

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
16 mai 2024 (16.05.2024)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/100047 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01S 3/00 (2006.01) *H01S 3/16* (2006.01)
H01S 3/06 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2023/081008

(22) Date de dépôt international :
07 novembre 2023 (07.11.2023)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2211576 07 novembre 2022 (07.11.2022) FR

(71) Déposant : **AMPLITUDE** [FR/FR] ; Bâtiment MEROPA,
6 Allée des Lumières, Cité de la Photonique, 11 Avenue de
Canteranne, 33600 PESSAC (FR).

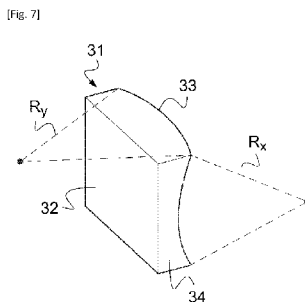
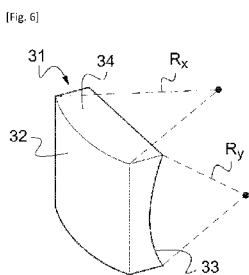
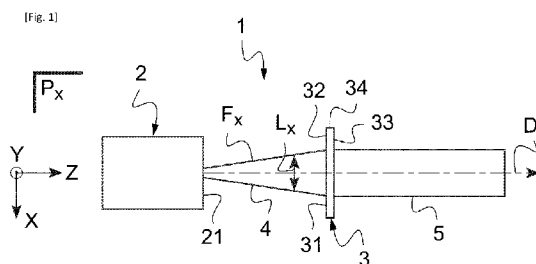
(72) Inventeur : **BASIN, Florent** ; c/o AMPLITUDE, 11 Ave-
nue de Canteranne, 33600 PESSAC (FR).

(74) Mandataire : **CHAUVIN, Vincent** et al. ; JACOBACCI
CORALIS HARLE, 32 rue de l'Arcade, 75008 PARIS (FR).

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA,

(54) Title: LASER SYSTEM WITH MONOLITHIC OPTICAL COLLIMATION AND CIRCULARISATION DEVICE

(54) Titre : SYSTÈME LASER AVEC DISPOSITIF OPTIQUE MONOLITHIQUE DE COLLIMATION ET DE CIRCULARISATION



(57) Abstract: The invention relates to a laser system (1) comprising a solid amplifying medium (2) capable of emitting an amplified beam (4) in a propagation direction (D), the amplified beam having a first angle of divergence in a first plane (Px) including the propagation direction, and a second angle of divergence in a second plane including the propagation direction and separate from the first plane, the second angle of divergence being separate from the first angle of divergence; and an optical device (3). According to the invention, the optical device comprises a lens (31) arranged so as to refract the amplified beam into an outgoing beam (5), the lens having a first radius of curvature in the first plane and a second radius of curvature in the second plane, the second radius of curvature being separate from the first radius of curvature.

[Suite sur la page suivante]



NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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).

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.

(57) **Abstré** : L'invention concerne un système laser (1) comprenant un milieu amplificateur (2) solide apte à émettre un faisceau amplifié (4) selon une direction de propagation (D), le faisceau amplifié présentant un premier angle de divergence dans un premier plan (Px) incluant la direction de propagation, et un deuxième angle de divergence dans un deuxième plan incluant la direction de propagation et distinct du premier plan, le deuxième angle de divergence étant distinct du premier angle de divergence; et un dispositif optique (3). Selon l'invention, le dispositif optique comprend une lentille (31) agencée de manière à réfracter le faisceau amplifié en un faisceau sortant (5), la lentille présentant un premier rayon de courbure dans le premier plan et un deuxième rayon de courbure dans le deuxième plan, le deuxième rayon de courbure étant distinct du premier rayon de courbure.

Système laser avec dispositif optique monolithique de collimation et de circularisation

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne de manière générale le domaine technique de
5 l'optique.

[0002] Elle concerne plus particulièrement un système laser.

[0003] L'invention trouve une application particulièrement avantageuse dans la réalisation de système laser basé sur un milieu amplificateur à plaques.

Arrière-plan technologique

10 [0004] Un système laser (de l'acronyme anglais « light amplification by stimulated emission of radiation ») comprend classiquement un milieu amplificateur, par exemple solide, conçu pour émettre un faisceau lumineux spatialement et temporellement cohérent. Un tel faisceau est alors souvent lui-aussi qualifié de « laser ».

[0005] Dans le cas d'un milieu amplificateur ne présentant pas de symétrie de révolution par
15 rapport à l'axe de propagation, le faisceau lumineux émis est souvent astigmatique. Le faisceau lumineux peut alors présenter différents angles de divergence ou d'ouverture dans différents plans comprenant la direction de propagation du faisceau. Ainsi, le faisceau lumineux sortant d'un milieu amplificateur solide sans symétrie de révolution est souvent elliptique et/ou astigmatique.

20 [0006] Pour rendre ce faisceau lumineux circulaire (ellipticité proche de 1), ou simplement stigmatique, et moins divergent (collimaté), les systèmes lasers comprennent des dispositifs optiques de mise en forme du faisceau. Un tel dispositif optique requiert généralement trois ou quatre lentilles réfractant successivement le faisceau lumineux. Certaines lentilles ont pour rôle de circulariser le faisceau en modifiant chacune la divergence du faisceau dans une
25 direction donnée, tandis que d'autres lentilles permettent de collimater le faisceau et de corriger l'astigmatisme intrinsèque ou causé par les différentes lentilles.

[0007] Toutefois, de tels dispositifs optiques de mise en forme du faisceau sont coûteux, complexes à ajuster et présentent un encombrement conséquent.

Résumé de l'invention

[0008] Dans ce contexte, la présente invention propose un système laser comprenant :

- un milieu amplificateur solide apte à émettre un faisceau amplifié selon une direction de propagation, le faisceau amplifié présentant un premier angle de divergence dans un premier plan incluant la direction de propagation, et un deuxième angle de divergence dans un deuxième plan incluant la direction de propagation et distinct du premier plan, le deuxième angle de divergence étant distinct du premier angle de divergence ; et
- un dispositif optique comprenant une lentille agencée de manière à réfracter le faisceau amplifié en un faisceau sortant, la lentille présentant un premier rayon de courbure dans le premier plan et un deuxième rayon de courbure dans le deuxième plan, le deuxième rayon de courbure étant distinct du premier rayon de courbure.

[0009] Ainsi grâce à l'invention, le dispositif optique de mise en forme du faisceau est simplifié. En effet, la lentille mise en œuvre par le dispositif optique permet de modifier en même temps les deux angles de divergence du faisceau incident. Ainsi, le faisceau amplifié peut être circularisé et collimaté par un nombre réduit de lentilles, de préférence par une seule lentille.

[0010] Par conséquent, bien qu'il présente moins de libertés de réglage, le dispositif optique de mise en forme du système laser selon l'invention est peu onéreux, simple à régler et présente un encombrement réduit.

[0011] Dans le système laser selon l'invention, une lentille unique peut ainsi remplacer un système optique de mise en forme complexe constitué d'au moins trois ou quatre lentilles. La lentille est alors fabriquée pour corriger les défauts d'un système laser particulier et, bien qu'elle offre moins de possibilité de réglage, elle limite les risques de désalignement.

