

(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
9. März 2017 (09.03.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/036809 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H01S 3/06 (2006.01) *H01S 3/042* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/069587
- (22) Internationales Anmeldedatum:
18. August 2016 (18.08.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2015 216 655.4
1. September 2015 (01.09.2015) DE
- (71) Anmelder: **TRUMPF LASER GMBH** [DE/DE];
Aichhalder Strasse 39, 78713 Schramberg (DE).
- (72) Erfinder: **KUHN, Vincent**; Hans-Grohe-Str. 64, 77761
Schiltach (DE).
- (74) Anwalt: **TRUMPF PATENTABTEILUNG**; TRUMPF
GmbH & Co. KG, TH501 Patente und Lizenzen, Johann-
Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: SLAB-TYPE LASER-ACTIVE SOLID BODY WITH A CRYSTALLINE HIGHLY REFLECTIVE MIRROR AND
METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) Bezeichnung : PLATTENFÖRMIGER LASERAKTIVER FESTKÖRPER MIT EINEM KRISTALLINEN
HOCHREFLEKTIERENDEN SPIEGEL UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG

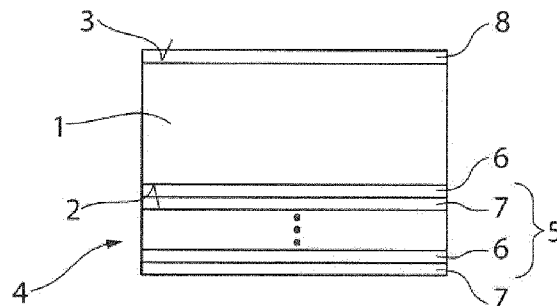


Fig. 1

(57) Abstract: In a slab-type laser-active solid body (1), in particular laser disc, having two mutually opposite slab sides (2, 3), wherein a highly reflective mirror (4) for reflecting laser radiation generated in the laser-active solid body (1) is arranged on one of the two slab sides (2, 3), according to the invention the highly reflective mirror (4) is designed as a crystalline layer stack (5) formed by a plurality of alternately first and second crystalline layers (6, 7), in particular crystalline semiconductor layers, which have different refractive indices.

(57) Zusammenfassung: Bei einem plattenförmigen laseraktiven Festkörper (1), insbesondere Laserscheibe, mit zwei einander gegenüberliegenden Plattenseiten (2, 3), wobei an einer der beiden Plattenseiten (2, 3) ein hochreflektierender Spiegel (4) zum Reflektieren einer im laseraktiven Festkörper (1) erzeugten Laserstrahlung angeordnet ist, ist der hochreflektierende Spiegel (4) erfindungsgemäß als ein kristalliner Schichtstapel (5) ausgebildet, der durch eine Mehrzahl von abwechselnd ersten und zweiten kristallinen Schichten (6, 7), insbesondere kristallinen Halbleiterschichten, gebildet ist, welche unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen.



WO 2017/036809 A1

5

10

15

20

Plattenförmiger laseraktiver Festkörper mit einem kristallinen hochreflektierenden
Spiegel und Verfahren zu seiner Herstellung

25

Die Erfindung betrifft einen plattenförmigen laseraktiven Festkörper, insbesondere eine Laserscheibe eines Scheibenlasers, mit zwei einander gegenüberliegenden Plattenseiten, wobei an einer der beiden Plattenseiten ein hochreflektierender Spiegel zum Reflektieren einer im laseraktiven Festkörper erzeugten Laserstrahlung angeordnet ist, sowie auch ein Verfahren zum Herstellen eines solchen plattenförmigen laseraktiven Festkörpers.

Es sind Laserscheiben für Scheibenlaser bekannt, bei denen an der Scheibenrückseite ein hochreflektierender Spiegel in Form von gesputterten dielektrischen

Beschichtungen angeordnet ist. In EP 1 178 579 A2 und EP 1 213 801 A2 sind typische Scheibenlaser mit einer Laserscheibe gezeigt. Da die im Scheibenlaser bei der Erzeugung von Laserstrahlung entstehende Wärme durch den rückseitigen hochreflektierenden Spiegel aus der Laserscheibe abgeführt wird, die Wärmeleitfähigkeit durch den bekannten hochreflektierenden Spiegel allerdings kleiner als 1 W/mK ist, führt dies zu einem Wärmestau an der Scheibenrückseite und zu einer Limitierung der erreichbaren Laserleistung.

Demgegenüber ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, bei einem plattenförmigen laseraktiven Festkörper der eingangs genannten Art die Abführung der bei der Erzeugung von Laserstrahlung im laseraktiven Festkörper entstehenden Wärme durch den rückseitigen hochreflektierenden Spiegel aus dem laseraktiven Festkörper zu verbessern.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der hochreflektierende Spiegel als ein kristalliner Schichtstapel ausgebildet ist, der durch eine Mehrzahl von abwechselnd ersten und zweiten kristallinen Schichten, insbesondere kristallinen Halbleiterschichten, gebildet ist, welche unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen.

Erfindungsgemäß ist der hochreflektierende Spiegel durch einen kristallinen Schichtstapel gebildet, der im Vergleich zu einem dielektrischen Schichtstapel eine deutlich höhere Wärmeleitfähigkeit aufweist und somit eine höhere Wärmeableitung durch den Schichtstapel ermöglicht. Dadurch können Scheibenlaser bei geringerer Kristalltemperatur und/oder höherer Ausgangsleistung betrieben werden, und bei gleicher Scheibentemperatur kann die Laserleistung um bis zu 50% gesteigert werden. Der kristalline Schichtenstapel kann beispielsweise 100 oder mehr kristalline Schichten, also 50 Paare von abwechselnd ersten und zweiten kristallinen Schichten aufweisen.

Aus der EP 2 607 935 A1 sind epitaktisch gewachsene und anschließend transferierte kristalline hochreflektierende Bragg-Spiegel in Form eines kristallinen Schichtstapels, der durch eine Mehrzahl von abwechselnd ersten und zweiten kristallinen Halbleiterschichten mit jeweils unterschiedlichen Brechungsindizes

gebildet ist, bekannt, allerdings weder in Verbindung mit laseraktiven Materialien noch in Verbindung mit verbesserter Wärmeleitung.

