(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. Dezember 2005 (22.12.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/122345 A1

(51) Internationale Patentklassifikation[7]: H01S 3/067, 3/06, 3/094, B23K 26/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/005970

(22) Internationales Anmeldedatum:
3. Juni 2005 (03.06.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 027 625.0 5. Juni 2004 (05.06.2004) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **TRUMPF LASER GMBH + CO. KG** [DE/DE]; Aichhalder Strasse 39, 78713 Schramberg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **KUMKAR, Malte** [DE/DE]; Hangstrasse 26, 78713 Schramberg (DE). **VOSS, Andreas** [DE/DE]; Haldenweg 6, 78713 Schramberg (DE).

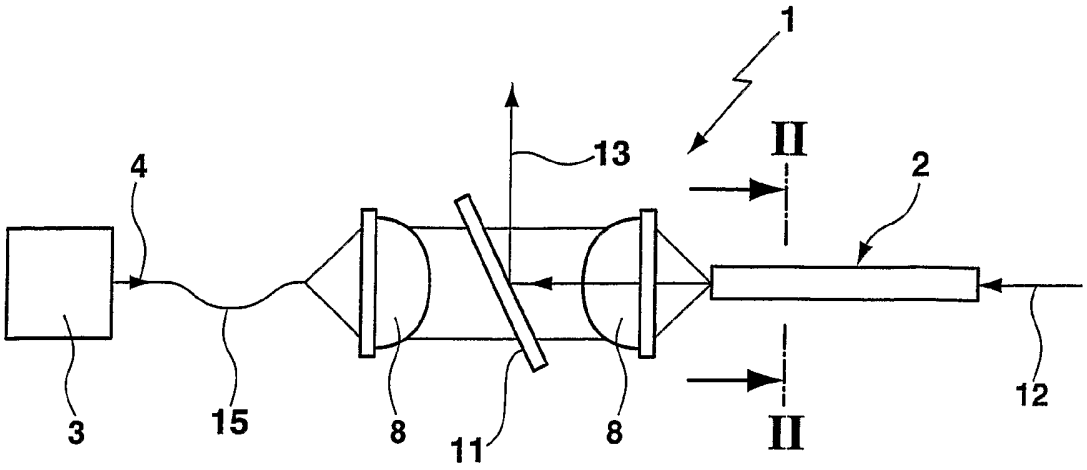
(74) Anwalt: **RANK, Christoph**; Kohler Schmid Möbius, Ruppmannstrasse 27, 70565 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** HIGH-POWER FIBRE LASER AMPLIFIER AND FIBRE LASER OSCILLATOR

(54) **Bezeichnung:** HOCHLEISTUNGS-FASERLASERVERSTÄRKER UND -FASERLASEROSZILLATOR



(57) **Abstract:** The invention relates to a high-power fibre laser amplifier (1) having a laser shaft length of between 1060 to 1100 nm, average laser power of more than 500 W and an approximate diffraction-limiting beam quality (M^2 <1,5). The inventive high power fibre laser amplifier comprises a double-clad-laser fibre (2) which has a separate laser active fibre core (5) having an outer diameter of at least 20 ?m, a pump core (6) which surrounds the fibre core (5) and which has an outer diameter of at least 50 ?m. The inventive high power fibre laser amplifier also comprises a ytterbium-doped solid body laser (3) which emits the pump light (4), having a wave length of approximately 1030 nm, beam quality of M^2 < approx. 30 and laser power of at least approximately 600 watts, which is used to pump the double-clad laser fibre (2).

(57) **Zusammenfassung:** Ein Hochleistungs-Faserlaserverstärker (1) mit einer Laserwellenlänge von 1060 bis 1100 nm und einer mittleren Laserleistung von über 500 W und annähernd beugungsbegrenzter Strahlqualität (M^2 <1,5) umfasst eine Double-Clad-Laserfaser (2), die einen separaten laseraktiven Faserkern (5) mit einem Außendurchmesser von mindestens 20 µm und einen den Faserkern (5) umgebenden Pumpkern (6) mit einem Außendurchmesser von mindestens 50 µm aufweist, und einen Ytterbium-dotierten Festkörperlaser (3), der Pumplicht (4) mit einer Wellenlänge von etwa 1030 nm, einer Strahlqualität von M^2 < ca. 30 und einer Laserleistung von mindestens ca. 600 Watt emittiert, zum Pumpen der Double-Clad-Laserfaser (2).

WO 2005/122345 A1

SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Anmelder:

TRUMPF Laser GmbH + Co. KG
Aichhalder Str. 39
D-78713 Schramberg

Vertreter:

Kohler Schmid Möbus
Patentanwälte
Ruppmannstr. 27
D-70565 Stuttgart

Hochleistungs-Faserlaserverstärker und -Faserlaseroszillator

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Hochleistungs-Faserlaserverstärker mit einer Laserwellenlänge von 1060 bis 1100 nm und einer mittleren Laserleistung von über 500 W bei nahezu beugungsbegrenzter Strahlqualität, einen entsprechenden Faserlaseroszillator sowie eine Laserbearbeitungsmaschine mit einem solchen Faserlaseroszillator.

Kontinuierliche Laserstrahlung mit nahezu beugungsbegrenzter Strahlqualität lässt sich nach dem gegenwärtigen Stand der Technik mit einzelnen Laserdioden nur bei geringen Ausgangsleistungen (< 1 W) erzielen. Eine Leistungsskalierung durch

kohärente Kopplung vieler Dioden ist grundsätzlich möglich, eine Realisierung im Multiwattbereich steht jedoch noch aus.