[0012] D'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives du système laser conforme à l'invention, prises individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles, sont les suivantes :

- le faisceau sortant présente deux angles de divergences respectivement dans le premier plan et dans le deuxième plan, et le premier rayon de courbure et le deuxième rayon de courbure sont déterminés, sur la base du premier angle de divergence et du deuxième angle de divergence, de manière à atteindre au moins un des critères suivants : une différence entre les deux angles de divergences du faisceau sortant est inférieure à une première valeur seuil,

au moins l'un parmi les deux angles de divergences du faisceau sortant est inférieur à une deuxième valeur seuil ;

- le premier rayon de courbure et le deuxième rayon de courbure sont déterminés de telle sorte que le faisceau sortant est moins astigmatique que le faisceau amplifié ;

5 - le faisceau amplifié présente une section de circularité perpendiculaire à la direction de propagation dans laquelle le faisceau amplifié est de forme circulaire, et la lentille est positionnée de manière à intersecter la section de circularité ;

- le premier plan est perpendiculaire au deuxième plan ;

- entre le milieu amplificateur et le dispositif optique de mise en forme, le faisceau amplifié

10 est divergent dans le premier plan et convergent dans le deuxième plan ;

- la lentille comprend une première face optique formant le premier rayon de courbure et une deuxième face optique, opposée à la première face optique, formant le deuxième rayon de courbure ;

15 - au moins l'une parmi la première face optique et la deuxième face optique s'étend selon une surface cylindrique de révolution ;

- la lentille comprend une première face optique plane et une deuxième face optique, opposée à la première face optique, formant le premier rayon de courbure et le deuxième rayon de courbure ;

- la deuxième face optique s'étend selon une surface torique ;

20 - le premier rayon de courbure et le deuxième rayon de courbure sont chacun compris entre 1 mm et 1000 mm ;

- le faisceau amplifié comprend une longueur d'onde centrale, et la lentille comprend des faces optiques dont la rugosité est inférieure au quart de la longueur d'onde centrale ;

25 - la lentille est réalisée dans une silice présentant une absorption inférieure à 10^{-5} cm^{-1} pour une longueur d'onde comprise entre 900 nm et 1100 nm ;

- le faisceau amplifié présente un profil gaussien selon une direction transverse perpendiculaire à la direction de propagation ;

- le dispositif optique de mise en forme est constitué de la lentille ;

30 - la lentille présente une épaisseur, selon la direction de propagation, comprise entre 2 mm et 4 mm ;

- la lentille est réalisée dans une silice de qualité électronique ;

- la lentille est agencée de sorte que le faisceau amplifié illumine une région de la lentille présentant une surface comprise entre 9 mm^2 and $40\,000 \text{ mm}^2$;
 - la lentille comprend au moins l'un des revêtements présentant une réflectance en incidence normale inférieure à 0,1 % à 1030 nm ;
- 5 - le faisceau amplifié est un faisceau impulsionnel dont la durée d'émission est comprise entre 100 fs et 20 ns ;
- le milieu amplificateur solide comprend un cristal parallélépipédique rectangle et la lentille est positionnée en regard d'une tranche de sortie du cristal.

[0013] Bien entendu, les différentes caractéristiques, variantes et formes de réalisation de
10 l'invention peuvent être associées les unes avec les autres selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres.

Description détaillée de l'invention

[0014] La description qui va suivre en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs, fera bien comprendre en quoi consiste l'invention et comment elle peut être
15 réalisée.

[0015] Sur les dessins annexés :

[0016] Figure 1 est une représentation schématique en coupe, dans un premier plan, du système laser selon l'invention ;

[0017] Figure 2 est une représentation schématique en coupe, dans un deuxième plan, du
20 système laser de la figure 1 ;

[0018] Figure 3 est une représentation schématique en coupe, dans le premier plan, d'une partie d'un faisceau lumineux généré par le système laser de la figure 1 ;

[0019] Figure 4 est une représentation schématique du faisceau lumineux généré par le système laser se propageant librement dans chacun des plans des figures 1 et 2 ainsi que
25 dans des plans transverses ;

[0020] Figure 5 est une représentation schématique du faisceau lumineux de la figure 4 réfracté en un faisceau sortant par une lentille, mise en œuvre dans le système laser de la figure 1, selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

[0021] Figure 6 est une représentation schématique en perspective de la lentille de la figure 5 ;

[0022] Figure 7 est une représentation schématique en perspective d'un deuxième mode de réalisation d'une lentille mise en œuvre dans le système laser de la figure 1.

5 [0023] Un système laser 1 selon l'invention est représenté sur les figures 1 et 2. Comme le montre la figure 1 ou 2, le système laser 1 comprend un milieu amplificateur 2 et un dispositif optique 3. Le système laser 1 est qualifié de « laser » dans le sens où il permet de produire un faisceau lumineux de haute intensité qui est spatialement et temporellement cohérent. Le système laser 1 est plus spécifiquement de type impulsionnel et basé sur un milieu
10 amplificateur cristallin. Le système laser peut par exemple servir à la découpe laser.

[0024] Le système laser 1 est par exemple conçu pour générer un faisceau lumineux impulsionnel dont l'énergie est comprise entre 10 W et 10 kW à des fréquences variant entre 50 kHz et 40 MHz. La durée d'émission est par exemple comprise entre 100 fs et 1 ns. La puissance du faisceau lumineux est par exemple comprise entre 1 μ J et 10 mJ.

15 [0025] Comme le montrent les figures 1 et 2, le milieu amplificateur 2 est apte à émettre un faisceau lumineux laser, appelé par la suite faisceau amplifié 4. Pour cela, le milieu amplificateur 2, qui est ici solide, est optiquement pompé pour faire passer les atomes le constituant dans un état excité. Classiquement, le système laser 1 comprend une cavité optique (non représentée), qui comprend par exemple deux miroirs, au sein de laquelle est
20 placé le milieu amplificateur 2. Ainsi, un faisceau précurseur (non représenté) injecté dans la cavité optique traverse de multiples fois le milieu amplificateur 2, ce qui produit, par émission stimulée, le faisceau amplifié 4.

[0026] Le milieu amplificateur 2 est ici de forme parallélépipédique, par exemple rectangle. Les faces d'entrée et de sortie du milieu amplificateur peuvent aussi être en coin, i.e. non
25 parallèles, de manière à éviter des retours dans le milieu amplificateur 2. Le milieu amplificateur 2 présente plus spécifiquement une forme de plaque, le faisceau précurseur étant injecté via une tranche de la plaque, perpendiculairement à l'épaisseur de la plaque, c'est-à-dire à sa plus faible dimension. Le milieu amplificateur 2 présente par exemple une largeur comprise entre 5 mm et 30 mm, une longueur comprise entre 5 mm et 30 mm et une
30 épaisseur comprise entre 0,3 mm et 2 mm.

[0027] Le milieu amplificateur 2 est par exemple réalisé en grenat d'yttrium aluminium dopé au néodyme (Nd:YAG) ou en grenat d'yttrium aluminium dopé au ytterbium (Yb:YAG). Le faisceau amplifié 4 présente une longueur d'onde centrale, dont l'intensité est maximum, qui est par exemple comprise entre 1000 nm et 1100 nm. La longueur d'onde centrale, dépend
5 du matériau dans lequel est réalisé le milieu amplificateur 2. Ainsi, par exemple, pour un milieu amplificateur réalisé en Yb:YAG, la longueur d'onde centrale est de 1030 nm et pour un milieu amplificateur réalisé en Nb:YAG, la longueur d'onde centrale est de 1064 nm.

[0028] Le faisceau amplifié 4 est émis par le milieu amplificateur 2 selon une direction de propagation D correspondant ici l'axe Z d'un repère orthonormé XYZ. Le faisceau indicent 4
10 présente une largeur qui est définie selon une direction perpendiculaire à la direction de propagation D, correspondant par exemple à l'axe X ou à l'axe Y du repère orthonormé XYZ, comme :

- un segment pour lequel, à la longueur d'onde centrale, l'intensité est supérieure à la moitié de l'intensité maximum, un tel segment correspond à une largeur à mi-hauteur (couramment
15 appelée « full width at half-maximum » en anglais) ;
- un segment pour lequel, à la longueur d'onde centrale, l'intensité est supérieure à l'intensité maximum divisée par e^2 ; ou encore
- un segment pour lequel l'énergie est supérieure à 86% de l'énergie totale du faisceau indicent 4.

20 [0029] Par la suite, la largeur du faisceau amplifié 4 est définie comme la largeur à mi-hauteur.

[0030] La géométrie du milieu amplificateur 2 confère un astigmatisme au faisceau amplifié 4. Dans un milieu amplificateur 2 dont la tranche de sortie 21 est rectangulaire, la divergence selon la petite largeur de la tranche est principalement guidée par le gain du milieu amplificateur et la divergence selon la grande largeur est principalement guidée par les rayons
25 de courbures des miroirs formant la cavité optique.

[0031] Ici, le faisceau amplifié 4 présente plus spécifiquement un premier angle de divergence A_x dans un premier plan P_x qui inclut la direction de propagation D, et un deuxième angle de divergence dans un deuxième plan P_y qui inclut aussi la direction de propagation D et qui est distinct du premier plan P_x . On entend ici par le terme mathématique
30 « inclure » que la direction de propagation D est comprise, c'est-à-dire s'étend, dans le

premier plan P_x et dans le deuxième plan P_y . Ici, le premier angle de divergence A_x est distinct du deuxième angle de divergence A_y .