Vorzugsweise sind die ersten und die zweiten kristallinen Schichten durch binäre, ternäre oder quaternäre Verbindungen von III-V-Halbleitern oder II-VI-Halbleitern gebildet, also beispielsweise durch Arsenide, wie z.B. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ (mit $0 \leq x < 1$, wobei x für die ersten und die zweiten Schichten unterschiedlich ist), oder durch Nitride.

- 10 Damit an der Scheibenrückseite kein Wärmestau auftritt, der die erreichbare Laserleistung limitiert, beträgt die Wärmeleitfähigkeit durch den kristallinen Schichtstapel bevorzugt mindestens 1 W/mK, besonders bevorzugt mindestens 5 W/mK.

15 In einer Ausführungsform, insbesondere bei passender Kristallstruktur des laseraktiven Festkörpers und der kristallinen Schichten, ist der kristalline Schichtstapel vorzugsweise direkt auf der einen Plattenseite epitaktisch aufgewachsen. In einer anderen Ausführungsform, insbesondere bei nichtpassender Kristallstruktur des laseraktiven Festkörpers und der kristallinen Schichten, ist der kristalline Schichtstapel mit der einen Plattenseite vorzugsweise durch Bonding (z.B. chemisches
20 Bonden, Diffusionsbonden, laserverschweißte Ansprengung) verbunden und kann – herstellungsbedingt – auf seiner dem laseraktiven Festkörper abgewandten Stapelseite noch mit einem Substrat oder einer Ätzstoppschicht verbunden sein.

25 Die andere Plattenseite des plattenförmigen laseraktiven Festkörpers kann vorteilhaft mit einer Antireflexbeschichtung versehen sein.

Zur Abführung der bei der Erzeugung von Laserstrahlung im laseraktiven Festkörper entstehenden Wärme steht der kristalline Schichtstapel auf seiner dem laseraktiven Festkörper abgewandten Stapelseite in thermischem Kontakt mit einem
30 Kühlkörper. Beispielsweise kann der kristalline Schichtstapel an dem Kühlkörper befestigt sein.

Die Erfindung betrifft auch eine Laserverstärkeranordnung, insbesondere einen Festkörper- oder Scheibenlaser, mit einem hochreflektierenden Spiegel in Form

eines wie oben ausgebildeten plattenförmigen laseraktiven Festkörpers. Dabei kann der hochreflektierende Spiegel zusätzlich zur Laserstrahlung auch eine durch den laseraktiven Festkörper hindurchgehende Pumpstrahlung reflektieren.

- 5 Die Erfindung betrifft in einem weiteren Aspekt auch ein Verfahren zum Herstellen eines wie oben ausgebildeten plattenförmigen laseraktiven Festkörpers, wobei erfindungsgemäß
- (a) der kristalline Schichtstapel auf der einen Plattenseite des laseraktiven Festkörpers aufgewachsen wird, insbesondere epitaktisch aufgewachsen wird,
 - 10 oder
 - (b) der kristalline Schichtstapel mit einer seiner beiden Stapelseiten an die eine Plattenseite des laseraktiven Festkörpers gebondet wird.

In Variante (a) kann vor oder nach dem Aufwachsen des kristallinen Schichtstapels eine Antireflexbeschichtung auf die andere Plattenseite des plattenförmigen laseraktiven Festkörpers aufgebracht werden, z.B. durch Elektronenstrahlverdampfung, Ionenstrahlgestützte Deposition (IAD: Ion beam-assisted deposition) oder Kathodenzerstäubung (Magnetronspütern oder IBS: Ion Beam Sputtering).

20 In Variante (b) wird der kristalline Schichtstapel andernorts, also ohne den laseraktiven Festkörper, hergestellt. Vorzugsweise wird der kristalline Schichtstapel dazu auf einem Grundsubstrat oder auf einer Ätzstopplage eines Grundsubstrats z.B. epitaktisch aufgewachsen. Vor dem Bonden des kristallinen Schichtstapels wird das Substrat vorteilhafterweise in der Dicke reduziert oder vollständig entfernt. Im

25 letzteren Fall wird das Grundsubstrat weggeätzt, wobei die Ätzstoppschicht den kristallinen Schichtstapel schützt und auf der Rückseite der Spiegelstruktur zurückbleibt. Alternativ ist es aber auch möglich, die Ätzstoppschicht vollständig zu entfernen oder als kristalline Halbleiterschicht in den kristallinen Schichtstapel einzubauen.

30

In Variante (b) kann vor oder nach dem Bonden des kristallinen Schichtstapels eine Antireflexbeschichtung auf die andere Plattenseite des laseraktiven Festkörpers aufgebracht werden, z.B. durch Elektronenstrahlverdampfung, Ionenstrahlgestützte Deposition (IAD: Ion beam-assisted deposition) oder Kathodenzerstäubung

(Magnetronspütern oder IBS: Ion Beam Sputtering). Für den Fall einer vor dem Bonden aufgetragenen Antireflexbeschichtung kann vor dem Bonden des kristallinen Schichtstapels vorteilhaft ein Hilfssubstrat auf die mit der Antireflexbeschichtung beschichtete andere Plattenseite des laseraktiven Festkörpers gebondet

5 werden. Dieses Hilfssubstrat soll nur dazu dienen, einen durch die vorher aufgetragene Antireflexbeschichtung gekrümmten plattenförmigen laseraktiven Festkörper beim Bonden des kristallinen Schichtstapels plan zu halten. Das Hilfssubstrat soll nur (falls nötig) die Form des plattenförmigen laseraktiven Festkörpers korrigieren. Das Hilfssubstrat ermöglicht eine leichtere Handhabung des laseraktiven
10 Festkörpers, da das Hilfssubstrat bedenkenlos angefasst werden kann. Nach dem Bonden des kristallinen Schichtstapels wird das Hilfssubstrat wieder entfernt.

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen des Gegenstands der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung, den Ansprüchen und der Zeichnung. Ebenso
15 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.

