE, JÖRG NEUMANN und DIETMAR KRACHT — Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, 30419 Hannover

Es wird die komplett faserbasierte AOM gesteuerte regenerative Verstärkung von Pulsen einer gewinngeschalteten Laserdiode mit 40 ps Pulsdauer und 28 pJ Pulsenergie vorgestellt. Durch dieses Konzept konnte auch bei niedriger Pulswiederholrate und der damit verbundenen sehr niedrigen mittleren Leistung eine Verstärkung von über 37 dB bei gleichzeitig guter ASE Unterdrückung erzielt werden.

Q 12.10 Mo 18:45 F 128

Leistungskalierung Er:Yb-kodotierter Faserverstärker durch Injektion eines Hilfssignals bei $1,0\mu\text{m}$ — ●VINCENT KUHN^{1,2}, PETER WESSELS^{1,2}, JÖRG NEUMANN^{1,2} und DIETMAR KRACHT^{1,2} — ¹Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, 30419 Hannover — ²QUEST – Centre for Quantum Engineering and Space-Time Research, Welfengarten 1, 30167 Hannover

In unserem Beitrag wird ein bei 976 nm gepumpter Er:Yb-kodotierter Faserverstärker in Doppelkerngeometrie vorgestellt, in den gleichzeitig einfrequente Signale bei 1556 nm und 1064 nm injiziert wurden. Die hierdurch erreichte Unterdrückung parasitärer Laserprozesse bei $1,0\mu\text{m}$ Wellenlänge erlaubte das Erreichen einer stabilen und pumpleistungsbegrenzten Ausgangsleistung von 8,7 W bei 1556 nm und einer zugehörigen – und insbesondere für Er:Yb-kodotierte Systeme sehr hohen – Signalverstärkung von > 22 dB. Die optisch-zu-optische Effizienz bei 1556 nm wurde durch das bei 1064 nm injizierte Signal nicht verringert. Als Unterdrückungsmechanismus für parasitäre Laserprozesse um $1,0\mu\text{m}$ dient die mit Hilfe des bei 1064 nm injizierten Signals erreichte Verstärkungssättigung. Dies bedeutet, dass die Verhinderung parasitärer Laserprozesse direkt durch den Übergang von Klein- zu Großsignalverstärkung erfolgt, anstatt durch, wie sonst üblich, wellenlängenselektive Verluste oder starke Injektionssignale und somit geringe Verstärkungsfaktoren. Abschließend werden in unserem Beitrag Möglichkeiten zur Leistungskalierung, bzw. der Übertragung des Konzepts auf Hochleistungfaserverstärker im Bereich von 100 W Ausgangsleistung diskutiert.