[0032] Par la suite, comme le montre la figure 1, une première largeur L_x du faisceau indicent 4 est définie comme la largeur du faisceau indicent 4 selon une direction perpendiculaire à la direction de propagation D et comprise dans le premier plan P_x . De même, comme le montre la figure 2, une deuxième largeur L_y du faisceau indicent 4 est définie comme la largeur du faisceau indicent 4 selon une direction perpendiculaire à la direction de propagation D et comprise dans le deuxième plan P_y .

[0033] Chaque angle de divergence A_x , A_y est un angle représentatif d'une variation de la largeur du faisceau amplifié 4 le long de la direction de propagation D dans son plan P_x , P_y respectif. Comme le montre la figure 3, le premier angle de divergence A_x est représentatif de la variation de la première largeur L_x et le deuxième angle de divergence A_y est représentatif de la variation de la deuxième largeur L_y . Chaque angle de divergence A_x , A_y est par exemple défini à la manière de la norme ISO11146.

[0034] Plus particulièrement, comme représenté sur la figure 3, le premier angle de divergence A_x est ici défini, dans le premier plan P_x , comme le demi-angle entre un premier pourtour F_x du faisceau amplifié 4 et la direction de propagation D , mesuré à une première taille T_x du faisceau indicent 4, c'est-à-dire au point focal du faisceau amplifié 4 dans le premier plan P_x , là où la première largeur L_x est minium. Comme représenté sur la figure 3, le premier pourtour F_x représente la variation de la première largeur L_x dans le premier plan P_x .

[0035] Le deuxième angle de divergence A_y est ici défini de manière analogue dans le deuxième plan P_y comme le demi-angle entre un deuxième pourtour F_y du faisceau amplifié 4 et la direction de propagation D , mesuré à une deuxième taille T_y du faisceau indicent 4, c'est-à-dire au point focal du faisceau amplifié 4 dans le deuxième plan P_y , là où la deuxième largeur L_y est minium, le deuxième pourtour F_y représentant la variation de la deuxième largeur L_y dans le deuxième plan P_y .

[0036] Le faisceau amplifié 4 étant astigmatique, sa première taille et sa deuxième taille sont spatialement séparées, elles sont par exemple distantes de 1 mm à 10000 mm le long de la direction de propagation D .

[0037] Dû à son astigmatisme, le faisceau amplifié 4 présente une section, perpendiculairement à la direction de propagation D, qui est généralement elliptique entre le milieu amplificateur 2 et le dispositif optique 3.

[0038] Ici, comme le montre la figure 4, le premier plan Px et le deuxième plan Py sont définis de telle sorte à être perpendiculaire l'un à l'autre. Comme le montrent les figures 1 et 2, le premier plan Px correspond ici au plan XZ du repère orthonormé XYZ et le deuxième plan Py correspond au plan YZ du repère orthonormé XYZ.

[0039] Le premier plan Px et le deuxième plan Py sont plus particulièrement définis de manière à correspondre au grand axe et au petit axe de la section elliptique du faisceau indicent 4 dans un plan transverse T1, T2, T3 perpendiculaire à la direction de propagation D.

[0040] Dans l'exemple illustré en figure 4, le faisceau amplifié 4 est elliptique de grand axe compris dans le deuxième plan Py au niveau d'un premier plan transverse T1 puis elliptique de grand axe compris dans le premier plan Px au niveau d'un deuxième plan transverse T2 et d'un troisième plan transverse T3. Le premier plan transverse T1 correspond ici à celui de la tranche de sortie 21 du milieu amplificateur 2.

[0041] Ici, perpendiculairement à la direction de propagation D, c'est-à-dire selon des directions transverses perpendiculaires à la direction de propagation D, par exemple selon les axes X et Y du repère orthonormé XYZ, le faisceau amplifié 4 présente généralement un profil d'intensité gaussien à la longueur d'onde centrale.

[0042] Le dispositif optique 3 est adapté à mettre en forme le faisceau amplifié 4 dans le sens où il permet de modifier des caractéristiques géométriques du faisceau amplifié 4.

[0043] Comme le montrent les figures 1 et 2, le dispositif optique 3 comprend une lentille 31 disposée le long de la direction de propagation D. La lentille 31 est ici disposée en regard de la tranche de sortie 21 du milieu amplificateur 2 au travers de laquelle est émis le faisceau amplifié 4. Ainsi, la lentille 31 réfracte le faisceau amplifié 4 en un faisceau sortant 5. Le faisceau sortant 5 présente lui aussi un angle de divergence dans le premier plan Px, appelé angle de divergence principal, et un angle de divergence dans le deuxième plan Px, appelé angle de divergence secondaire. Les angles de divergences du faisceau sortant 5 sont définis de la même manière que ceux du faisceau indicent 4.

[0044] De façon remarquable, la lentille 31 présente deux rayons de courbure différents dans deux plans distincts. Autrement dit, la lentille 31 est une lentille bifocale. Chacun des rayons de courbures R_x , R_y est associé à une courbure strictement positive, i.e. non-nulles. La lentille 31 est orientée pour présenter un premier rayon de courbure R_x dans le premier plan P_x et
5 un deuxième rayon de courbure R_y dans le deuxième plan P_y .

[0045] En déterminant le premier rayon de courbure R_x et le deuxième rayon de courbure R_y sur la base du premier angle de divergence A_x et du deuxième angle de divergence A_y , la lentille 31 est adaptée à circulariser ou à collimater le faisceau sortant 5. De préférence la lentille 31 est adaptée à circulariser et à collimater le faisceau sortant 5.

10 [0046] L'effet de la lentille 31 sur le faisceau amplifié 4 est représenté en figure 5, en comparaison à la figure 4 sur laquelle une propagation libre du faisceau amplifié 4 est illustrée. Sur la figure 4, c'est-à-dire sans la lentille 31, le faisceau amplifié 4 est elliptique dans la deuxième section transverse T_2 et dans la troisième section transverse T_3 et divergent puisque la première largeur L_x et la deuxième largeur L_y augmentent entre la deuxième
15 section transverse T_2 et la troisième section transverse T_3 . Sur la figure 5, le faisceau sortant 5 est de forme circulaire, comme cela est représenté dans la deuxième section transverse T_2 et dans la troisième section transverse T_3 . Le faisceau sortant 5 est donc également stigmatique. De plus, le faisceau sortant 5 est collimaté puisque son diamètre est sensiblement égal dans la zone de Rayleigh, par exemple ici dans la deuxième section
20 transverse T_2 et dans la troisième section transverse T_3 .

[0047] Ainsi, le faisceau sortant 5 peut être mis en forme uniquement au moyen la lentille 31. La lentille 31 est donc de préférence spécifiquement conçue par rapport à la forme du faisceau amplifié 4. Le réglage du dispositif optique 3 est simple puisque ce dernier est ici constitué d'un seul élément optique : la lentille 31. En contrepartie, la conception de la lentille
25 31 dépend du faisceau amplifié 4 et donc du milieu amplificateur 2.

[0048] Le premier rayon de courbure R_x et le deuxième rayon de courbure R_y peuvent être déterminés de manière à optimiser la circularité du faisceau sortant 5, c'est-à-dire de manière à rendre une section du faisceau sortant 5 circulaire dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation D . La circularité d'un faisceau laser est ici définie selon la norme

ISO11146. Ainsi un faisceau est considéré comme circulaire lorsque son ellipticité est supérieure à 87%.

[0049] Le premier rayon de courbure R_x et le deuxième rayon de courbure R_y sont donc déterminés de façon à minimiser une différence entre l'angle de divergence principal et l'angle de divergence secondaire du faisceau sortant 5. En pratique, les rayons de courbures R_x , R_y de la lentille 31 sont alors déterminés de sorte que la différence entre l'angle de divergence principal et l'angle de divergence secondaire est inférieure à une première valeur seuil. La première valeur seuil est par exemple inférieure à 0,1 mrad.

[0050] Le premier rayon de courbure R_x et le deuxième rayon de courbure R_y peuvent aussi être déterminés de manière à minimiser la divergence du faisceau sortant 5, c'est-à-dire à minimiser l'élargissement du faisceau sortant 5. En d'autres termes, le premier rayon de courbure R_x et le deuxième rayon de courbure R_y sont déterminés de manière à minimiser l'angle de divergence principal ou l'angle de divergence secondaire. De préférence, les rayons de courbures R_x , R_y de la lentille 31 sont déterminés de manière à minimiser à la fois l'angle de divergence principal et l'angle de divergence secondaire. En pratique, les rayons de courbures R_x , R_y de la lentille 31 sont alors déterminés de sorte que l'angle de divergence principal et/ou l'angle de divergence secondaire est inférieur à une deuxième valeur seuil. La deuxième valeur seuil est par exemple comprise entre 0.1 μ rad et 2 mrad.