20 Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen laseraktiven Festkörpers mit einem hochreflektierenden Spiegel in Form eines kristallinen Schichtstapels;

Fig. 2a-2b ein erstes Verfahren zum Herstellen des in Fig. 1 gezeigten erfindungsgemäßen laseraktiven Festkörpers;

Fig. 3a-3b ein zweites Verfahren zum Herstellen des in Fig. 1 gezeigten erfindungsgemäßen laseraktiven Festkörpers;

30 Fig. 4 eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen laseraktiven Festkörpers mit einem hochreflektierenden Spiegel in Form eines kristallinen Schichtstapels;

Fig. 5a-5c ein erstes Verfahren zum Herstellen des in Fig. 4 gezeigten erfindungsgemäßen laseraktiven Festkörpers;

Fig. 6a-6c ein zweites Verfahren zum Herstellen des in Fig. 4 gezeigten erfindungsgemäßen laseraktiven Festkörpers;

Fig. 7a-7c ein drittes Verfahren zum Herstellen des in Fig. 4 gezeigten erfindungsgemäßen laseraktiven Festkörpers; und

5 Fig. 8 einen Scheibenlaser mit einem erfindungsgemäßen laseraktiven Festkörper.

Der in Fig. 1 gezeigte plattenförmige laseraktive Festkörper 1 (z.B. aus Yb:YAG, Yb:YLF, Yb:Lu₂O₃, Yb:LuAG, Yb:CALGO, Nd:YAG oder Nd:YVO₄) ist beispielsweise eine Laserscheibe eines Scheibenlasers und weist zwei einander gegenüberliegende Plattenseiten 2, 3 auf.

Die in Fig. 1 untere Plattenseite 2 weist einen hochreflektierenden Spiegel 4 zum Reflektieren einer im laseraktiven Festkörper 1 erzeugten Laserstrahlung auf. Der hochreflektierende Spiegel 4 ist als ein kristalliner Schichtstapel 5 ausgebildet, der durch eine Mehrzahl von abwechselnd ersten und zweiten kristallinen Halbleiterschichten 6, 7 gebildet ist, welche unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen. Der kristalline Schichtenstapel 5 kann beispielsweise 100 oder mehr Halbleiterschichten 6, 7, also 50 Paare von abwechselnd ersten und zweiten Halbleiterschichten 6, 7 aufweisen. Die ersten und die zweiten kristallinen Halbleiterschichten 6, 7 können beispielsweise durch binäre, ternäre oder quarternäre Verbindungen von III-V-Halbleitern oder II-VI-Halbleitern gebildet sein, also beispielsweise durch Arsenide, wie z.B. Al_xGa_{1-x}As (mit $0 \leq x < 1$, wobei x für die ersten und die zweiten Schichten unterschiedlich ist), oder auch durch Nitride. Die Wärmeleitfähigkeit durch den kristallinen Schichtstapel 5 beträgt vorteilhafterweise mindestens 5 W/mK. Bei passender Kristallstruktur des laseraktiven Festkörpers 1 und der Halbleiterschichten 6, 7 können die Halbleiterschichten 6, 7 direkt epitaktisch auf die untere Plattenseite 2 aufgewachsen sein. Die in Fig. 1 obere Plattenseite 3 des laseraktiven Festkörpers 1 ist mit einer Antireflexbeschichtung 8 versehen.

In Fig. 2a-2b ist ein erstes Verfahren zum Herstellen des in Fig. 1 gezeigten laseraktiven Festkörpers 1 gezeigt.

In einem ersten Verfahrensschritt (Fig. 2a) wird der kristalline Schichtstapel 5 auf der unteren Plattenseite 2 des laseraktiven Festkörpers 1 aufgebracht, indem abwechselnd eine Halbleiterschicht 6 und eine Halbleiterschicht 7 z.B. epitaktisch aufgewachsen werden, bis die gewünschte Anzahl an Halbleiterschichten 6, 7 erreicht ist.

Abschließend wird in einem zweiten Verfahrensschritt (Fig. 2b) die obere Plattenseite 3 des laseraktiven Festkörpers 1 mit einer Antireflexbeschichtung 8 versehen.

10 In Fign. 3a-3b ist ein zweites Verfahren zum Herstellen des in Fig. 1 gezeigten laseraktiven Festkörpers 1 gezeigt.

In einem ersten Verfahrensschritt (Fig. 3a) wird die obere Plattenseite 3 des laseraktiven Festkörpers 1 mit der Antireflexbeschichtung 8 versehen.

Abschließend wird in einem zweiten Verfahrensschritt (Fig. 3b) der kristalline Schichtstapel 5 auf der unteren Plattenseite 2 des laseraktiven Festkörpers 1 aufgebracht, indem abwechselnd eine Halbleiterschicht 6 und eine Halbleiterschicht 7 z.B. epitaktisch aufgewachsen werden, bis die gewünschte Anzahl an Halbleiterschichten 6, 7 erreicht ist.

20 Vom laseraktiven Festkörper der Fig. 1 unterscheidet sich der in Fig. 4 gezeigte plattenförmige laseraktive Festkörper 1 lediglich dadurch, dass hier der kristalline Schichtstapel 5 mit der unteren Plattenseite 2 durch Bonding (z.B. chemisches Bonden, Ansprenge, Diffusionsbonds, laserverschweißte Ansprenge) verbunden ist. Die Bondingverbindung wird insbesondere dann eingesetzt, wenn die Kristallstrukturen des laseraktiven Festkörpers 1 und der Schichten 6, 7 zu unterschiedlich sind, so dass ein - z.B. epitaktisches - Aufwachsen direkt auf dem laseraktiven Festkörper 1 nicht möglich ist. Zusätzlich kann der kristalline Schichtstapel 5 auf seiner dem laseraktiven Festkörper 1 abgewandten Stapelseite noch ein Substrat 9 (im Fall eines $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -Schichtstapels z.B. ein GaAs-Substrat) oder eine Ätzstoplage 10 aufweisen.

In Fign. 5a-5d ist ein erstes Verfahren zum Herstellen des in Fig. 4 gezeigten laseraktiven Festkörpers 1 gezeigt.