Um höhere Grundmodeleistungen mit gutem elektro-optischem Wirkungsgrad (10-30 %) im Spektalbereich um 1 µm zu erzielen, sind gegenwärtig mit Laserdioden gepumpte Festkörperlaser erforderlich. Unter Verwendung von Laserübergängen mit geringer thermischer Besetzung des unteren Laserniveaus (sog. Vierniveausysteme) sowie ausreichender Lebensdauer des oberen Laserniveaus und mit nicht zu geringen Absorptions- und Emissionsquerschnitten kann bereits mit Pumpquellen mäßiger Brillanz ein effizienter Grundmodebetrieb realisiert werden. Entscheidend hierfür ist, dass nur geringe thermooptische Effekte ("thermische Linse") im laseraktiven Medium auftreten. Bei Verwendung von stab- oder quaderförmigen Geometrien des laseraktiven Mediums ist dies nur bis zu etwa 5 bis 20 W Ausgangsleistung pro laseraktivem Element gewährleistet. Bei Grundmodeleistungen oberhalb von ca. 20 W pro Kristall ist bei einem Stablaser aufgrund von thermooptischen Effekten ein Grundmodebetrieb nur mit Einbußen im Wirkungsgrad und im dynamischen Stabilitätsbereich möglich; ein seitengepumpter Nd:YAG-Stab erreicht bei sorgfältig homogenisierter Pumplichtverteilung maximal rund 80 W Grundmodeleistung mit etwa 20 % optisch-optischem Wirkungsgrad.

Eine Grundmodeleistung von über 100 W aus einem einzelnen laseraktiven Medium lässt sich mit guter Effizienz (> 40 % optisch-optisch) nur mit Hilfe einer optimierten Geometrie des laseraktiven Mediums erzielen; hierbei kommt entweder ein Scheibenlaser oder ein Faserlaser in Betracht. Der Scheibenlaser weist aufgrund seines axialen, zur Resonatorstrahlung parallelen Wärmeflusses und seiner extrem kurzen optischen Weglänge stark reduzierte thermooptische Effekte auf, während der Faserlaser aufgrund der Wellenleitung der Laserstrahlung unempfindlich gegen thermooptische Effekte ist. Beide Geometrien benötigen eine relativ hohe Brillanz der Pumpstrahlung; ein typischer Wert für einen Yb:YAG-Scheibenlaser liegt bei etwa 5 $kW/(mm \cdot rad)^2$, während ein einseitig endgepumpter Faserlaser mit 100 W Ausgangsleistung bei einem typischen Pumpkerndurchmesser von 0,4 mm und einer numerischen Apertur von 0,45 ca. 20 $kW/(mm \cdot rad)^2$ benötigt. Die Skalierung der Ausgangsleistung erfolgt beim Scheibenlaser mit annähernd konstanter Brillanz der Pumpstrahlung, wobei die Strahlqualität bei gutem Wirkungsgrad nur bis rund 200 W

beugungsbegrenzt gehalten werden kann. Die Ausgangsleistung des Faserlasers kann durch beidseitiges Pumpen bei gleicher Brillanz des Pumplichts auf ca. 200 W verdoppelt werden. Eine weitere Steigerung der Leistung ist möglich, erfordert aber eine proportionale Erhöhung der Brillanz des Pumplichts, sofern der Durchmesser und die numerische Apertur des Pumpkerns konstant gehalten werden. Somit stellen Hochleistungs-Faserlaser mit Ausgangsleistungen über 500 W bei nahezu beugungsbegrenzter Strahlqualität sehr hohe Anforderungen an die Brillanz der Pumplichtquelle(n). Die Brillanz-Anforderungen können durch Erhöhung der numerischen Apertur des Pumpkerns oder durch Erhöhung des Pumpkerndurchmessers reduziert werden.

Bekannte Hochleistungs-Faserlaser werden mit aufwändig strahlgeformten Laserdiodenarrays hoher Brillanz endgepumpt. Die Wellenlänge des Pumplichts beträgt üblicherweise 980 oder 915 nm. Mit zunehmender Ausgangsleistung steigt die erforderliche Brillanz des Pumplichts, wodurch der Aufwand für die Strahlformung der Laserdioden ebenfalls ansteigt. Hochleistungslaserdiodenarrays ("Stacks") mit einer guten Fast-Axis-Kollimation weisen eine Brillanz von ca. 10-20 kW/(mm·rad)^2 auf, so dass für einen diodengepumpten Faserlaser mit 1 kW Ausgangsleistung weitere Maßnahmen für eine ca. fünf- bis zehnfache Brillanzerhöhung erforderlich sind. Hierzu zählen z.B. Polarisationskopplung, Slow-Axis-Kollimation und Wellenlängenmultiplex. Aufgrund der erforderlichen mehrstufigen optischen Transformationen ist der elektrisch-optische Wirkungsgrad dieser Pumplichtquellen mit hoher Brillanz erheblich geringer als der einer einfachen Pumplichtquelle. Gleichzeitig erhöht der benötigte optische Aufwand die Kosten der Pumplichtquellen sehr stark.

Demgegenüber ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Hochleistungs-Faserlaserverstärker mit einer mittleren Leistung von über 500 W zu entwickeln, bei dem keine aufwändige Strahlformung des Pumplichts notwendig ist und bei dem eine nahezu beugungsbegrenzte Strahlqualität im stabilen Grundmodebetrieb erreicht wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Faserlaserverstärker mit einer Laserwellenlänge von 1060 bis 1100 nm und einer mittleren Laserleistung von

über 500 W, umfassend eine Double-Clad-Laserfaser, die einen separaten laseraktiven Faserkern mit einem Außendurchmesser von mindestens 20 µm und einen den Faserkern umgebenden Pumpkern mit einem Außendurchmesser von mindestens 50 µm aufweist, und einen Ytterbium-dotierten Festkörperlaser, der Pumplicht mit einer Wellenlänge von etwa 1030 nm, einer Strahlqualität von M^2 < ca. 30 und einer Laserleistung von mindestens ca. 600 Watt emittiert, zum Pumpen der Double-Clad-Laserfaser.