[0051] Bien entendu, la valeur des rayons de courbure R_x , R_y dépend aussi de l'indice optique de la lentille 31. La conception de la lentille 31 peut donc être effectuée en termes de distances focales qui sont ensuite converties en rayons de courbure, par exemple selon la formule suivante : $R=f \cdot (n-1)$ où R est le rayon de courbure, f la distance focale souhaitée et n l'indice optique de la lentille.

[0052] De plus, grâce à la lentille 31, le faisceau sortant 5 est moins astigmatique que le faisceau amplifié 4.

[0053] Comme le montre figure 4, bien que le faisceau amplifié 4 soit astigmatique, ce dernier présente une section de circularité S , perpendiculaire à la direction de propagation D , dans laquelle le faisceau amplifié 4 est circulaire. Avant et après cette section de circularité S , le faisceau incident 4 est elliptique.

[0054] Comme cela apparaît sur la figure 5, de façon remarquable, la lentille 31 est positionnée de manière à intersecter la section de circularité S. Cela permet d'améliorer l'effet combiné de collimation et de circularisation de la lentille 31. La lentille 31 est ici conçue pour fonctionner dans la section de circularité S.

5 [0055] Dans l'exemple illustré sur les figures 1, 2 et 5, entre le milieu amplificateur 2 et la lentille 31, le faisceau amplifié 4 est divergent dans le premier plan Px et convergent dans le deuxième plan Py. Un tel faisceau amplifié est typiquement généré par les systèmes laser à plaques (aussi appelés « Slab Laser » en anglais). Dans ces systèmes, la petite largeur de la tranche de la plaque est comprise dans le premier plan Px et la grande largeur de la tranche
10 de la plaque est comprise dans le deuxième plan Py.

[0056] Comme le montre la figure 4, en sortie du milieu amplificateur 2, la première largeur Lx est alors croissante tandis que la deuxième largeur Ly est décroissante le long de la direction de propagation D. Comme schématisé sur la figure 4, la section de circularité S correspond alors au plan, perpendiculaire à la direction de propagation D, dans lequel la
15 première largeur Lx est égale à la deuxième largeur Ly. Ici, le faisceau amplifié 4 est donc circulaire dans la section de circularité S. En amont de la section de circularité S, le faisceau incident 4 est elliptique de grand axe selon le deuxième plan Py et, en aval de la section de circularité S, le faisceau incident 4 est elliptique de grand axe selon le premier plan Px.

[0057] Par conséquent, comme illustré sur la figure 5, pour circulariser et collimater le
20 faisceau sortant 5, le premier rayon de courbure Rx est associé à une distance focale positive, dans le sens où le foyer image associé est situé en aval de la lentille 31 le long de la direction de propagation, i.e. du côté du faisceau sortant 5. A l'inverse, le deuxième rayon de courbure Ry est associé à une distance focale négative, dans le sens où le foyer image associé est situé en amont de la lentille 31 sur la direction de propagation, i.e. du côté du faisceau amplifié 4.

25 [0058] Ainsi, grâce à la lentille 31 orientée pour présenter le premier rayon de courbure Rx dans le premier plan Px et le deuxième rayon de courbure Ry dans le deuxième plan Py et positionnée dans la section de circularité S, le faisceau sortant 5 est ici circulaire et collimaté. Sur la figure 5 le diamètre du faisceau sortant 5 est ainsi globalement constant jusqu'à au troisième plan transverse T3, dans la zone de Rayleigh.

[0059] Comme cela apparait sur les figures 1 et 2, la lentille 31 comprend deux faces optiques opposées. La lentille 31 comprend plus particulièrement une première face optique 32 illuminée par le faisceau amplifié 4 et une deuxième face optique 33 à partir de laquelle le faisceau sortant 5 est émis. En d'autres termes, la première face optique 32 est orientée vers le milieu amplificateur 2 et la deuxième face optique 33 est orientée à l'opposé du milieu amplificateur 2. Ici, les faces optiques 32, 33 sont agencées perpendiculairement à la direction de propagation D. La lentille 31 est agencée de sorte que le faisceau amplifié 4 illumine une surface de la première face optique 32 comprise entre $0,2 \text{ mm}^2$ et $40\,000 \text{ mm}^2$, par exemple entre 9 mm^2 et $10\,000 \text{ mm}^2$. Avantagusement, la lentille 31 présente de petites faces optiques 32, 33, par exemple comprises entre $0,2 \text{ mm}^2$ et 100 mm^2 , ce qui la rend moins couteuse et moins encombrante.

[0060] La lentille 31 présente par exemple une épaisseur comprise entre 2 mm et 4 mm. L'épaisseur de la lentille 31 peut correspondre à sa dimension le long de la direction de propagation D ou encore à la plus petite distance entre la première face optique 32 ou la deuxième face optique 33.

[0061] La lentille 31 comprend aussi un bord périphérique 34 reliant les faces optiques 32, 33. Le bord périphérique 34 peut par exemple présenter un profil carré perpendiculairement à la propagation du faisceau amplifié 4, telle que représentée sur les figures 5 et 6, ou un profil circulaire.

[0062] Dans un premier mode de réalisation représenté en figures 5 et 6, chaque face optique 32, 33 forme respectivement un des rayons de courbure R_x , R_y .

[0063] Ainsi, ici, la première face optique 32 forme le premier rayon de courbure R_x et la deuxième face optique 33 forme le deuxième rayon de courbure R_y . Cela signifie que l'intersection entre la première face optique 32 et le premier plan P_x définit un arc de cercle dont le rayon de courbure est égal au premier rayon de courbure R_x . De la même façon, cela signifie que l'intersection entre la deuxième face optique 33 et le deuxième plan P_y définit un arc de cercle dont le rayon de courbure est égal au deuxième rayon de courbure R_y .

[0064] Bien entendu, de façon équivalente, la première face optique 32 peut former le deuxième rayon de courbure R_y et la deuxième face optique 33 peut former le premier rayon de courbure R_x .

[0065] Avantageusement, dans ce premier mode de réalisation, la lentille 31 peut être fabriquée simplement, à moindre coût et avec une grande précision. Les rayons de courbures R_x , R_y ainsi conçus avec une tolérance inférieure à 1%.

[0066] En effet, comme visible sur la figure 6, chaque face optique 32, 33 s'étend ici selon une surface cylindrique de révolution. En d'autres termes, la première face optique 32 correspond à une partie de la face cylindrique d'un cylindre de révolution dont le rayon est égal au premier rayon de courbure R_x . De même, la deuxième face optique 33 correspond à une partie de la face cylindrique d'un cylindre de révolution dont le rayon est égal au deuxième rayon de courbure R_y .

[0067] Ici, le premier plan P_x étant perpendiculaire au deuxième plan P_y , les faces optiques 32, 33 s'étendent selon des surfaces cylindriques de révolution dont les axes sont orientés orthogonalement l'un par rapport à l'autre. En d'autres termes, la première face optique 32 correspond à une partie de la face cylindrique d'un cylindre de révolution dont l'axe est compris dans le deuxième plan P_y . De même, la deuxième face optique 32 correspond à une partie de la face cylindrique d'un cylindre de révolution dont l'axe est compris dans le premier plan P_x .

[0068] Les parties de face cylindriques précitées dépendent ici de la forme du bord périphérique 34, elles sont donc par exemple carrées ou circulaires.

[0069] En variante de ce premier mode de réalisation, une des faces optiques peut s'étendre selon une surface cylindrique de révolution tandis que l'autre face optique s'étend selon une surface sphérique.

[0070] Dans ce premier mode de réalisation, pour mettre en forme le faisceau amplifié 4 représenté en figures 1 et 2 (qui est divergent dans le premier plan P_x et convergent dans le deuxième plan P_y), la première face optique 32 est convexe et la deuxième face optique 33 est concave. Bien entendu, de façon équivalente, lorsque la première face optique 32 forme le deuxième rayon de courbure R_y et que la deuxième face optique 33 forme le premier rayon de courbure R_x , la première face optique 32 est concave et la deuxième face optique est convexe.