In einem ersten Verfahrensschritt (Fig. 5a) wird der kristalline Schichtstapel 5 auf ein geeignetes Substrat (z.B. GaAs-Substrat) 9 epitaktisch aufgebracht, indem abwechselnd eine Halbleiterschicht 7 und eine Halbleiterschicht 6 z.B. epitaktisch aufgewachsen werden, bis die gewünschte Anzahl an Halbleiterschichten 6, 7 erreicht ist.

In einem zweiten Verfahrensschritt (Fig. 5b) wird die Dicke des Substrats 9 mechanisch und/oder chemisch reduziert. Das Substrat 9 wird also soweit abgedünnt, dass der kristalline Schichtstapel 5 als dünne Schicht auf den laseraktiven Festkörper 1 transferiert werden kann.

In einem dritten Verfahrensschritt (Fig. 5c) werden dann die untere Plattenseite 2 des laseraktiven Festkörpers 1 und die dem Substrat 9 abgewandte Stapelseite des kristallinen Schichtstapels 5 miteinander durch Bonding verbunden. Dabei kann die obere Plattenseite 3 des laseraktiven Festkörpers 1 entweder erst nach dem Bonden oder, wie gezeigt, schon vor dem Bonden mit der Antireflexbeschichtung 8 beschichtet werden.

In Fig. 6a-6c ist ein zweites Verfahren zum Herstellen des in Fig. 4 gezeigten laseraktiven Festkörpers 1 gezeigt.

In einem ersten Verfahrensschritt (Fig. 6a) wird der kristalline Schichtstapel 5 auf eine Ätzstoplage 10 (z.B. ca. 250 nm AlGaAs) z.B. epitaktisch aufgewachsen, die ihrerseits zuvor auf ein geeignetes Grundsubstrat (z.B. GaAs-Substrat) 9 z.B. epitaktisch aufgewachsen worden ist.

In einem zweiten Verfahrensschritt (Fig. 6b) wird das Grundsubstrat 9 weggeätzt, wobei die Ätzstoppschicht 10 den Spiegel schützt und auf der Rückseite der Spiegelstruktur zurückbleibt. Alternativ ist es aber auch möglich, die Ätzstoppschicht 10 vollständig zu entfernen oder als kristalline Halbleiterschicht in den kristallinen Schichtstapel 5 einzubauen.

In einem dritten Verfahrensschritt (Fig. 6c) werden dann die untere Plattenseite 2 des laseraktiven Festkörpers 1 und die Stapelseite des kristallinen Schichtstapels 5 miteinander durch Bonding verbunden. Dabei kann die obere Plattenseite 3 des laseraktiven Festkörpers 1 entweder erst nach dem Bonden oder, wie gezeigt, schon vor dem Bonden mit der Antireflexbeschichtung 8 beschichtet werden.

Wenn bereits vor dem Bonden die obere Plattenseite 3 des laseraktiven Festkörpers 1 mit der Antireflexbeschichtung 8 beschichtet worden ist, kann dies allerdings zu einer Krümmung des laseraktiven Festkörpers 1 mit einem Krümmungsradius von mehreren Metern führen, wie in Fig. 7a stark übertrieben gezeigt ist.

5 Diese Krümmung kann einen nachfolgenden Bondprozess stark beeinträchtigen und in der Folge zur Ablösung oder Beschädigung des gebondeten kristallinen Schichtstapels 5 führen, oder aber unmöglich machen. Mit dem in den Fign. 7a-7c gezeigten dritten Verfahren zum Herstellen des in Fig. 4 gezeigten laseraktiven Festkörpers 1 können solche Krümmungen verhindert werden.

10 In einem ersten Verfahrensschritt (Fig. 7a) wird auf die mit einer Antireflexbeschichtung 8 versehene gekrümmte Oberseite 3 des laseraktiven Festkörpers 1 zunächst ein planes Hilfssubstrat 11 durch Ansprengen gebondet, um dadurch die Krümmung rückgängig zu machen. Das Hilfssubstrat 11 soll nur dazu dienen, den plattenförmigen laseraktiven Festkörper 1 vor bzw. beim dem Bonden des kristallinen Schichtstapels 5 plan zu halten. Das Hilfssubstrat 10 ermöglicht auch eine
15 leichtere Handhabung des laseraktiven Festkörpers 1, da das Hilfssubstrat 10 bedenkenlos angefasst werden kann.

In einem zweiten Verfahrensschritt (Fig. 7b) werden dann die nunmehr plane untere Plattenseite 2 des laseraktiven Festkörpers 1 und die Stapelseite des kristallinen Schichtstapels 5 miteinander durch Bonding verbunden.
20

Abschließend wird in einem dritten Verfahrensschritt (Fig. 7c) das Hilfssubstrat 10 wieder entfernt.

Fig. 8 zeigt eine z.B. als Festkörper- bzw. Scheibenlaser ausgebildete Laserverstärkeranordnung 20 mit dem laseraktiven Festkörper 1. Der rückseitige kristalline Schichtstapel 5 des laseraktiven Festkörpers 1 bildet den hochreflektierenden Spiegel 4 und ein weiterer Spiegel 21 den Auskoppelspiegel eines Laserresonators für ein Laserverstärkungsfeld 22. Der laseraktive Festkörper 1 ist nicht nur von dem Laserverstärkungsfeld 22, sondern auch von einem Pumplichtstrahlungsfeld 23 durchsetzt, das den laseraktiven Festkörper 1 anregt. Zur Abführung der
30 bei der Erzeugung von Laserstrahlung im laseraktiven Festkörper 1 entstehenden Wärme steht der kristalline Schichtstapel 5 auf seiner dem laseraktiven Festkörper 1 abgewandten Stapelseite in thermischem Kontakt mit einem Kühlkörper 24. Statt wie in Fig. 8 als Endspiegel in einem einfachen Linearresonator kann der laserak-

tive Festkörper 1 auch als Faltungsspiegel in komplexeren Resonatoren eingesetzt werden.

