

Q 22 Festkörperlaser III

Zeit: Dienstag 10:40–12:40

Raum: HIV

Q 22.1 Di 10:40 HIV

Einfrequenter Nd:YAG-Laser für die nächste Generation erdgebundener Gravitationswellendetektoren — ●LUTZ WINKELMANN, MAIK FREDE, RALF WILHELM und DIETMAR KRACHT — Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, D-30419 Hannover

Für die nächste Generation von Gravitationswellendetektoren wird ein einfrequentes Grundmodelasersystem mit einer Ausgangsleistung von ca. 200 W benötigt. Zum Erreichen dieser Spezifikationen wurde ein Ringresonator mit vier longitudinal gepumpten Laserkristallen entwickelt.

Um die hohen Anforderungen an die Strahleigenschaften des Lasers zu erfüllen, wurde ein Design aus drei Stufen gewählt. Diese drei Stufen gliedern sich in einen „Master Laser“ (NPRO), einen 12 W Oszillator und den eigentlichen Hochleistungsoszillator. Alle drei Stufen wurden durch das „Injection Locking“ Verfahren miteinander gekoppelt um den einfrequenter Betrieb des Lasers zu gewährleisten. Zur Erzeugung einer möglichst guten Strahlqualität, wurde in dem 4-Kopf-Ringoszillator zwischen jeweils zwei der Nd:YAG Kristalle eine Optik zur Kompensation der thermisch induzierten Doppelbrechung eingesetzt. Damit konnte bei einer Pumpleistung von 200 W pro Kristall eine linear polarisierte Ausgangsleistung von 195 W im Grundmode demonstriert werden. Dies entspricht einer Effizienz von 24%.

Q 22.2 Di 10:55 HIV

Inkohärente Überlagerung von Yb-Dotierten Faserlasern — ●SANDRO KLINGEBIEL¹, FABIAN RÖSER¹, TOM SCHREIBER¹, JENS LIMPERT¹ und ANDREAS TÜNNERMANN^{1,2} — ¹Friedrich Schiller University Jena, Institute of Applied Physics, Max-Wien-Platz 1, D-07743 Jena — ²Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering, Albert-Einstein-Strasse 7, 07745 Jena

Stets werden cw-Laser mit immer höheren Leistungen und mit hoher Strahlqualität benötigt. Faserlaser haben sehr gute Strahleigenschaften aber die Leistung ist durch nichtlineare Effekte begrenzt, so dass neue Wege zur Leistungsskalierung beschränkt werden müssen. Eine Möglichkeit ist das Spectral Combining. Man benutzt mehrere Faserlaser und überlagert die einzelnen Laserstrahlen im Nah- und Fernfeld. Dabei werden Laserstrahlen mit leicht verschiedenen Wellenlängen durch ein diffraktives Element inkohärent überlagert. Es entsteht ein leistungsstarker Ausgangsstrahl, mit guter Strahlqualität.

Es werden Yb-dotierte Photonische-Kristall-Fasern (PCF) mit einem Kerndurchmesser von 40 µm in einer MOPA-Anordnung (Master Oszillator Power Amplifier) benutzt. Die Single Mode PCF mit dem großen Modendurchmesser können jeweils Leistungen im 100 W-Bereich liefern. Ein erstes Ziel unserer Arbeit ist es, zwei solche Fasern zu kombinieren. Damit soll gezeigt werden, dass spectral combining bei hohen Leistungen möglich ist. Wir werden den Aufbau und erste Ergebnisse vorstellen.

Q 22.3 Di 11:10 HIV

Kerndotierte Nd:YAG Keramik-Stäbe im transversal gepumpten Verstärker Betrieb — ●ALEXANDER STRÄSSER und MARTIN OSTERMEYER — Am Neuen Palais 10 14469 Potsdam

Eine neue Alternative zu kristallinen Nd:YAG Stäben sind kerndotierte Nd:YAG Keramikstäbe. Diese wurden bezüglich ihrer möglichen Vorteile im Verstärkerbetrieb untersucht. Die Strahlqualität eines Gaußstrahls nach Einfach- und Doppeldurchgang durch den Laserstab sowie die Extraktionseffizienz wurden gemessen. Zwei Keramikstäbe mit 3 mm und 4 mm Kerndurchmesser sowie 5 mm Außendurchmesser und ein gewöhnlicher Kristall mit 5 mm Durchmesser standen dabei zur Verfügung. Bei den kerndotierten Stäben ist die Extraktionseffizienz größer. Das liegt einerseits an der höheren Inversionsdichte bei kleinerem dotiertem Volumen und andererseits an der größeren Intensität des gaußförmigen Eingangspulses im kerndotierten Bereich. Im Einsatz der Keramikstäbe nahm die Strahlqualität im Vergleich zum kristallinen Stab ab. Gründe für die Verschlechterung sind der Brechungsindexsprung zwischen dem undotierten und dotierten Bereich von 0.005 % und ausschließlich im Kern wirksame Verstärkung. Diese Phasenfrontverzerrungen konnten mit phasenkonjugierenden Spiegeln im Doppelpaß jedoch zum größten Teil kompensiert werden. Derart konnte, unter Verwendung der kerndotierten Stäbe, für Gaußsche Strahlen eine gute Extraktion und auch eine gute Strahlqualität im Verstärkerdurchgang demonstriert werden.