Optisch angeregte Hochleistungs-Festkörperlaser als Pumpquelle bieten den Vorteil, dass die verfügbare Brillanz des Pumplichts des Hochleistungs-Festkörperlasers von über 5 MW/(mm·rad)² erheblich über dem minimal erforderlichen Wert für den Hochleistungs-Faserlaser liegt. Die Verwendung von Laserfasern mit separatem Pumpkern und laseraktivem Faserkern (sog. Double-Clad-Fasern) ermöglicht die Verwendung von Pumplicht, das eine deutlich geringere Brillanz aufweist als die Laserstrahlung am Faserausgang. Während bei Single-Mode-Fasern bereits mit beugungsbegrenzter Strahlqualität in den laseraktiven Kern gepumpt werden muss, erlauben Double-Clad-Fasern den Einsatz von Multimode-Festkörperlasern als Pumpquelle und somit höhere Ausgangsleistungen der Pumpstrahlung. Außerdem erlauben es Double-Clad-Fasern, höhere Pumpleistungen in die Laserfaser einzukoppeln, ohne die Laserfaser durch eine zu hohe Leistungsdichte im laseraktiven Kern zu zerstören.

Der Pumpkern der Double-Clad-Faser ist typischerweise erheblich (ca. 2- bis 50-fach) größer als der aktive Single-Mode-Faserkern; außerdem weist der Pumpkern eine ca. 2- bis 10-fach größere numerische Apertur als der Single-Mode-Kern auf. Insgesamt – also durch den größeren Kerndurchmesser in Verbindung mit der höheren numerischen Apertur des Pumpkerns – reduziert sich die Anforderung an die Strahlqualität des Pumplichts durch die Verwendung des separaten Pumpkerns typischerweise um einen Faktor 10 bis 200 gegenüber dem direkten Pumpen in einen Single-Mode-Faserkern.

Zur Vermeidung bzw. Reduzierung von – bei hohen Laserleistungen auftretenden – nichtlinearen Effekten (z.B. Raman-Effekt) in der Laserfaser ist es wünschenswert, die Faserlänge möglichst kurz zu halten. Um trotzdem die Wärmeerzeugung pro

Längeneinheit in der Laserfaser zu begrenzen, muss die relative Wärmeerzeugung (Wärmeleistung bezogen auf die Pumpleistung) in der Laserfaser minimiert werden. Um eine hohe Pumplichtabsorption bei gleichzeitig geringstmöglicher Wärmeentwicklung zu erreichen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, den Quantendefekt (Stokes-Shift) zwischen der Längenwelle der Pumpstrahlung und der Längenwelle der Laserstrahlung so gering wie möglich zu halten. Dazu wird vorzugsweise ein bei etwa 1030 nm emittierender Festköperlaser, insbesondere ein diodengepumpter Yb:YAG-Scheibenlaser, als Pumplichtquelle für eine z.B. mit Ytterbium dotierte Laserfaser mit einer Emissionswellenlänge von 1060 - 1100 nm gewählt. Bei einer Pumpwellenlänge von 1030 nm und einer Emissionswellenlänge von 1080 nm beträgt die relative Wärmeerzeugung (ohne Berücksichtigung parasitärer Verluste, z.B. durch nichtstrahlende Effekte) lediglich 4,6%. Aufgrund des geringen Quantendefekts ergibt sich eine hohe Effizienz des Faserlasers, und ein differentieller optisch-optischer Wirkungsgrad von über 80% ist möglich.

Bei Verwendung eines Yb:YAG-Festkörperlasers ergibt sich eine Pumpwellenlänge von ca. 1030 nm. Diese Wellenlänge eignet sich für das Pumpen eines Faserlaserverstärkers mit Ytterbium- oder Neodym-dotiertem Quarzglas als laseraktivem Faserkern. Zwar ist bei 1030 nm der Absorptionsquerschnitt des Ytterbium- oder Neodym-dotierten Faserlaserverstärkers erheblich geringer als bei den bisher üblichen Pumpwellenlängen von 980 nm und 915 nm für Ytterbium bzw. 808 nm für Neodym, dies wird jedoch dadurch ausgeglichen, dass bei Verwendung einer Pumpquelle mit guter Strahlqualität und hoher Brillanz, insbesondere eines Scheibenlasers, ein kleiner Pumpkerndurchmesser der Laserfaser gewählt werden kann. Die Wärmerzeugung in der Faser ist beim Pumpen mit 1030 nm nur etwa halb so groß wie beim Pumpen mit 980 nm. Da die Anregung nicht aus dem Grundzustand, sondern aus einem relativ schwach thermisch besetzten Niveau erfolgt, nimmt die Absorption des Pumplichts mit steigender Temperatur stark zu. Die bei einem Quasi-Dreiniveausystem stark ausgeprägte spontane Emission (Fluoreszenz) benötigt zusätzliche Pumpleistung, der keine Nutzleistung gegenübersteht. Sofern die Pumpwellenlänge - wie bei den üblichen Pumpübergängen aus dem Grundzustand - kürzer als die mittlere Fluoreszenzwellenlänge ist, bedeutet dies eine zusätzliche thermische Belastung des laseraktiven Mediums. Ist jedoch - wie bei dem erfindungsgemäßen Faserlaser mit

bei 1030 nm gepumptem Yb:Quarzglas als laseraktivem Medium - die Fluoreszenzstrahlung kurzwelliger als die Pumpstrahlung, so führt dies zu einer Kühlung des Lasermediums, die die thermische Belastung senkt.