5

Patentansprüche

1. Plattenförmiger laseraktiver Festkörper (1), insbesondere Laserscheibe, mit zwei einander gegenüberliegenden Plattenseiten (2, 3), wobei an einer der beiden Plattenseiten (2, 3) ein hochreflektierender Spiegel (4) zum Reflektieren einer im laseraktiven Festkörper (1) erzeugten Laserstrahlung angeordnet ist,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass der hochreflektierende Spiegel (4) als ein kristalliner Schichtstapel (5) ausgebildet ist, der durch eine Mehrzahl von abwechselnd ersten und zweiten kristallinen Schichten (6, 7), insbesondere kristallinen Halbleiterschichten, gebildet ist, welche unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen.
15
2. Plattenförmiger laseraktiver Festkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten und die zweiten kristallinen Schichten (6, 7) durch
20 binäre, ternäre oder quarternäre Verbindungen von III-V-Halbleitern oder II-VI-Halbleitern gebildet sind.
3. Plattenförmiger laseraktiver Festkörper nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeleitfähigkeit durch den kristallinen Schichtstapel (5) mindestens 1 W/mK, bevorzugt mindestens 5 W/mK, beträgt.
25
4. Plattenförmiger laseraktiver Festkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der kristalline Schichtstapel (5) auf der einen Plattenseite (2) aufgewachsen ist, insbesondere epitaktisch
30 aufgewachsen ist.
5. Plattenförmiger laseraktiver Festkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der kristalline Schichtstapel (5) mit der einen Plattenseite (2) durch Bonding verbunden ist.

- 5 6. Plattenförmiger laseraktiver Festkörper nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der kristalline Schichtstapel (5) auf seiner dem laseraktiven Festkörper (1) abgewandten Stapelseite mit einem Substrat (9) oder einer Ätzstoplage (10) verbunden ist.
- 10 7. Plattenförmiger laseraktiver Festkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die andere Plattenseite (3) des laseraktiven Festkörpers (1) mit einer Antireflexbeschichtung (8) versehen ist.
- 15 8. Plattenförmiger laseraktiver Festkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der kristalline Schichtstapel (5) auf seiner dem laseraktiven Festkörper (1) abgewandten Stapelseite in thermischem Kontakt mit einem Kühlkörper (24) steht, insbesondere an dem Kühlkörper (24) befestigt ist.
- 20 9. Laserverstärkeranordnung (20), insbesondere Festkörper- oder Scheibenlaser, mit einem plattenförmigen laseraktiven Festkörper (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
- 25 10. Verfahren zum Herstellen eines plattenförmigen laseraktiven Festkörpers (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet,
(a) dass der kristalline Schichtstapel (5) auf der einen Plattenseite (2) des laseraktiven Festkörpers (1) aufgewachsen wird, insbesondere epitaktisch aufgewachsen wird,
oder
(b) dass der kristalline Schichtstapel (5) mit einer seiner beiden Stapelseiten an die eine Plattenseite (2) des laseraktiven Festkörpers (1)
30 gebondet wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass in Variante (b) der kristalline Schichtstapel (5) auf einem Substrat (9) oder einer Ätzstoplage (10) aufgewachsen wird, insbesondere epitaktisch aufgewachsen wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Bonden des kristallinen Schichtstapels (5) das Substrat (9) oder die Ätzstoplage (10) in der Dicke reduziert oder vollständig entfernt wird.

5

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass in Variante (b) vor oder nach dem Bonden des kristallinen Schichtstapels (5) eine Antireflexbeschichtung (8) auf die andere Plattenseite (3) des laseraktiven Festkörpers (1) aufgebracht wird.

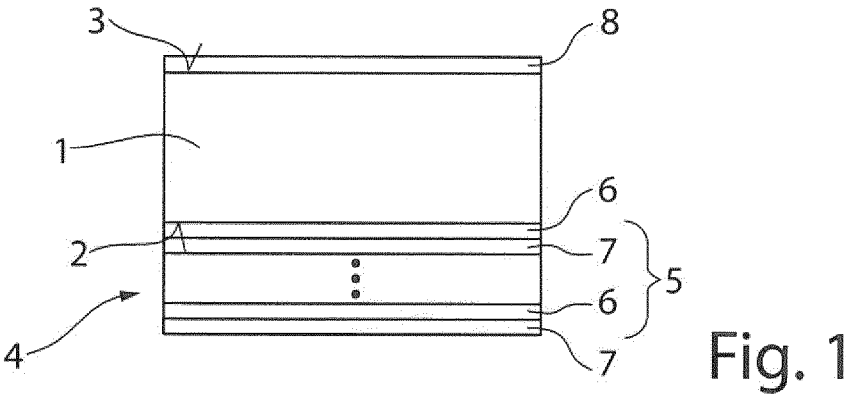
10

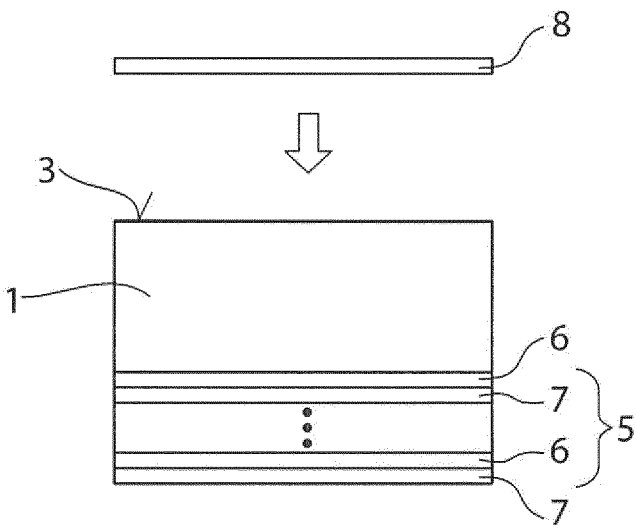
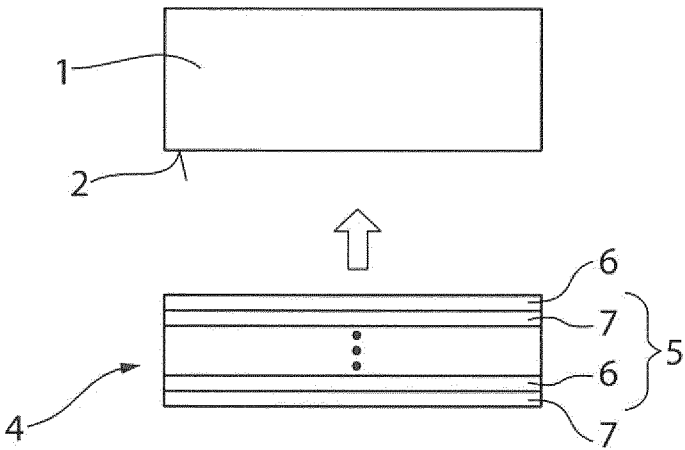
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass in Variante (b) vor dem Bonden des kristallinen Schichtstapels (5) ein Hilfssubstrat (11) auf die mit einer Antireflexbeschichtung (8) beschichtete andere Plattenseite (3) des laseraktiven Festkörpers (1) gebondet und nach dem Bonden des kristallinen Schichtstapels (5) wieder entfernt wird.