[0071] Dans ce premier mode de réalisation, la lentille 31 présente ici un plan moyen PM situé à mi-distance entre les faces optiques 32, 33. Ce plan moyen PM est par exemple le plan

le mieux ajusté aux faces optiques 32, 33 par une régression du premier ordre. De préférence, le plan moyen PM de de la lentille 31 est confondu avec la section de circularité S du faisceau indicent 4 tel qu'illustré en figure 5. Cela permet d'améliorer l'effet combiné de collimation et de circularisation de la lentille 3.

5 [0072] Dans un deuxième mode de réalisation représenté en figure 7, une des faces optiques 32, 33 est plane et l'autre face optique 32, 33 forme le premier rayon de courbure Rx et le deuxième rayon de courbure Ry.

[0073] Dans l'exemple illustré en figure 7, la première face optique 32 est plane et la deuxième face optique 33 forme à la fois le premier rayon de courbure Rx et le deuxième
10 rayon de courbure Ry. Cela signifie que l'intersection entre la deuxième face optique 33 et le premier plan Px définit un arc de cercle dont le rayon de courbure est égal au premier rayon de courbure Rx et que l'intersection entre la deuxième le deuxième plan Py définit un arc de cercle dont le rayon de courbure est égal au deuxième rayon de courbure Ry.

[0074] Avantageusement, dans ce deuxième mode de réalisation, la lentille 31 est placée de
15 sorte que la deuxième face optique 33 intersecte la section de circularité S. De préférence, la lentille 31 est placée de sorte que la section de circularité S est confondue avec un plan moyen de la deuxième face optique 33. Le plan moyen de la deuxième face optique 33 est par exemple le plan tangent à la deuxième face optique 33 au centre de la deuxième face optique 33 ou encore le plan le mieux ajusté à la deuxième face optique 33 par une régression du
20 premier ordre.

[0075] Ainsi, dans ce deuxième mode de réalisation, la lentille 31 ne génère presque aucun astigmatisme puisque les deux rayons de courbure Rx, Ry sont coplanaires.

[0076] Ici, comme illustré sur la figure 7, la deuxième face optique 33 s'étend selon une surface torique. La deuxième face optique 33 correspond par exemple alors à une partie d'une
25 surface engendrée par la rotation d'un cercle dont le rayon est égal au premier rayon de courbure Rx autour d'une droite située à une distance égale au deuxième rayon de courbure Ry. La partie précitée dépendent ici de la forme du bord périphérique 34, elle est par exemple carrée ou circulaire.

[0077] Dans ce deuxième mode de réalisation, pour mettre en forme le faisceau amplifié 4
30 représenté en figures 1 et 2 (qui est divergent dans le premier plan Px et convergent dans le

deuxième plan P_y), la deuxième face optique 33 est donc à la fois convexe et concave. La deuxième face optique 33 est plus particulièrement convexe dans le premier plan P_x et concave dans le deuxième plan P_y . La deuxième face optique 33 s'étend alors selon une partie surfacique d'un tore ouvert qui est située en regard de l'axe de rotation du tore.

5 [0078] La première face optique 32 est quant à elle de préférence perpendiculaire à la direction de propagation D .

[0079] Quel que soit le mode de réalisation, la lentille 31 est ici réalisée en silice. La lentille 31 peut aussi être réalisée dans un autre verre optique comme le flint ou le crown. La lentille 31 est ici réalisée à partir d'une silice (SiO_2) de qualité électronique. Cela permet de réduire
10 les inclusions qui pourraient être présentes dans la lentille 31 et contribuer à son échauffement lorsqu'elle est éclairée par le faisceau amplifié 4. La teneur en ions OH de la lentille est de préférence faible, par exemple inférieure à 1000 ppm, de manière à ce que la lentille absorbe peu le rayonnement infrarouge ce qui limite son échauffement.

[0080] Ici, la lentille 31 est réalisée dans une silice présentant une absorption inférieure à 10^{-5} cm^{-1} ppm pour une longueur d'onde comprise entre 900 nm et 1100 nm. Le domaine
15 infrarouge étant un domaine privilégié de fonctionnement des systèmes lasers, il est avantageux que la lentille 31 présente une faible absorption dans ce domaine. Ici, l'échauffement de la lentille 31 est ainsi fortement limité lorsque le faisceau amplifié 4 est compris dans la plage de longueurs d'onde précitée.

20 [0081] La lentille 31 est ici fabriquée par usinage à commande numérique par ordinateur, aussi appelé usinage « CNC », ce qui permet de réaliser des faces optiques complexes, par exemple une surface torique telle que celle du deuxième mode de réalisation, avec une haute précision. La fabrication par usinage à commande numérique par ordinateur permet notamment de façonner des surfaces sphériques, asphérique ou encore des surfaces de
25 forme libre. Après usinage, les faces optiques 32, 33 sont polies de manière à ce que leur rugosité est inférieure au quart de la longueur d'onde centrale. Suivant la norme MIL-PRF-13830B, les faces optiques 32, 33 sont polies de manière à ce que la rayure (« scratch ») et le creux (« dig ») soient compris entre 10 et 20. ***les traductions en français des paramètres et leur valeurs vous semblent corrects ?***

[0082] La lentille 31 peut aussi être traitée en appliquant des revêtements sur ses faces optiques 32, 33. La lentille 31 comprend par exemple l'un des revêtements suivants : anti-reflet, un revêtement nano-structuré. De préférence, la revêtement anti-reflet présente une réflectance en incidence normale inférieure à 0,1 % à 1030 nm. Les revêtements sont déposés
5 après le polissage.

[0083] La présente invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et représentés, mais l'homme du métier saura y apporter toute variante conforme à l'invention. Par exemple, le faisceau amplifié peut être divergent (entre le milieu amplificateur et le dispositif optique) à la fois selon le premier plan et selon le deuxième plan. Cela est par
10 exemple le cas lorsque le milieu amplificateur correspond à celui d'une diode laser. Pour un tel faisceau amplifié, il est alors prévu que la lentille présente deux distances focales positives. Lorsque la divergence d'un tel faisceau amplifié n'est pas la même selon le premier ou le deuxième plan, il présente alors aussi une section de circularité au niveau de laquelle la lentille est de préférence placée. Lorsque le milieu amplificateur correspond à celui d'une
15 diode laser, les rayons de courbures sont par exemple compris entre 1 mm et 1000 mm.

Revendications

[Revendication 1] Système laser (1) comprenant :

- un milieu amplificateur (2) solide apte à émettre un faisceau amplifié (4) selon une direction de propagation (D), le faisceau amplifié (4) présentant un premier angle de divergence (A_x) dans un premier plan (P_x) incluant la direction de propagation (D), et un deuxième angle de divergence dans un deuxième plan (P_y) incluant la direction de propagation (D) et distinct du premier plan (P_x), le deuxième angle de divergence étant distinct du premier angle de divergence (A_x) ; et
- un dispositif optique (3),

caractérisé en ce que le dispositif optique (3) comprend une lentille (31) agencée de manière à réfracter le faisceau amplifié (4) en un faisceau sortant (5), la lentille (31) présentant un premier rayon de courbure (R_x) dans le premier plan (P_x) et un deuxième rayon de courbure (R_y) dans le deuxième plan (P_y), le deuxième rayon de courbure (R_y) étant distinct du premier rayon de courbure (R_x).

[Revendication 2] Système laser (1) selon la revendication 1, dans lequel le faisceau sortant (5) présente deux angles de divergences respectivement dans le premier plan (P_x) et dans le deuxième plan (P_y), et dans lequel le premier rayon de courbure (R_x) et le deuxième rayon de courbure (R_y) sont déterminés, sur la base du premier angle de divergence (A_x) et du deuxième angle de divergence, de manière à atteindre au moins un des critères suivants :

- une différence entre les deux angles de divergences du faisceau sortant (5) est inférieure à une première valeur seuil ;
- au moins l'un parmi les deux angles de divergences du faisceau sortant (5) est inférieur à une deuxième valeur seuil.

[Revendication 3] Système laser (1) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le premier rayon de courbure (R_x) et le deuxième rayon de courbure (R_y) sont déterminés de telle sorte que le faisceau sortant (5) est moins astigmatique que le faisceau amplifié (4).

[Revendication 4] Système laser (1) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le faisceau amplifié (4) présente une section de circularité (S) perpendiculaire à la direction de propagation (D) dans laquelle le faisceau amplifié (4) est de forme

circulaire, et dans lequel la lentille (31) est positionnée de manière à intersecter la section de circularité (S).