Das erfindungsgemäße Pumpkonzept, d.h. die Verwendung eines Hochleistungs-Festkörperlasers mit einer Wellenlänge von 1030 nm und einer hohen Strahlqualität von $M^2 < 30$ zum Pumpen einer Double-Clad-Laserfaser mit einer Laserwellenlänge von 1060 - 1100 nm, hat folgende Vorteile:

- Die Ausgangsleistung des Faserlaserverstärkers ist nicht durch die maximal verfügbare Brillanz der Pumpquelle begrenzt.
- Während die Wellenlänge von Laserdioden erheblichen statistischen sowie dynamischen Schwankungen aufgrund von Herstellungstoleranzen und Änderungen der Halbleitertemperatur (Erwärmung durch Verlustleistung, Kühlmitteltemperatur) unterliegt, ist die Wellenlänge des Festkörper-Pumplasers vergleichsweise stabil; die spektrale Emissionsbreite des Festkörperlasers ist ebenfalls erheblich geringer als die typischer Hochleistungslaserdioden. Somit ist die Absorption der Festkörperlaserstrahlung in der Laserfaser konstanter und typischerweise höher als die von Laserdioden der gleichen Nennwellenlänge. Der Faserlaser kann mit der stabileren Pumpquelle günstiger ausgelegt und effizienter betrieben werden.
- Einseitiges Endpumpen des Faserlaserverstärkers ist aufgrund der hohen Leistungsdichte des Pumplasers möglich.
- Der geringe Quantendefekt hält die thermische Belastung der Laserfaser auch bei hoher Pumpleistung und geringer Faserlänge im tolerierbaren Bereich (< 100 W/m), so dass es nicht zu einer Zerstörung der Laserfaser kommt, und führt zu einem hohen optisch-optischen Wirkungsgrad.
- Aufgrund der hohen Strahlqualität des Pumplasers kann der Pumpkerndurchmesser der Laserfaser klein gewählt werden, was eine gute Pumplichtabsorption ermöglicht und die Kosten des Faserlaserverstärkers reduziert.
- Die hohe Pumpleistungsdichte des Yb:YAG-Festkörperlasers und die dadurch bedingte hohe Pumplichtabsorption der Laserfaser ermöglichen eine kurze Faserlänge und damit die Begrenzung unerwünschter nichtlinearer Effekte in der Laserfaser.

- Die hohe Strahlqualität des Pumplasers erlaubt eine geringe numerische Apertur des Pumpkerns, so dass Quarzglas als Mantel für den Pumpkern verwendet werden kann. Dies verbessert die Verlustarmut des Faserlasers und erhöht seine Widerstandsfähigkeit gegen hohe Pumpleistungsdichten und damit seine Zuverlässigkeit.
- Das Risiko einer Zerstörung der Laserfaser durch Amplitudenfluktuationen, beispielsweise durch Rückwirkungen aus einem angeschlossenen Laserlichtkabel oder aus dem Materialbearbeitungsprozess, ist gemindert, da die Verstärkung im Lasermedium des Faserlaserverstärkers aufgrund des Ausbleichens der Absorption bei hoher Pumpleistungsdichte begrenzt ist. Das Ausbleichen ist durch das Pumpen direkt in das obere Laserniveau stark ausgeprägt. Die thermische Besetzung des unteren Laserniveaus trägt ebenfalls zur Reduzierung der Verstärkung bei.
- Wird ein gütegeschalteter Festkörperlaser als Pumplaser genutzt, bietet dies die Möglichkeit zur Speicherung von Energie im Pumplaser. Damit ist es möglich, hohe Spitzenleistung der Pumpquelle bei moderater Dioden(-spitzen-)leistung zu erzielen.
- Der Pumplaser kann alternativ auch direkt zur Materialbearbeitung eingesetzt werden, wobei ein Umschalten zwischen Bearbeitung mit Pumplaser und mit Faserlaser sehr schnell (< 100 ms) erfolgen kann.

Vorzugsweise ist der Festkörperlaser ein diodengepumpter Yb:YAG-Scheibenlaser und besteht der Faserkern aus vollständig oder teilweise mit laseraktiven Ionen, bevorzugt Neodym^{3+} und/oder Ytterbium^{3+}, dotiertem Quarzglas. Wenn der Faserkern außer den laseraktiven Ionen keine weiteren Dotierungen enthält, so maximiert dies die Belastbarkeit der Faser.

Alternativ ist der Faserkern neben den laseraktiven Ionen vollständig oder teilweise mit weiteren Ionen, beispielsweise Ge^{4+}- oder F^-, dotiert, um eine gewünschte Differenz der Brechungsindizes zwischen dem laseraktiven Faserkern und dem Pumpkern zu erzielen.

Vorteilhafterweise besteht der den laseraktiven Faserkern umgebende Pumpkern aus Quarzglas, das ganz oder teilweise mit Ionen, insbesondere Ge^{4+} oder F^-, dotiert

sein kann und/oder periodisch angeordnete luftgefüllte Hohlräume enthalten kann, um eine gewünschte Differenz der Brechungsindizes zwischen dem laseraktiven Faserkern und dem Pumpkern zu erzielen.

Vorzugsweise weist die Double-Clad-Laserfaser einen den Pumpkern umgebenden Quarzglasmantel auf, der ganz oder teilweise mit Ionen, insbesondere F^-, dotiert sein kann und/oder periodisch angeordnete luftgefüllte Hohlräume enthalten kann, um eine gewünschte numerischen Apertur des Pumpkerns zu erzielen.