15

15. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass in Variante (a) vor oder nach dem Aufwachsen des kristallinen Schichtstapels (5) eine Antireflexbeschichtung (8) auf die andere Plattenseite (3) des plattenförmigen laseraktiven Festkörpers (1) aufgebracht wird.

20





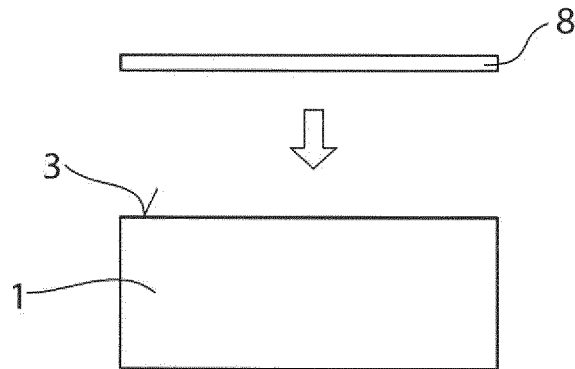


Fig. 3a

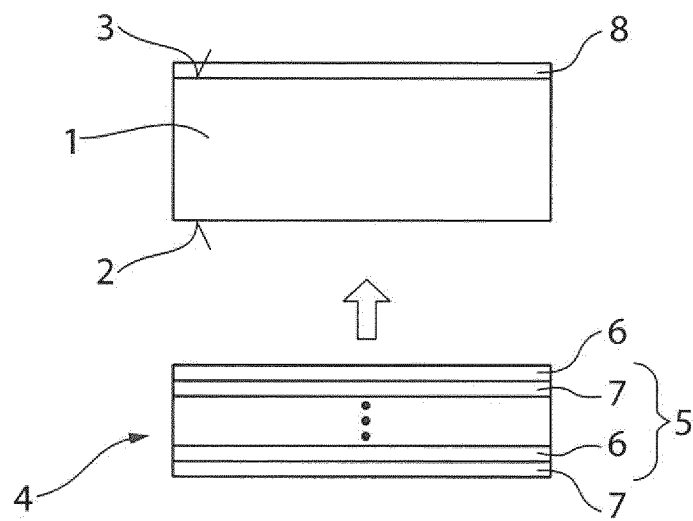
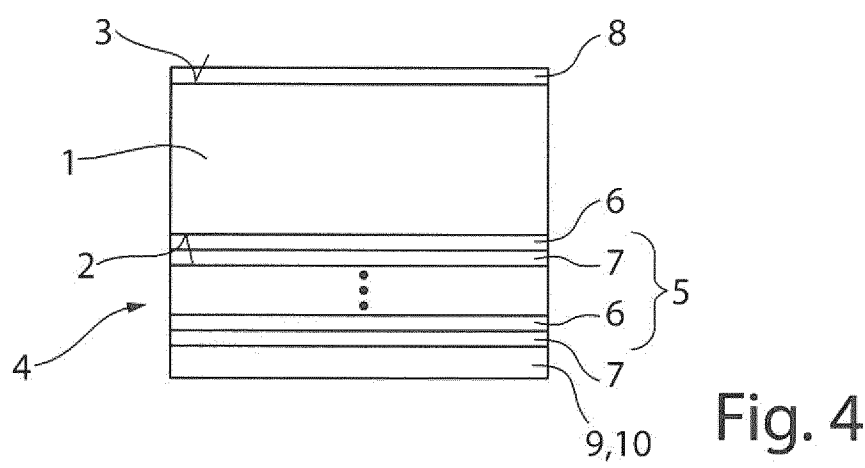


