

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/134993 A1

(43) Date de la publication internationale
1 septembre 2016 (01.09.2016)

WIPO | PCT

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

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2016/053083

(22) Date de dépôt international :
12 février 2016 (12.02.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1551694 27 février 2015 (27.02.2015) FR

(71) Déposants : ECOLE POLYTECHNIQUE [FR/FR];
Route de Saclay, 91120 Palaiseau (FR). COMMISARIAT
A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES AL-
TERNATIVES [FR/FR]; Bâtiment Le Ponant, D 25 R Le-
blanc, 75015 Paris (FR). PHASICS [FR/FR]; 4 Avenue
Chevalier, 91450 Soisy sur Seine (FR).

(72) Inventeurs : CHERIAUX, Gilles; 7 allée Charles Chaplin,
94260 Fresnes (FR). MENNERAT, Gabriel; 10 rue Al-
phonse Pécard, 91190 Gif-sur-Yvette (FR). FRENEAUX,
Antoine; 17 avenue d'Italie appartement 184, 75013 Paris
(FR). GIAMBRUNO, Fabio; 72 rue Vasco de Gama,

75015 Paris (FR). WATTELLIER, Benoit; 12 rue de la
Véga Bâtiment Cartier, 75012 Paris (FR).

(74) Mandataire : WINDAL, Gaëlle; Technopôle Atalante,
16B rue de Jouanet - BP, 35703 Rennes Cedex 7 (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, CZ, DE, 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) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (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, 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).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : DEVICE FOR ABSORBING INTERFERING TRANSVERSE BEAMS IN A SOLID-STATE OPTICAL AMPLIFIER, AND CORRESPONDING OPTICAL AMPLIFICATION DEVICE

(54) Titre : DISPOSITIF D'ABSORPTION DE FAISCEAUX PARASITES TRANSVERSES DANS UN AMPLIFICATEUR OPTIQUE SOLIDE, ET DISPOSITIF D'AMPLIFICATION OPTIQUE CORRESPONDANT

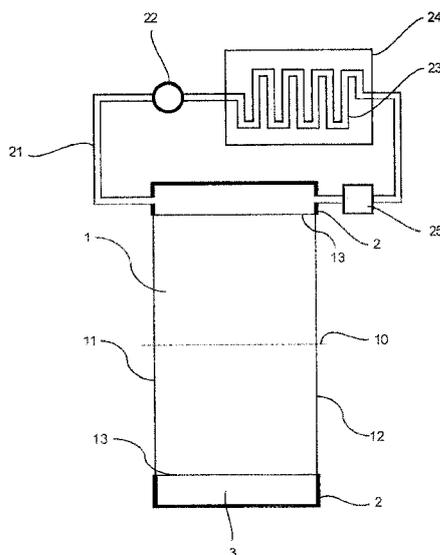


Fig. 2

(57) Abstract : The invention relates to a device for absorbing transverse interfering beams - ASE - in a solid-state optical amplifier (1), including a tank (2) for placing a liquid (3) in contact with a surface (13) of said amplifier (1), including means for modifying the physical properties of said liquid (3), thus bringing the index value of said liquid (3) closer to the index value of said solid-state optical amplifier (1).

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif d'absorption de faisceaux parasites - ASE - transverses dans un amplificateur optique solide (1), comprenant un réservoir (2) permettant de mettre en contact un liquide (3) avec une surface (13) dudit amplificateur (1), comprenant des moyens de modification des propriétés physiques dudit liquide (3), rapprochant la valeur de l'indice dudit liquide (3) de la valeur de l'indice dudit amplificateur optique solide (1).

WO 2016/134993 A1

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

Dispositif d'absorption de faisceaux parasites transverses dans un amplificateur optique solide, et dispositif d'amplification optique correspondant

5 **1. Domaine de l'invention**

La présente invention concerne l'amplificateur optique d'un laser. En particulier, la présente invention concerne un milieu amplificateur solide, ou cristallin, d'un laser, permettant d'amplifier la lumière par émission stimulée de photons.

10 L'invention s'applique en particulier aux milieux amplificateurs solides permettant la mise en œuvre de lasers à impulsions de forte puissance.

De façon particulière, l'invention concerne un dispositif d'absorption de faisceaux parasites transverses pouvant équiper de tels amplificateurs optiques.

2. Art antérieur

15 ***Principe de l'amplification laser***

Une source laser, encore appelée laser, (acronyme de l'anglais « *light amplification by stimulated emission of radiation* », signifiant « amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement ») est un dispositif qui comprend notamment un amplificateur optique basé sur l'effet laser.

20 Cet amplificateur optique est un milieu actif dans lequel des atomes, des ions ou des molécules peuvent prendre au moins deux états d'énergie : un état d'énergie fondamental et un état d'énergie excité.