Bei besonders bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung ist der Außendurchmesser des laseraktiven Faserkerns kleiner als ca. 50 µm und der Außendurchmesser des Pumpkerns kleiner als 300 µm, insbesondere kleiner als 200 µm. Der den Pumpkern umgebende Quarzglasmantel weist vorzugsweise einen Außendurchmesser zwischen 100 µm und 600 µm, insbesondere zwischen 100 µm und 400 µm, auf. Die numerische Apertur des Pumpkerns liegt zwischen 0,15 und 0,7, insbesondere zwischen 0,2 und 0,35.

Um die Polarisation der in den Faserkern eingekoppelten und verstärkten Strahlung im Wesentlichen zu erhalten, können in die Laserfaser Spannung inzuzierende, nicht rotationssymmetrischen Strukturen eingebracht sein.

Eine günstige Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass der Ytterbium-dotierte Festkörperlaser über eine (passive) Lichtleitfaser an die Double-Clad-Laserfaser gekoppelt ist.

Vorzugsweise ist im Strahlengang zwischen Festkörperlaser und Laserfaser ein verkippter dichroitischer Spiegel so angeordnet, dass reflektierte Strahlung aus der Laserfaser nicht in den Pumplaser gelangt. Der dichroitische Spiegel kann gleichzeitig zur Ein- bzw. Auskopplung der zu verstärkenden bzw. verstärkten Strahlung in den bzw. aus dem Faserkern dienen.

Der Ytterbium-dotierte Festkörperlaser kann moduliert, insbesondere gütegeschaltet werden, um hohe Spitzenleistungen der Laserausgangsstrahlung zu erreichen.

Der erfindungsgemäße Faserlaserverstärker kann mit geeigneten Resonatorspiegeln als Faserlaseroszillator eingesetzt werden. Dabei sind die Resonatorspiegel vorzugsweise als Fiber-Bragg-Grating der Laserfaser ausgebildet. Alternativ kann einer der Resonatorspiegel mit dem dichroitischen Spiegel zum Schutz des Pumplasers vor Rückkopplung von Strahlung identisch sein.

Die Erfindung betrifft auch eine Laserbearbeitungsmaschine mit einem wie oben ausgebildeten Faserlaseroszillator als Bearbeitungslaser. Dadurch wird eine bessere Strahlqualität erreicht, vorzugsweise eine nahezu beugungsbegrenzter Strahlqualität (Grundmode, $M^2 < 1,5$) für Laser mit mittleren Leistungen von über 500 W. Vorteilhafterweise ist bei einer solchen Laserbearbeitungsmaschine der Festkörperlaser auch direkt als Bearbeitungslaser einsetzbar.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch den Aufbau des erfindungsgemäßen Hochleistungs-Faserlaserverstärkers;

Fig. 2 den Querschnitt der Laserfaser des Hochleistungs-Faserlaserverstärkers gemäß II-II in Fig. 1; und

Fig. 3 schematisch den Aufbau des erfindungsgemäßen Hochleistungs-Faserlaseroszillators; und

Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau des erfindungsgemäßen Hochleistungs-Faserlaserverstärkers **1**, der eine Double-Clad-Laserfaser **2** und einen Festkörperlaser **3** zum Pumpen der Double-Clad-Laserfaser 2 umfasst.

Der Festkörperlaser **3** ist ein diodengepumpter Ytterbium-dotierter Scheibenlaser, der Pumplicht **4** mit einer Wellenlänge von etwa 1030 nm, einer Strahlqualität von M^2

< 30 und einer Laserleistung von mindestens 600 Watt emittiert.

Die Double-Clad-Laserfaser **2** hat, wie in **Fig. 2** gezeigt, einen separaten laseraktiven Faserkern **5** mit einem Außendurchmesser von mindestens 20 µm, einen den Faserkern **5** umgebenden Pumpkern **6** mit einem Außendurchmesser von mindestens 50 µm sowie einen äußeren Quarzglas-Mantel **7**, der den Pumpkern **6** umschließt. Der Faserkern **5** besteht aus mit Ytterbium und/oder Neodym dotiertem Quarzglas und emittiert im Bereich von 1060 bis 1100 nm. Der Faserkern **5** ist so ausgeführt, dass die Querschnittsfläche des Grundmodes möglichst groß ausfällt, wobei ein typischer Grundmodedurchmesser ca. 30 µm ist. Die für die Wellenleitung erforderlichen Brechzahlunterschiede zwischen inneren und äußeren Glasschichten werden entweder durch geeignete Dotierung des Quarzglases (Germanium für hohen Brechungsindex, Fluor für geringen Brechungsindex) oder durch Strukturierung des Glases (periodisch angeordnete Luft-„Poren", PCF-Faser) erzielt. Die numerische Apertur (N.A.) des Pumpkerns **6** liegt im Bereich 0,2-0,35 (Quarzglasmantel). Durch Kodotierung des Faserkerns **5** kann die numerische Apertur angepasst werden. Das wird bei hoher Yb-Dotierung notwendig, um bei großen Querschnitten trotzdem den Grundmode zu erzielen. In die Laserfaser **2** können Spannung induzierende, nicht rotationssymmetrische Strukturen **16** eingebracht werden. Die Laserfaser **2** wird vorzugsweise mit einem definierten Biegeradius aufgewickelt, um die Verluste für die höheren Transversalmoden zu erhöhen und so ihr Anschwingen zu verhindern. Die aktive Laserfaser **2** benötigt eine Kühlung; dies kann beispielsweise durch Anblasen der Laserfaser **2** mit Luft erfolgen. Alternativ kommt koaxiales Umströmen mit einem Kühlmedium (z.B. Luft) oder die Montage auf bzw. Einbettung in einen Kühlkörper (z.B. wassergekühlter Metallzylinder) in Frage.