Fig. 3b



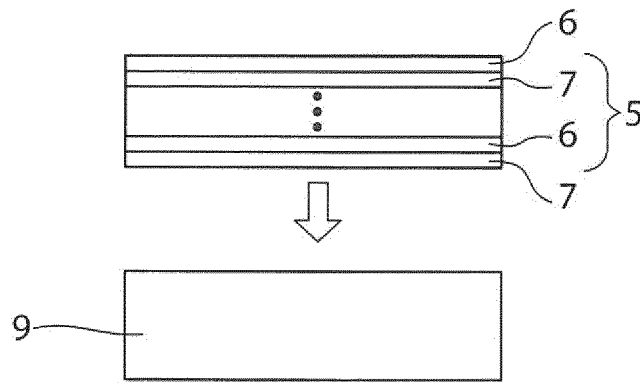


Fig. 5a

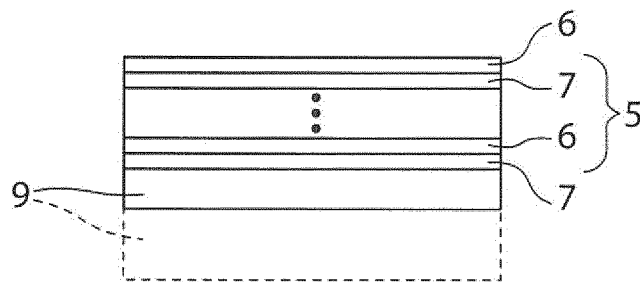


Fig. 5b

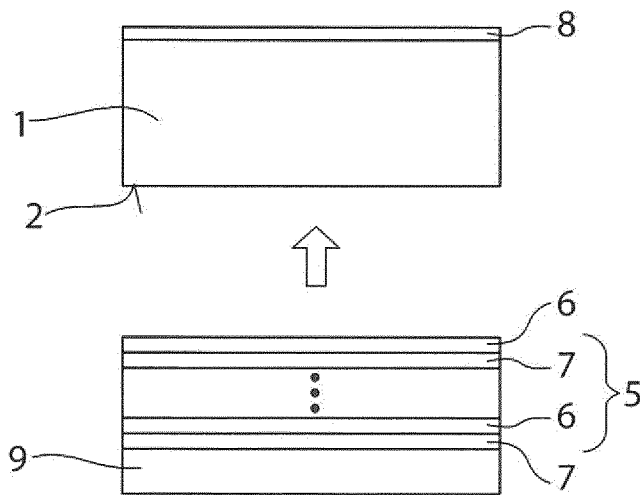
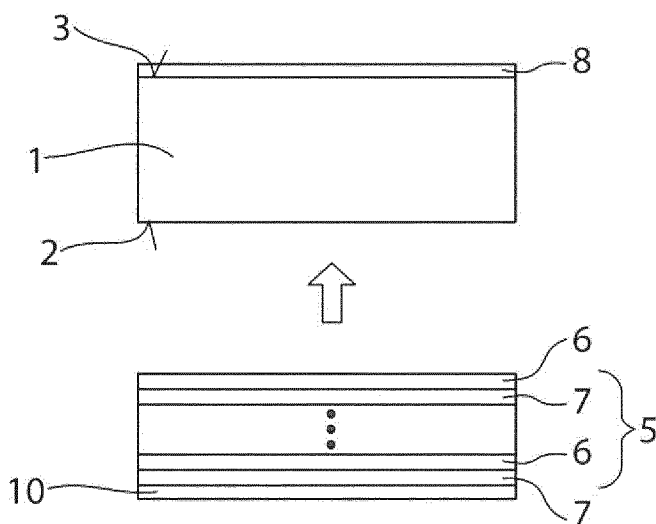
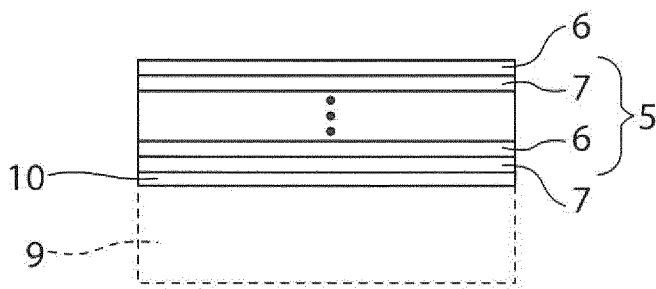
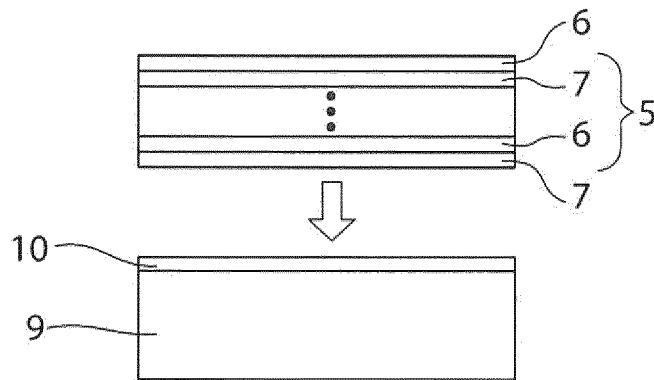