Q 22.4 Di 11:25 HIV

Kompakter 320 W Hochleistungsfaserlaser — ●JAN ROTHARDT, OLIVER SCHMIDT, SANDRO KLINGEBIEL, JENS LIMPERT, THOMAS SCHREIBER und ANDREAS TÜNNERMANN — Institut für Angewandte Physik, Albert Einstein Str. 15, 07745 Jena

Faserlaser bieten ausgezeichnete Strahlqualität auch bei großen Ausgangsleistungen, die kaum durch thermische Effekte beeinflusst wird. Durch die kleinen Modenfelddurchmesser und großen Wechselwirkungslängen sind faserbasierende Lasersysteme vor allem durch nichtlineare Effekte leistungsbegrenzt. Eine Verringerung der Nichtlinearität, realisiert durch Vergrößerung des Modenfelddurchmessers und Verringerung der aktiven Faserlänge, ermöglicht höhere Spitzenleistungen. Beide Ideen werden im Konzept der rod-type Faser umgesetzt. Große Modenfelddurchmesser werden jedoch nur durch extrem schwach führende Faserstrukturen erreicht. Um Durchbiegung der Faser und damit hohe Verluste zu vermeiden müssen diese Fasern mit einem dicken Quarzglasstab umgeben sein. Durch Einsatz photonischer Kristallstrukturen sind Modenfelddurchmesser bis 50 µm möglich geworden. Bei gleichzeitig hoher Dotierung des aktiven Kerns kann die Faserlänge im Laseraufbau auf 50 cm verringert werden. Damit ergibt sich ein kompakter Laseraufbau mit hoher Ausgangsleistung. Im Experiment werden cw-Ausgangsleistungen bis 320 W aus einer 58 cm langen Faser demonstriert. Numerische Simulationen und experimentelle Untersuchungen an photonischen Kristallfasern mit noch größeren Kerndurchmessern zeigen welche Möglichkeiten für eine weitere Skalierung des Kerndurchmessers bestehen.

Q 22.5 Di 11:40 HIV

Kompakter, passiv gütegeschalteter Nd:YAG MOPA für weltraumgestützte Laseraltimetrie — ●SVEN HAHN, RAFAEL HUSS, JÖRG NEUMANN, RALF WILHELM, MAIK FREDE und DIETMAR KRACHT — Laserzentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, 30419 Hannover

Für die ESA Mission „Bepi Colombo“ wird ein gepulstes Lasersystem mit nahezu beugungsbegrenztem Strahlprofil ($M^2 < 1,6$), 50 mJ Pulsenergie und weniger als 10 ns Pulsdauer benötigt, welches als Strahlquelle für ein Laseraltimeter dienen soll.

Von entscheidender Bedeutung für die Weltraumanwendung ist neben den Laserparametern auch Masse und Volumen sowie Effizienz und Temperaturstabilität. So muss ein stabiler Betrieb über einen Temperaturbereich von $\Delta T = 25K$ für den Laser gewährleistet sein. Hinzu kommt, dass die verwendeten Pumpdioden lediglich auf einen Bereich von $\Delta T = 15K$ stabilisiert werden, welches eine Verschiebung der Emissionswellenlänge um ca. 5 nm und somit eine sich ändernde Absorption der Pumpenergie im laseraktiven Medium zur Folge hat.

Um die gestellten Anforderungen zu erfüllen, wurde ein mit fasergekoppelten Laserdioden longitudinal QCW-gepumptes Nd:YAG MOPA System, bestehend aus einem passiv gütegeschaltetem Oszillator und zwei Verstärkerstufen, entwickelt. Die geforderten Laserparameter konnten mit diesem System bereits demonstriert werden.