Das Pumplicht **4** wird über ein Laserlichtkabel **15** und Linsen **8** oder alternativ über eine angespleißte passive Faser einseitig in die Laserfaser **2** eingekoppelt. Die Rückwirkung in den Festkörperlaser 3 wird durch einen im kollimierten Pumpstrahl verkippt angeordneten dichroitischen Spiegel **11** verhindert. Über diesen dichroitischen Spiegel 11 wird auch die im Faserlaserverstärker **1** aus der unverstärkten Strahlung **12** erzeugte verstärkte Strahlung **13** ausgekoppelt.

Fig. 3 zeigt schematisch den Aufbau des erfindungsgemäßen Hochleistungs-Faserlaseroszillators **100**. Ein Fiber-Bragg-Grating am pumplaserseitigen Ende der Laserfaser **2** bildet den Endspiegel **9** des Faserlaseroszillatorresonators, dessen Auskoppelspiegel **10** durch ein Fiber-Bragg-Grating oder mittels Fresnel-Reflexion der Faserendfläche gebildet ist. Alternativ können der Endspiegel und der Auskoppelspiegel auch als separate Bauteile ausgeführt sein, hierbei bestehen mehrere Optionen: z.B. im optischen Kontakt mit der Faserendfläche befindliche Spiegel (Butt-Coupling), im Abstand ihres Krümmungsradius vom Faserende angeordnete Konkavspiegel oder Planspiegel im kollimierten Pumpstrahl. Der Ausgangslaserstrahl **14** des Faserlaseroszillators **100** hat eine Laserwellenlänge von 1060 bis 1100 nm und eine mittlere Laserleistung von über 500 W bei nahezu beugungsbegrenzter Strahlqualität. Die Laserfaser 2 kann Spannungen induzierende, nicht rotationssymmetrische Strukturen 16 aufweisen, um die Polarisation von in den Faserkern 5 eingekoppelter und verstärkter Strahlung im Wesentlichen zu erhalten.

Die Laserfaser **2** kann in ein Laserlichtkabel oder in die hinter dem Laserlichtkabel angeordnete Bearbeitungsoptik einer Laserbearbeitungsmaschine integriert sein. Der Ytterbium-dotierte Scheibenlaser weist typischerweise mehrere Abgänge für die Ausgangsstrahlung auf. An einen dieser Abgänge ist der Faserlaseroszillator oder -verstärker angeschlossen, weitere Abgänge können über Laserlichtkabel direkt an Bearbeitungsoptiken angeschlossen sein, so dass die Ausgangsstrahlung des Scheibenlasers sowohl als Pumpstrahlung für den Faserlaserverstärker oder -oszillator als auch direkt zur Materialbearbeitung genutzt werden kann. Prinzipiell können auch mehrere Faserlaser – entweder simultan durch Aufteilung der verfügbaren Pumpleistung, oder zeitlich nacheinander – mit einem einzelnen Festkörperlaser gepumpt werden.

Patentansprüche

1. Hochleistungs-Faserlaserverstärker (1) mit einer Laserwellenlänge von 1060 bis 1100 nm und einer mittleren Laserleistung von über 500 W und annähernd beugungsbegrenzter Strahlqualität (M^2 <1,5), umfassend:
eine Double-Clad-Laserfaser (2), die einen separaten laseraktiven Faserkern (5) mit einem Außendurchmesser von mindestens 20 µm und einen den Faserkern (5) umgebenden Pumpkern (6) mit einem Außendurchmesser von mindestens 50 µm aufweist, und
einen Ytterbium-dotierten Festkörperlaser (3), der Pumplicht (4) mit einer Wellenlänge von etwa 1030 nm, einer Strahlqualität von M^2 < ca. 30 und einer Laserleistung von mindestens ca. 600 Watt emittiert, zum Pumpen der Double-Clad-Laserfaser (2).

2. Faserlaserverstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Festkörperlaser (3) ein diodengepumpter Yb:YAG-Scheibenlaser ist.

3. Faserlaserverstärker nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Faserkern (5) aus vollständig oder teilweise mit laseraktiven Ionen dotiertem Quarzglas besteht.

4. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Faserkern (5) vollständig oder teilweise mit $Ytterbium^{3+}$-Ionen dotiert ist.

5. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Faserkern (5) vollständig oder teilweise mit $Neodym^{3+}$-Ionen dotiert ist.

6. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Faserkern (5) sowohl mit Neodym^{3+}-Ionen als auch mit Ytterbium^{3+}-Ionen dotiert ist, wobei die unterschiedlichen Ionen entweder im gleichen (Teil-)Volumen vorgesehen oder vollständig oder teilweise räumlich getrennt sind.

7. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der laseraktive Faserkern (5) vollständig oder teilweise mit weiteren Ionen, insbesondere Ge^{4+} oder F^-, dotiert ist.

8. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumpkern (6) aus Quarzglas besteht.

9. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumpkern (6) vollständig oder teilweise mit Ionen, insbesondere Ge^{4+} oder F^-, dotiert ist.

10. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumpkern (6) kleine, periodisch angeordnete, luftgefüllte Hohlräume enthält.

11. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserfaser (2) einen den Pumpkern (6) umgebenden Pumpmantel (7) aufweist.

12. Faserlaserverstärker nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumpmantel (7) aus Quarzglas besteht.

13. Faserlaserverstärker nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumpmantel (7) vollständig oder teilweise mit Ionen, insbesondere F^-, dotiert ist.

14. Faserlaserverstärker nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumpmantel (7) luftgefüllte Hohlräume enthält.

15. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Außendurchmesser des laseraktiven Faserkerns (5) kleiner als ca. 50 µm ist.

16. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Außendurchmesser des Pumpkerns (6) kleiner als 300 µm, insbesondere kleiner als 200 µm ist.

17. Faserlaserverstärker nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumpmantel (7) einen Außendurchmesser zwischen 100 µm und 600 µm, insbesondere zwischen 100 µm und 400 µm, aufweist.

18. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die numerische Apertur des Pumpkerns (6) zwischen 0,15 und 0,7, insbesondere zwischen 0,2 und 0,35, liegt.

19. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserfaser (2) die Polarisation der in den Faserkern (5) eingekoppelten und verstärkten Strahlung im Wesentlichen erhält.

20. Faserlaserverstärker nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserfaser (2) zur Polarisationserhaltung Spannungen induzierende, nicht rotationssymmetrische Strukturen (16) aufweist.

21. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Festkörperlaser (3) über eine Lichtleitfaser (15) an die Laserfaser (2) gekoppelt ist.

22. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein dichroitischer Spiegel (11) zwischen Festkörperlaser (3) und Laserfaser (2) angeordnet ist.

23. Faserlaserverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Festkörperlaser (3) moduliert, insbesondere gütegeschaltet, ist.

24. Hochleistungs-Faserlaseroszillator (100) mit einem Faserlaserverstärker (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Laserfaser (2) zwischen Resonatorspiegeln (9, 10) angeordnet ist.

25. Faserlaseroszillator nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass ein zwischen Festkörperlaser (3) und Laserfaser (2) angeordneter Resonatorspiegel (9) als dichroitischer Spiegel ausgebildet ist.

26. Faserlaseroszillator nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der Resonatorspiegel (9, 10) ein Fiber-Bragg-Grating ist.

27. Laserbearbeitungsmaschine mit einem Faserlaseroszillator (100) nach einem der Ansprüche 24 bis 26 als Bearbeitungslaser.

28. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 27, bei der der Festkörperlaser (3) auch direkt zur Materialbearbeitung vorgesehen ist.

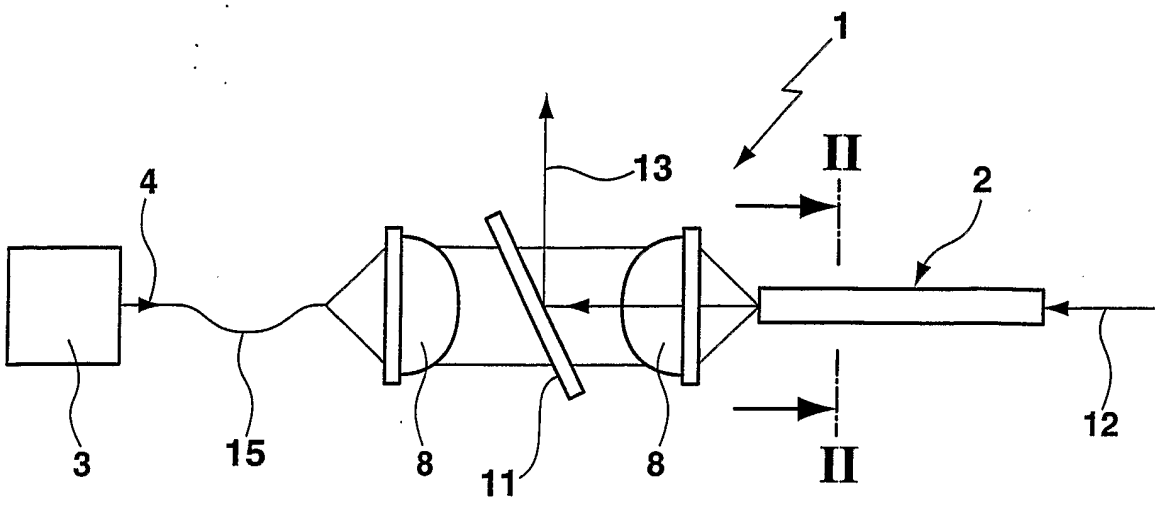


Fig. 1

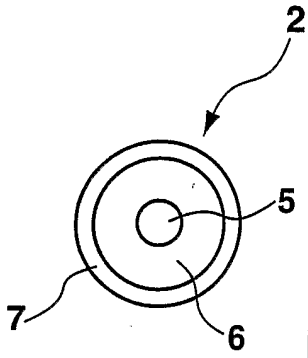


Fig. 2

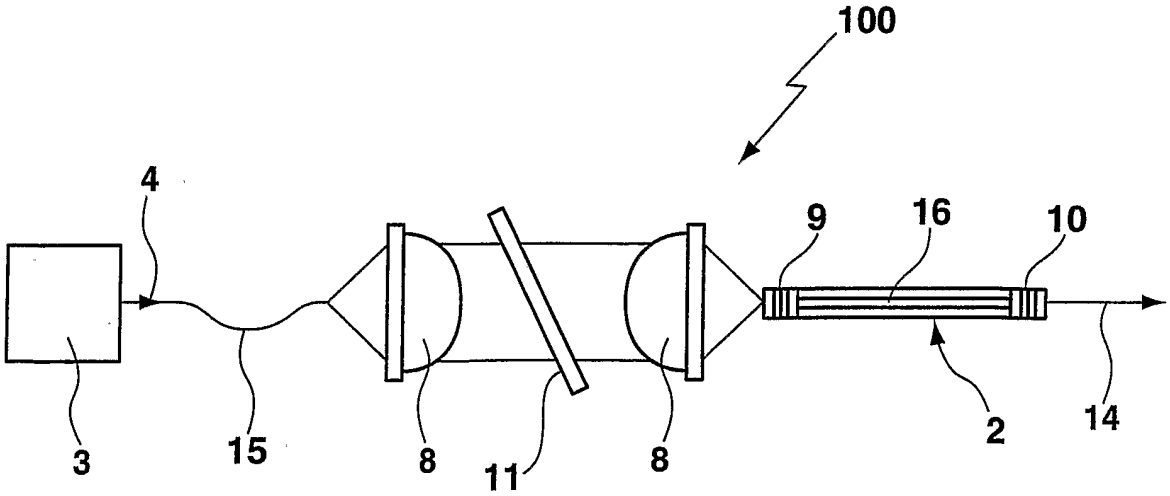


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Interl al Application No
PCT/EP2005/005970