Fig. 5c



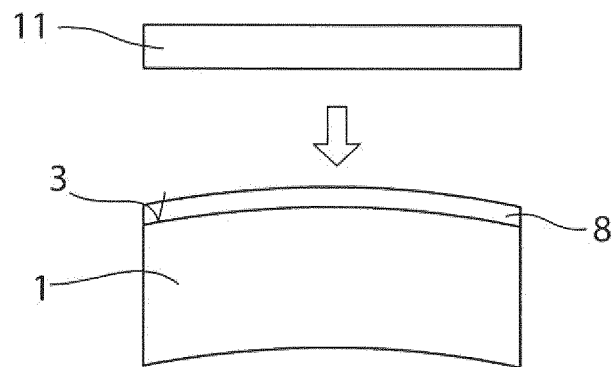


Fig. 7a

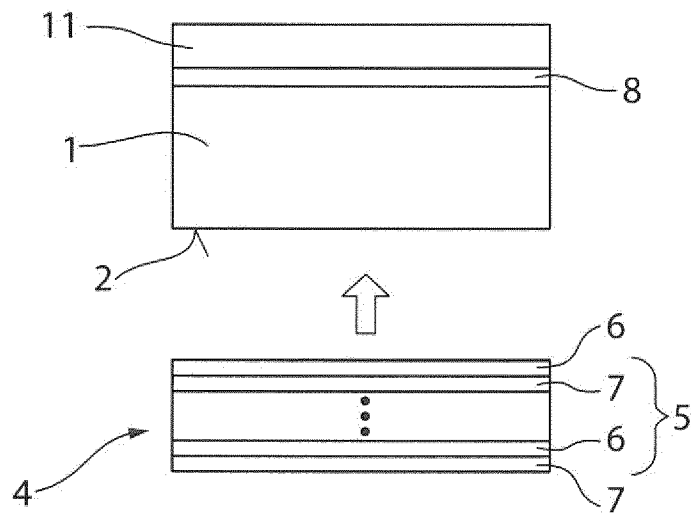


Fig. 7b

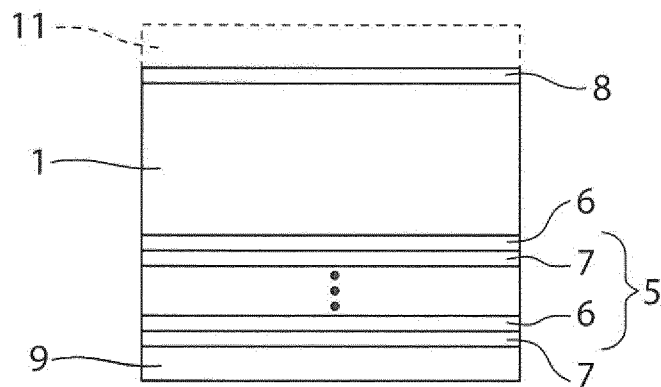


Fig. 7c

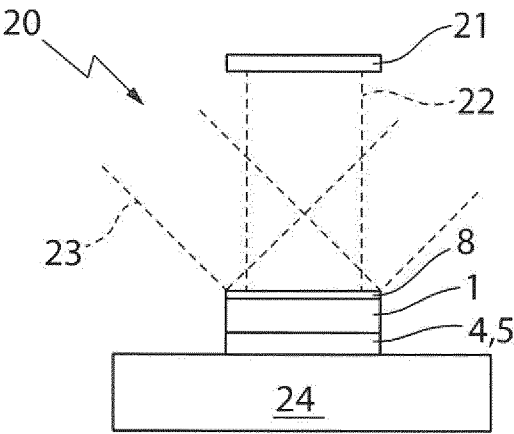


Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/069587

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01S3/06 H01S3/042
ADD.

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)
H01S

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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KUZNETSOV M ET AL: "High-power (>0.5-W CW) diode-pumped vertical-external-cavity surface-emitting semiconductor lasers with circular TEM00 beams", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 9, no. 8, 1 August 1997 (1997-08-01), pages 1063-1065, XP011431301, ISSN: 1041-1135, DOI: 10.1109/68.605500 page 1064; figures 1,2 ----- -/--	1-4,10, 11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family 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 application or patent 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

18 November 2016

Date of mailing of the international search report

28/11/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hervé, Denis

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/069587

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BRAUN B: "56-PS PASSIVELY +-SWITCHED DIODE-PUMPED MICROCHIP LASER", OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, US, vol. 22, no. 6, 15 March 1997 (1997-03-15), pages 381-383, XP000690332, ISSN: 0146-9592 page 381 - page 382; figure 1 -----	1-3,10
X	WO 2007/081688 A2 (FAN LI [US]; FALLAHI MAHMOUD [US]; MOLONEY JEROME V [US]) 19 July 2007 (2007-07-19) page 5 - page 7; figures 1-3 -----	1-3,5,6, 10,12-14
Y		6,12
X	SIRBU A ET AL: "Wafer-fused VECSELS emitting in the 1310nm waveband", OPTOMECHATRONIC MICRO/NANO DEVICES AND COMPONENTS III : 8 - 10 OCTOBER 2007, LAUSANNE, SWITZERLAND; [PROCEEDINGS OF SPIE , ISSN 0277-786X], SPIE, BELLINGHAM, WASH, vol. 8966, 3 March 2014 (2014-03-03), pages 89660G-89660G, XP060034389, DOI: 10.1117/12.2039692 ISBN: 978-1-62841-730-2 page 2, paragraph 3 - page 3; figure 3 page 4 - page 5; figure 7 -----	1-3,5,11
Y		6,12
A	WO 2014/029687 A1 (TRUMPF LASER GMBH & CO KG [DE]) 27 February 2014 (2014-02-27) page 10, line 21 - line 30 -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/069587

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2007081688 A2	19-07-2007	US 2009274177 A1 WO 2007081688 A2	05-11-2009 19-07-2007
WO 2014029687 A1	27-02-2014	CN 104798269 A DE 102012214971 A1 EP 2888789 A1 KR 20150046150 A US 2015171586 A1 WO 2014029687 A1	22-07-2015 27-02-2014 01-07-2015 29-04-2015 18-06-2015 27-02-2014

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H01S3/06 H01S3/042
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H01S

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, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	KUZNETSOV M ET AL: "High-power (>0.5-W CW) diode-pumped vertical-external-cavity surface-emitting semiconductor lasers with circular TEM00 beams", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 9, Nr. 8, 1. August 1997 (1997-08-01), Seiten 1063-1065, XP011431301, ISSN: 1041-1135, DOI: 10.1109/68.605500 Seite 1064; Abbildungen 1,2 ----- -/--	1-4,10, 11

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ 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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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

18. November 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

28/11/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hervé, Denis

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	BRAUN B: "56-PS PASSIVELY +-SWITCHED DIODE-PUMPED MICROCHIP LASER", OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, US, Bd. 22, Nr. 6, 15. März 1997 (1997-03-15), Seiten 381-383, XP000690332, ISSN: 0146-9592 Seite 381 - Seite 382; Abbildung 1 -----	1-3,10
X	WO 2007/081688 A2 (FAN LI [US]; FALLAHI MAHMOUD [US]; MOLONEY JEROME V [US]) 19. Juli 2007 (2007-07-19)	1-3,5,6, 10,12-14
Y	Seite 5 - Seite 7; Abbildungen 1-3 -----	6,12
X	SIRBU A ET AL: "Wafer-fused VECSELS emitting in the 1310nm waveband", OPTOMECHATRONIC MICRO/NANO DEVICES AND COMPONENTS III : 8 - 10 OCTOBER 2007, LAUSANNE, SWITZERLAND; [PROCEEDINGS OF SPIE , ISSN 0277-786X], SPIE, BELLINGHAM, WASH, Bd. 8966, 3. März 2014 (2014-03-03), Seiten 89660G-89660G, XP060034389, DOI: 10.1117/12.2039692 ISBN: 978-1-62841-730-2	1-3,5,11
Y	Seite 2, Absatz 3 - Seite 3; Abbildung 3 Seite 4 - Seite 5; Abbildung 7 -----	6,12
A	WO 2014/029687 A1 (TRUMPF LASER GMBH & CO KG [DE]) 27. Februar 2014 (2014-02-27) Seite 10, Zeile 21 - Zeile 30 -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/069587

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2007081688 A2	19-07-2007	US 2009274177 A1	05-11-2009
		WO 2007081688 A2	19-07-2007

WO 2014029687 A1	27-02-2014	CN 104798269 A	22-07-2015
		DE 102012214971 A1	27-02-2014
		EP 2888789 A1	01-07-2015
		KR 20150046150 A	29-04-2015
		US 2015171586 A1	18-06-2015
		WO 2014029687 A1	27-02-2014