Lorsque le milieu actif est en équilibre naturel selon la loi de Boltzmann, les électrons sont majoritairement localisés sur les niveaux d'énergie les plus bas des atomes, ions ou molécules de ce milieu actif. En d'autres termes, les niveaux d'énergie les plus bas sont les plus peuplés.

25 Ces atomes, ions ou molécules peuvent passer de leur état fondamental à leur état excité lorsqu'ils sont éclairés par un rayonnement électromagnétique (lumière) d'une fréquence adaptée, en prélevant l'énergie correspondante sur ce rayonnement. Un pompage de l'amplificateur optique, consistant par exemple en

30

un éclairage de cet amplificateur par une lumière d'une longueur d'onde adaptée (pompage optique), permet de faire passer dans leur état excité une grande partie des atomes, ions ou molécules participant à l'amplification optique.

5 S'ils reçoivent un photon, appelé « photon incident », d'un rayonnement électromagnétique incident, les atomes, ions ou molécules qui sont dans leur état excité se désexcitent, en repassant dans leur état fondamental. Ils émettent alors un photon de même longueur d'onde et de même phase que le photon incident. Une telle émission est cohérente, et le photon émis vient s'ajouter au photon incident.

10 Ce phénomène, appelé « émission stimulée de rayonnement », est à la base de l'amplification optique laser.

Les atomes, ions ou molécules qui sont dans leur état excité peuvent également se désexciter spontanément, en repassant dans leur état fondamental. Ils émettent alors un photon dans une phase aléatoire et dans une direction aléatoire.
15 Ce phénomène, appelé « émission spontanée de rayonnement », entraîne l'émission de photons qui traversent le milieu amplificateur en générant une fluorescence de ce milieu amplificateur.

Pompage d'un milieu d'amplification

La production d'une impulsion laser de grande puissance nécessite qu'une
20 impulsion laser incidente traverse un milieu amplificateur qui est le plus souvent un milieu amplificateur solide, ou cristallin, constitué par un cristal, un verre ou une céramique dopé par des ions, c'est à dire incluant des ions susceptibles de prendre un état fondamental et un état excité. Pour augmenter fortement la puissance de l'impulsion laser, des verres ou des cristaux de grande taille peuvent
25 être utilisés. Ce milieu amplificateur solide est appelé « cristal » dans la suite de la description.

Préalablement à l'émission dans le cristal de l'impulsion incidente à amplifier, le cristal subit un pompage, c'est à dire que les ions reçoivent une énergie, généralement sous forme de lumière d'une longueur d'onde adaptée,
30 permettant à une grande partie d'entre eux de passer dans leur état excité. Les ions

restent en général dans leur état excité pendant quelques nanosecondes à quelques millisecondes.

L'impulsion incidente à amplifier est ensuite envoyée dans le cristal, de préférence au moment où un maximum d'ions sont dans un état excité. Les photons de cette impulsion, arrivant sur un ion placé dans un état excité, entraîne l'émission par cet ion d'un photon de même longueur d'onde, dans la même direction. L'impulsion d'origine est donc amplifiée par ce nouveau photon. Pour bénéficier au maximum de l'amplification dans le cristal, l'impulsion parcourt avantagusement une portion du cristal, appelée par la suite « zone d'amplification », qui représente avantagusement la quasi-totalité de ce cristal.

Conséquence d'une émission spontanée

Avant que l'impulsion incidente traverse le cristal pour être amplifiée, chacun des ions dans l'état excité peut spontanément passer de l'état excité à l'état stable, par l'émission spontanée d'un photon, appelé par la suite « photon parasite ». Ce photon parasite étant émis dans une direction aléatoire, il peut sortir du cristal par l'une de ses parois, en générant une fluorescence.

Ce photon parasite peut également, s'il rencontre un ion dans son état excité, provoquer l'émission forcée par cet ion d'un photon de même longueur d'onde dans la même direction. Un faisceau parasite, ou impulsion parasite, comprenant plusieurs photons se forme alors, qui peut s'amplifier progressivement en traversant le cristal. Cette amplification de l'impulsion parasite est plus importante dans les cristaux de grande taille, dans lesquels l'impulsion peut parcourir un trajet plus important dans le cristal excité avant d'atteindre une paroi du cristal.

Cette impulsion parasite circulant dans une direction aléatoire, elle peut sortir de la zone d'amplification du cristal et arriver sur une paroi latérale du cristal, qui n'est pas prévue pour être atteinte par l'impulsion laser à amplifier. Au niveau de cette paroi latérale, la plus grande partie de cette impulsion (de l'ordre de 99%) sort du matériau laser. Cependant, une faible partie (de l'ordre de 1%) peut être réfléchiée dans le matériau laser. En effet, la paroi latérale, bien que

normalement conçue pour ne pas réfléchir la lumière, peut pourtant présenter une faible réflexion ou une rétrodiffusion, liée notamment à l'angle d'incidence de l'impulsion parasite.