[Revendication 5] Système laser (1) selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le premier plan (Px) est perpendiculaire au deuxième plan (Py).

5 [Revendication 6] Système laser (1) selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel, entre le milieu amplificateur (2) et le dispositif optique (3) de mise en forme, le faisceau amplifié (4) est divergent dans le premier plan (Px) et convergent dans le deuxième plan (Py).

[Revendication 7] Système laser (1) selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la lentille
10 (31) comprend :
- une première face optique (32) formant le premier rayon de courbure (Rx) ; et
- une deuxième face optique (33), opposée à la première face optique (32), formant le deuxième rayon de courbure (Ry).

[Revendication 8] Système laser (1) selon la revendication 7, dans lequel au moins l'une
15 parmi la première face optique (32) et la deuxième face optique (33) s'étend selon une surface cylindrique de révolution.

[Revendication 9] Système laser (1) selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la lentille
(31) comprend :
- une première face optique plane (32) ; et
20 - une deuxième face optique (33), opposée à la première face optique (32), formant le premier rayon de courbure (Rx) et le deuxième rayon de courbure (Ry).

[Revendication 10] Système laser (1) selon la revendication 9, dans lequel la deuxième face optique (33) s'étend selon une surface torique.

[Revendication 11] Système laser (1) selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel le
25 premier rayon de courbure (Rx) et le deuxième rayon de courbure (Ry) sont chacun compris entre 1 mm et 1000 mm.

[Revendication 12] Système laser (1) selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel le faisceau amplifié (4) comprend une longueur d'onde centrale, et dans lequel la lentille

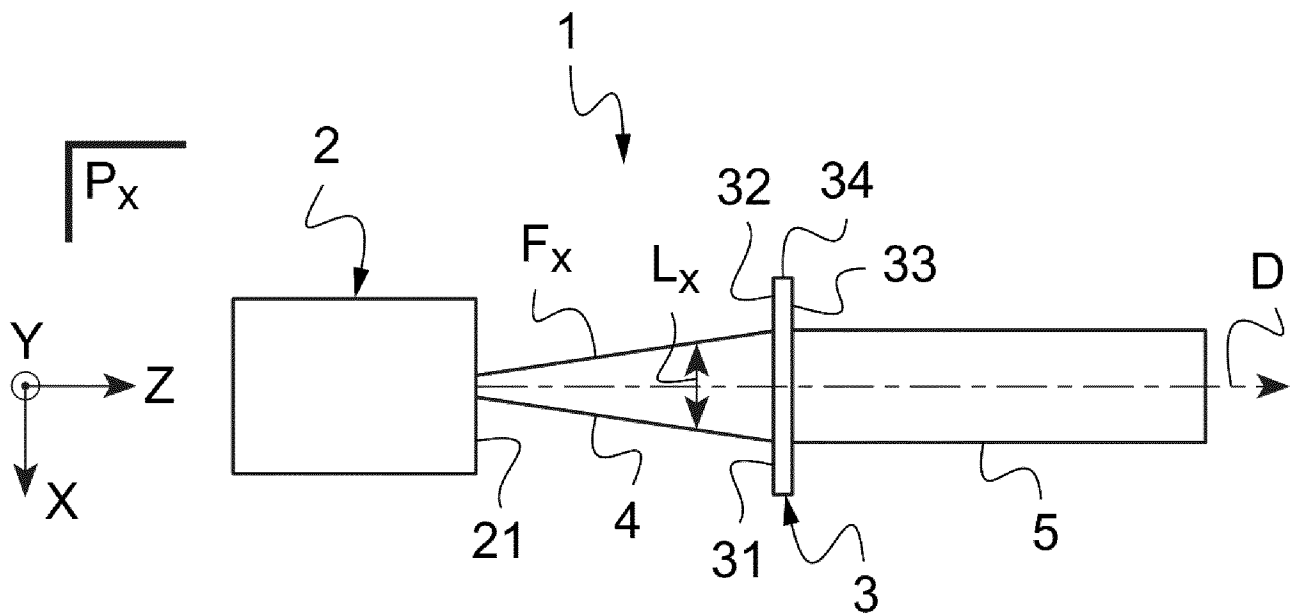
(31) comprend des faces optiques (32, 33) dont la rugosité est inférieure au quart de la longueur d'onde centrale.

[Revendication 13] Système laser (1) selon l'une des revendications 1 à 12, dans lequel la lentille (31) est réalisée dans une silice présentant une absorption inférieure à 10^{-5} cm^{-1} pour une longueur d'onde comprise entre 900 nm et 1100 nm.

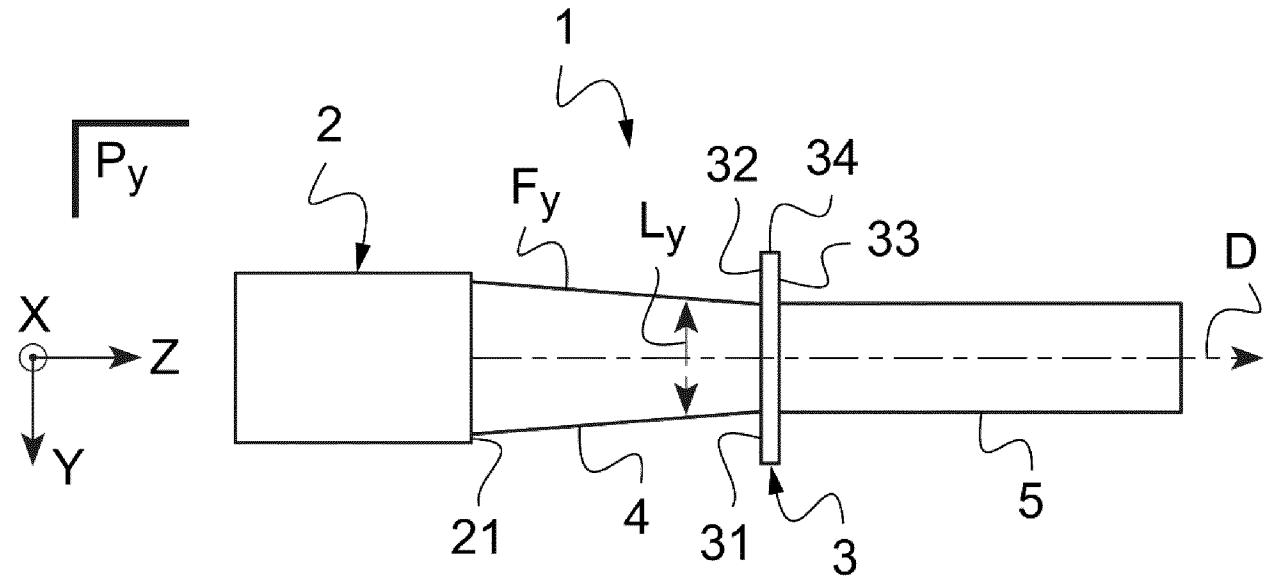
[Revendication 14] Système laser (1) selon l'une des revendications 1 à 13, dans lequel le faisceau amplifié (4) présente un profil gaussien selon une direction transverse perpendiculaire à la direction de propagation (D).

[Revendication 15] Système laser (1) selon l'une des revendications 1 à 14, dans lequel le dispositif optique (3) de mise en forme est constitué de la lentille (31).