Q 22.6 Di 11:55 HIV

Modenselektiv endgepumptes Zweikopffasersystem mit Doppelbrechungskompensation — ●OLIVER PUNCKEN, LUTZ WINKELMANN, RALF WILHELM, MAIK FREDE und DIETMAR KRACHT — Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, D-30419 Hannover

Der Bau des interferometrischen Gravitationswellendetektors LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) stellt hohe Anforderungen an die zu verwendende Strahlquelle. Dazu gehört neben einem sehr guten Strahlprofil und einer hohen Ausgangsleistung auch der Einfrequenzbetrieb. An einem endgepumpten doppelbrechungskompensierten Nd:YAG Zweistabsystem soll durch modenselektives Pumpen eine Skalierung der Grundmodeleistung erfolgen. Hierzu werden zwei fasergekoppelte Dioden mit einer optischen Leistung von jeweils bis zu 210 W eingesetzt, die aufgrund ihrer hohen Brightness (Faserdurchmesser: 0,3 mm, NA = 0,22) modenselektives Pumpen im Hochleistungsbereich erst ermöglichen. Die Technik erlaubt einen guten Überlapp zwischen Pump- und Lasermode, so dass ein effizienter Grundmodebetrieb erreicht werden kann. Die sich bei hohen Pumpleistungen einstellende starke thermische Linse muß im Resonator- und Kristalldesign berücksichtigt werden. Durch eine Abbildungsoptik mit einem 90° Quarzrotator zwischen den Laserstäben lässt sich die thermisch induzierte Dop-

pelbrechung kompensieren.

Q 22.7 Di 12:10 HIV

Nd:YVO₄-Verstärker für die Gravitationswellendetektion —
•BASTIAN SCHULZ¹, MAIK FREDE¹, RALF WILHELM¹, DIETMAR
KRACHT¹, PATRICK KWEE², FRANK SEIFERT² und BENNO WILLKE²
— ¹Laser Zentrum Hannover e. V. Hollerithalle 8 30449 Hannover —
²Albert-Einstein-Institut, Callinstr. 38, 30167 Hannover

Die Empfindlichkeit von erdgebundenen, interferometrischen Gravitationswellendetektoren skaliert unter anderem mit der Laserleistung. Zur weiteren Steigerung der Empfindlichkeit ist es notwendig die bisherigen Systeme mit einer Laserleistung zwischen 10 W und 20 W zu ersetzen oder hochzuverstärken. Des Weiteren werden für Experimente im Bereich der Optikcharakterisierung und Entwicklung sowie Laserstabilisierung stabile, einfrequente Laser mittlerer Leistung benötigt. Es wurde ein effizienter optischer Nd:YVO₄-Verstärker entwickelt, der geeignet ist um einfrequente beugungsbegrenzte Laser zu höheren Leistungen zu skalieren. Der Verstärker wird mit einer fasergekoppelten 808 nm Laserdiode durch den 45° Einkoppelspiegel endgepumpt. Aufgrund der Kompaktheit ist es möglich mehrere baugleiche Verstärkerstufen kaskadiert zu verwenden. Mit drei Verstärkerstufen wurde ein 14 W Laser auf 40 W verstärkt. Mit zwei Verstärkerstufen konnte ein nichtplanarer Ring-Oszillator mit einer Ausgangsleistung von 2 W auf über 15 W hochverstärkt werden. Die Strahlqualität wurde durch den Verstärkungsprozess nicht messbar verschlechtert. Mit Hilfe eines Ringresonators, einem so genannten Pre Mode Cleaner, wurde eine Modenanalyse des verstärkten Strahls durchgeführt und die Laserleistung im gaußschen Grundmode zu 97% bestimmt.

Q 22.8 Di 12:25 HIV

Passiv gütegeschalteter Nd:YAG-Laser für Weltraumanwendungen — •RAFAEL HUSS, SVEN HAHN, JÖRG NEUMANN, RALF WILHELM, MAIK FREDE und DIETMAR KRACHT — Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithalle 8, D-30419 Hannover

Passive Güteschaltung von Lasern ist für den Bereich der Weltraumanwendungen aufgrund der Budgetierung von Massen und Energieressourcen von besonderem Interesse, da im Gegensatz zu aktiven Varianten der Güteschaltung auf notwendige Ansteuerungseinheiten und Modulatoren verzichtet werden kann.

Es wurde ein modenselektiv gepumptes, mit Cr⁴⁺:YAG passiv gütegeschaltetes Nd:YAG-Lasersystem entwickelt, das als Seedlaser für ein Verstärkersystem eines weltraumtauglichen Laseraltimeters auf der Merkurmission Bepi-Colombo vorgesehen ist. Mithilfe eines plankonkaven Resonatordesigns (90 mm Resonatorlänge) ist es möglich, Pulse mit einer Energie von 2,4 mJ, einer Pulsbreite < 3 ns und einer Beugungsmaßzahl $M^2 < 1,5$ bei einer Repetitionsrate bis 20 Hz zu erzeugen. Missionsbedingte Temperaturschwankungen der Quasi-cw-Laserdiode um $\Delta T = 15$ °C konnten durch ein angepasstes Kristalldesign minimiert werden. Einflüsse von Temperaturvariationen des Nd:YAG-Stabes und des Cr⁴⁺:YAG-Kristalls zwischen 20 und 45 °C auf den laufenden Pulsbetrieb wurden ebenfalls untersucht.