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01S3/067 H01S3/06 H01S3/094 B23K26/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01S B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, INSPEC, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	TANKALA K ET AL: "PM double-clad fibers for high-power lasers and amplifiers" PROCEEDINGS OF THE SPIE - CONFERENCE ADVANCES IN FIBER LASERS, SAN JOSE, CA, USA, 27-28 JANUARY 2003, vol. 4974, 2003, pages 220-229, XP002339906 ISSN: 0277-786X the whole document	1-28

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
9 August 2005	24/08/2005

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Riechel, S

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter l Application No
PCT/EP2005/005970

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CARTER A ET AL: "The road to kilowatt fiber lasers" PROCEEDINGS OF THE SPIE - CONFERENCE ON OPTICAL COMPONENTS AND MATERIALS, SAN JOSE, CA, USA, 26-27 JANUARY 2004, vol. 5350, no. 1, 26 January 2004 (2004-01-26), pages 172-182, XP002339880 ISSN: 0277-786X the whole document	1-28
A	DOMINIC V ET AL: "110 W fibre laser" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 35, no. 14, 8 July 1999 (1999-07-08), pages 1158-1160, XP006012372 ISSN: 0013-5194 the whole document	1-28
A	TSANG Y H ET AL: "Efficient high power Yb<3+>-silica fibre laser cladding-pumped at 1064 nm" OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, vol. 215, no. 4-6, 15 January 2003 (2003-01-15), pages 381-387, XP004402090 ISSN: 0030-4018 page 381, left-hand column, paragraph 1 - page 384, right-hand column, paragraph 1; figure 3	1
A	JACKSON S D ET AL: "SEQUENCE LASING IN A GAIN-SWITCHED YB3+, ER3+-DOPED SILICA DOUBLE-CLAD FIBER LASER" APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA,WASHINGTON, US, vol. 41, no. 9, 20 March 2002 (2002-03-20), pages 1698-1703, XP001102358 ISSN: 0003-6935 page 1699, left-hand column, paragraph 4 - right-hand column, paragraph 1; figure 1	1
A	EP 1 030 416 A (NEC CORPORATION) 23 August 2000 (2000-08-23) paragraphs '0026! - '0032!, '0048!; figures 2,6	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Interr Application No
PCT/EP2005/005970

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1030416 A	23-08-2000	JP 2000244046 A	08-09-2000
		EP 1030416 A2	23-08-2000

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Interi ales Aktenzeichen
PCT/EP2005/005970

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01S3/067 H01S3/06 H01S3/094 B23K26/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H01S B23K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, INSPEC, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	TANKALA K ET AL: "PM double-clad fibers for high-power lasers and amplifiers" PROCEEDINGS OF THE SPIE - CONFERENCE ADVANCES IN FIBER LASERS, SAN JOSE, CA, USA, 27-28 JANUARY 2003, Bd. 4974, 2003, Seiten 220-229, XP002339906 ISSN: 0277-786X das ganze Dokument ----- -/--	1-28

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
9. August 2005	24/08/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Riechel, S

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	CARTER A ET AL: "The road to kilowatt fiber lasers" PROCEEDINGS OF THE SPIE - CONFERENCE ON OPTICAL COMPONENTS AND MATERIALS, SAN JOSE, CA, USA, 26-27 JANUARY 2004, Bd. 5350, Nr. 1, 26. Januar 2004 (2004-01-26), Seiten 172-182, XP002339880 ISSN: 0277-786X das ganze Dokument	1-28
A	DOMINIC V ET AL: "110 W fibre laser" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, Bd. 35, Nr. 14, 8. Juli 1999 (1999-07-08), Seiten 1158-1160, XP006012372 ISSN: 0013-5194 das ganze Dokument	1-28
A	TSANG Y H ET AL: "Efficient high power Yb<3+>-silica fibre laser cladding-pumped at 1064 nm" OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, Bd. 215, Nr. 4-6, 15. Januar 2003 (2003-01-15), Seiten 381-387, XP004402090 ISSN: 0030-4018 Seite 381, linke Spalte, Absatz 1 - Seite 384, rechte Spalte, Absatz 1; Abbildung 3	1
A	JACKSON S D ET AL: "SEQUENCE LASING IN A GAIN-SWITCHED YB3+, ER3+-DOPED SILICA DOUBLE-CLAD FIBER LASER" APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA,WASHINGTON, US, Bd. 41, Nr. 9, 20. März 2002 (2002-03-20), Seiten 1698-1703, XP001102358 ISSN: 0003-6935 Seite 1699, linke Spalte, Absatz 4 - rechte Spalte, Absatz 1; Abbildung 1	1
A	EP 1 030 416 A (NEC CORPORATION) 23. August 2000 (2000-08-23) Absätze '0026! - '0032!, '0048!; Abbildungen 2,6	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Interr ales Aktenzeichen
PCT/EP2005/005970

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1030416 A	23-08-2000	JP 2000244046 A	08-09-2000
		EP 1030416 A2	23-08-2000