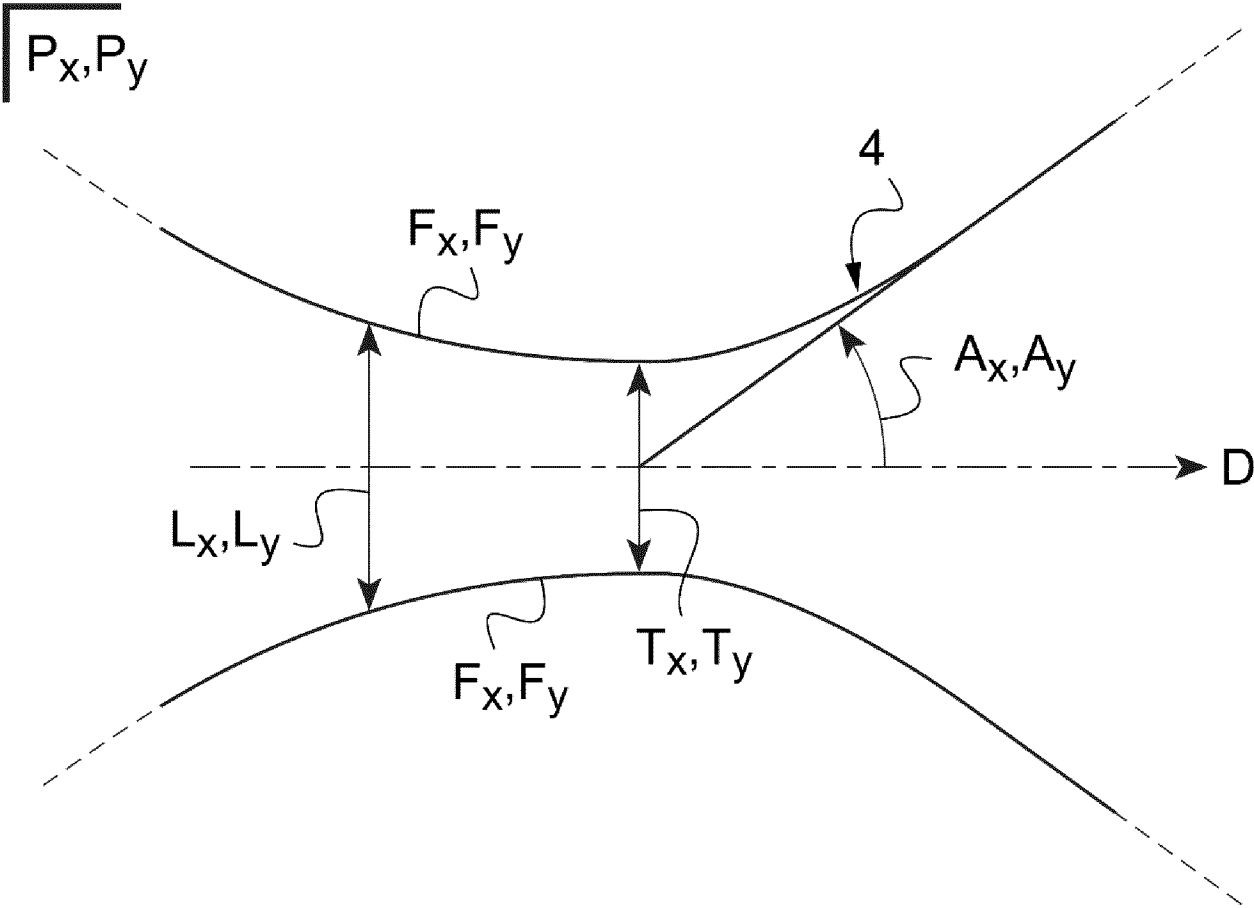
[Fig. 1]



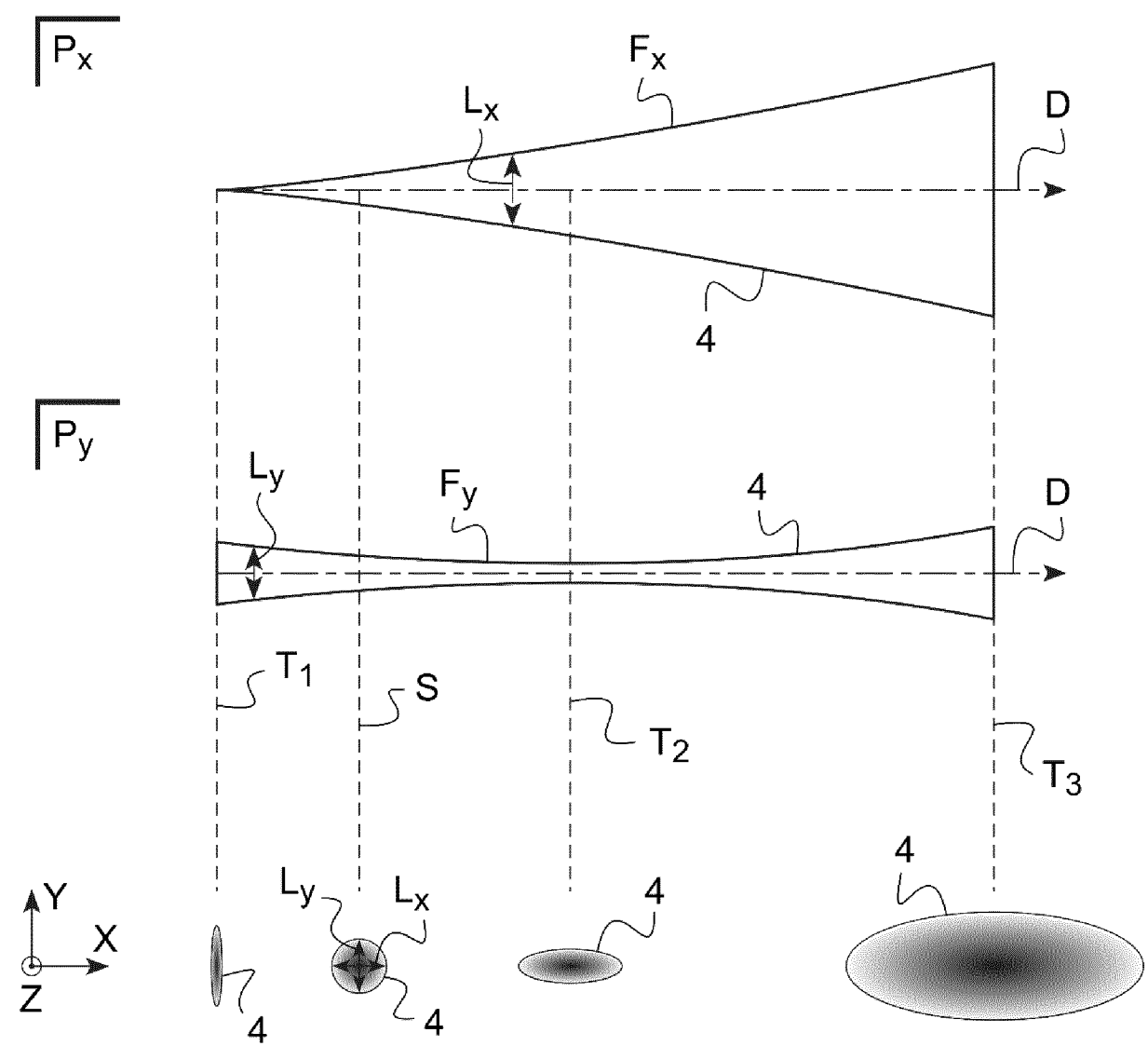
[Fig. 2]



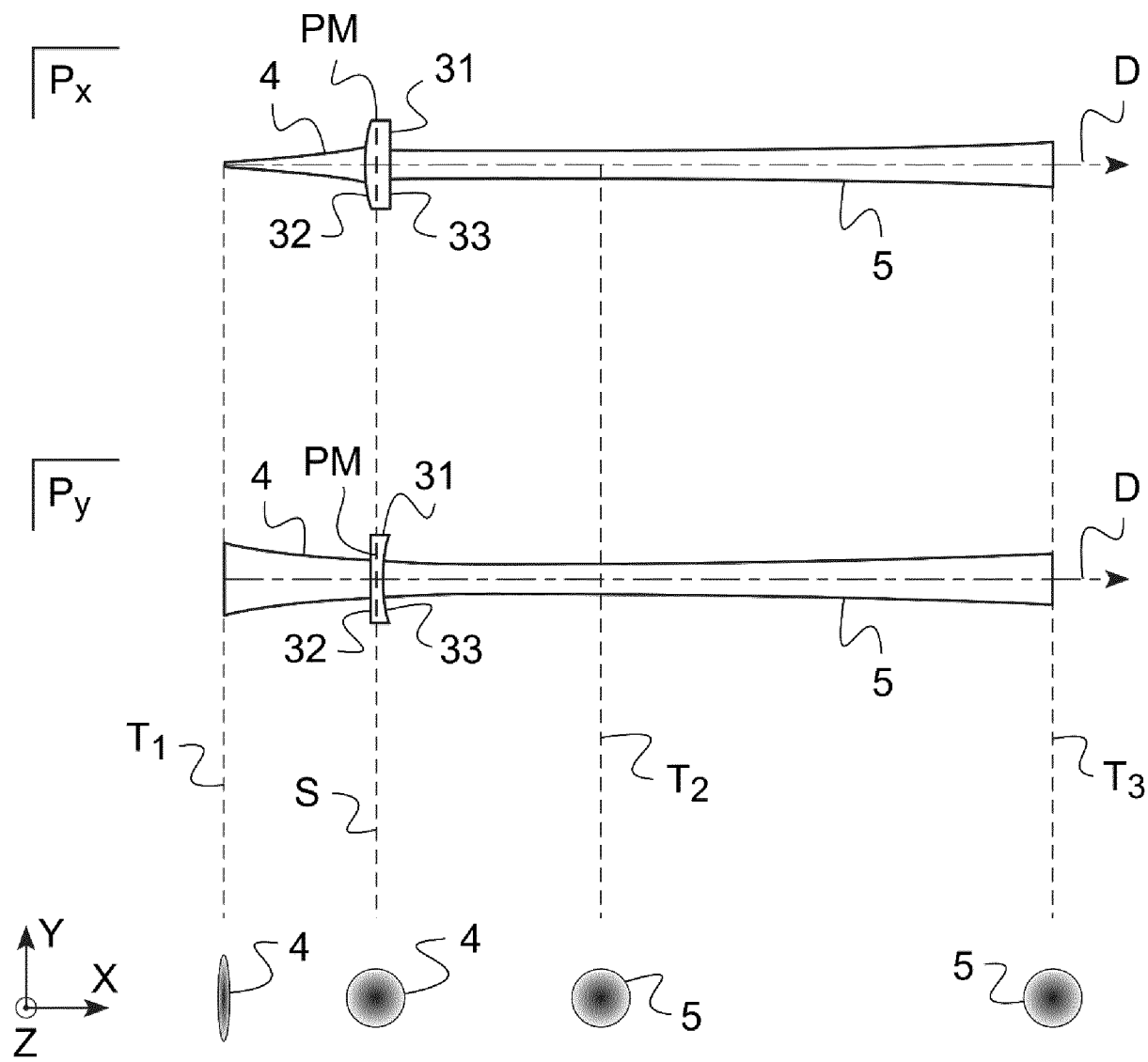
[Fig. 3]



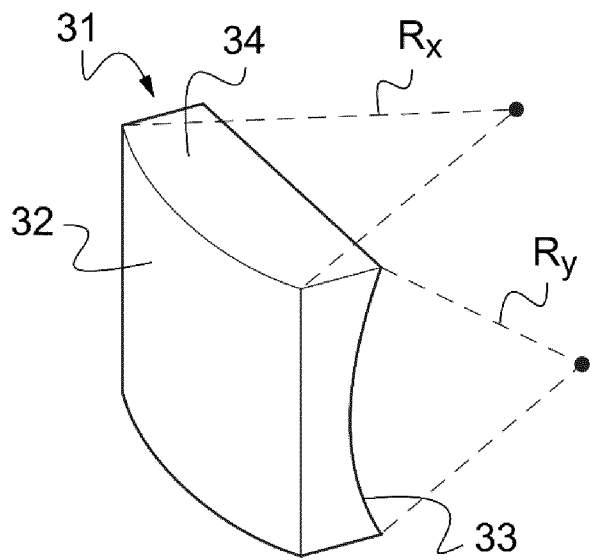
[Fig. 4]



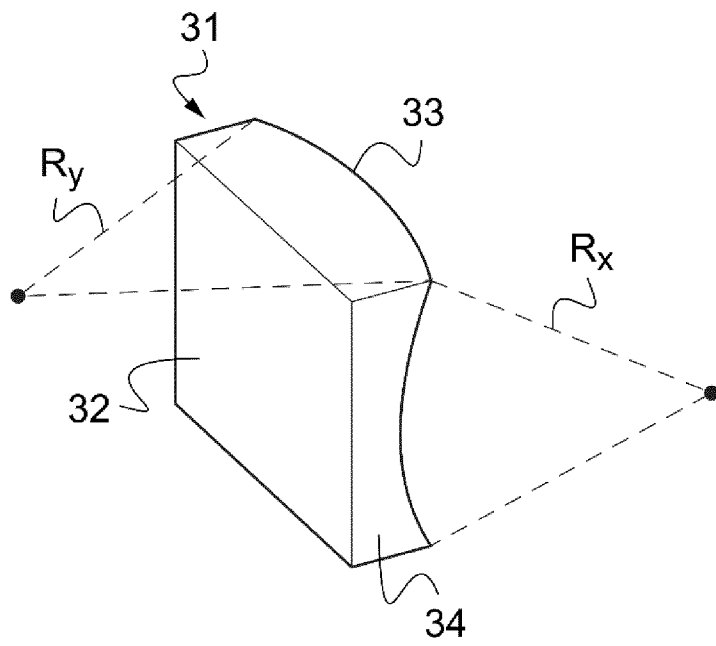
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/081008**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****H01S 3/00**(2006.01)i; **H01S 3/06**(2006.01)i; **H01S 3/16**(2006.01)i

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, 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	US 4915484 A (YAMAMOTO YOSHIHARU [JP]) 10 April 1990 (1990-04-10) summary of the invention; figures 9a and 9b	1-3,5-8,11-15
X	US 5790576 A (WAARTS ROBERT G [US] ET AL) 04 August 1998 (1998-08-04) figures 1-4	1,4
X	JP 2003066368 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LAB) 05 March 2003 (2003-03-05) figure 11	1,7,8
X	US 6075650 A (MORRIS G MICHAEL [US] ET AL) 13 June 2000 (2000-06-13) figures 2A and 2B	1
X	US 2017357097 A1 (HEINRICH ARNE [AT] ET AL) 14 December 2017 (2017-12-14) figures 9 and 10	1,9,10

☐ 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

10 January 2024

Date of mailing of the international search report

24 January 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Lendroit, Stéphane

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/081008

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	4915484	A	10 April 1990	DE	3852416	T2	20 July 1995
				EP	0286368	A2	12 October 1988
				US	4915484	A	10 April 1990
US	5790576	A	04 August 1998	US	5790576	A	04 August 1998
				US	6222864	B1	24 April 2001
JP	2003066368	A	05 March 2003	JP	3977038	B2	19 September 2007
				JP	2003066368	A	05 March 2003
				US	2003058916	A1	27 March 2003
				US	2013323866	A1	05 December 2013
				US	2014220768	A1	07 August 2014
				US	2017212354	A1	27 July 2017
				US	2018188546	A1	05 July 2018
				US	2018188546	A1	05 July 2018
US	6075650	A	13 June 2000	AU	3471899	A	25 October 1999
				US	6075650	A	13 June 2000
				WO	9952008	A1	14 October 1999
US	2017357097	A1	14 December 2017	NONE			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2023/081008

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01S3/00 H01S3/06 H01S3/16 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01S		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, INSPEC, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 4 915 484 A (YAMAMOTO YOSHIHARU [JP]) 10 avril 1990 (1990-04-10) summary of the invention; figures 9a, 9b -----	1-3, 5-8, 11-15
X	US 5 790 576 A (WAARTS ROBERT G [US] ET AL) 4 août 1998 (1998-08-04) figures 1-4 -----	1, 4
X	JP 2003 066368 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LAB) 5 mars 2003 (2003-03-05) figure 11 -----	1, 7, 8
X	US 6 075 650 A (MORRIS G MICHAEL [US] ET AL) 13 juin 2000 (2000-06-13) figures 2A, 2B ----- -/-	1
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe	
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 10 janvier 2024	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 24/01/2024	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Lendroit, Stéphane

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2023/081008

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2017/357097 A1 (HEINRICH ARNE [AT] ET AL) 14 décembre 2017 (2017-12-14) figures 9,10 -----	1, 9, 10

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2023/081008

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4915484	A	10-04-1990	DE 3852416 T2	20-07-1995
			EP 0286368 A2	12-10-1988
			US 4915484 A	10-04-1990

US 5790576	A	04-08-1998	US 5790576 A	04-08-1998
			US 6222864 B1	24-04-2001

JP 2003066368	A	05-03-2003	JP 3977038 B2	19-09-2007
			JP 2003066368 A	05-03-2003
			US 2003058916 A1	27-03-2003
			US 2013323866 A1	05-12-2013
			US 2014220768 A1	07-08-2014
			US 2017212354 A1	27-07-2017
			US 2018188546 A1	05-07-2018

US 6075650	A	13-06-2000	AU 3471899 A	25-10-1999
			US 6075650 A	13-06-2000
			WO 9952008 A1	14-10-1999

US 2017357097	A1	14-12-2017	AUCUN	