5 Quand le cristal laser présente des dimensions inférieures à une dimension critique, la part réfléchie de cette impulsion parasite, qui est amenée à traverser de nouveau la zone d'amplification du cristal, ne voit pas un grand gain transverse et présente alors une intensité très faible. Elle n'entraîne du coup le passage à l'état fondamental que d'un nombre limité des ions excités. Cette impulsion parasite n'a donc que peu d'incidence sur l'état d'excitation du cristal, et sa capacité à
10 à amplifier l'impulsion incidente à amplifier, dans la mesure où une grande majorité des ions restent dans un état excité.

Lasage parasite transverse

Dans les cristaux laser de très grandes dimensions, tel que le cristal 1 cylindrique représenté schématiquement par la figure 1 en vue de coupe passant
15 par son axe 10, un photon 101 émis spontanément par un ion 100 traverse une distance relativement importante de la zone d'amplification du cristal 1, éventuellement en se réfléchissant sur une surface 11 ou 12 prévue pour permettre à l'impulsion incidente à amplifier de traverser le cristal, et sur laquelle l'impulsion parasite peut se réfléchir totalement (réflexion totale interne), avant de
20 sortir de la zone d'amplification du cristal pour rencontrer la paroi latérale périphérique 13, qui n'est pas prévue pour être atteinte par l'impulsion à amplifier.

Lors de ce trajet, une impulsion parasite 102 de puissance relativement importante se forme, dont la plus grande partie 103 sort du cristal 1 au niveau de
25 la face latérale 12 de celui-ci. Cependant, la part 104 de cette impulsion parasite qui est réfléchie dans la zone d'amplification du cristal, qui présente une puissance de l'ordre de 1% de l'impulsion parasite incidente 102, peut présenter une puissance significative. Cette impulsion parasite réfléchie 104 traverse de nouveau la zone d'amplification du cristal 1, dans laquelle elle est de nouveau
30 amplifiée au contact d'ions excités, avant de sortir de nouveau de la zone

d'amplification du cristal pour rencontrer de nouveau la face latérale 13 au niveau de laquelle une part 106 de l'impulsion sort du cristal 1 et une part 107 est réfléchie.

Si le cristal 1 possède des dimensions supérieures à une dimension critique, le gain G de l'impulsion parasite entre les deux faces latérales 12 et 13, qui s'exprime sous la forme $G = e^{\alpha L}$, (avec α , paramètre dépendant du matériau utilisé et L longueur du parcours de l'impulsion dans le cristal, entre deux faces latérales 12 et 13) est supérieur à la perte d'énergie des impulsions parasites réfléchies 104 et 107 par une paroi latérale, par rapport à l'impulsion parasite incidente respectivement 102 et 105. L'impulsion parasite présente alors une puissance augmentant au cours de chacune de ses traversées du cristal 1 et fait passer, pour son amplification, la plus grande partie des ions excités dans leur état fondamental.

Ce phénomène, appelé « lasage parasite transverse », empêche l'amplification ultérieure dans le cristal de l'impulsion incidente à amplifier, par déplétion des niveaux d'énergie excités.

Solutions d'optimisation connues

Pour pouvoir utiliser des cristaux de plus grande dimension, permettant une amplification optique d'une impulsion incidente, sans que ce lasage parasite transverse se produise, on a cherché à minimiser le coefficient de réflexion du faisceau parasite transverse sur les faces latérales du cristal.

Une première solution proposée a consisté à dépolir ces faces latérales, pour que la réflexion se fasse de façon diffuse, dans des directions aléatoires, plutôt que sous la forme d'une impulsion réfléchie unique. Cette adaptation a permis d'augmenter légèrement la taille des cristaux sans que se produise ce lasage parasite transverse.

D'autres solutions proposées ont visé à augmenter le coefficient de transmission de l'impulsion parasite hors du cristal laser, au niveau des faces latérales.

Il a pour cela été proposé de mettre en contact avec les faces latérales du cristal un liquide d'indice, présentant un indice le plus proche possible de celui du cristal, et dans lequel est introduit un matériau absorbant permettant d'absorber la partie de l'impulsion parasite transmise. Cette solution a permis de diminuer la réflexion au niveau des faces latérales, et donc d'augmenter de façon sensible la taille des cristaux laser sans que se produise un lasage parasite transverse. Elle présente cependant des limites.

D'une part, en effet, l'adaptation d'indice ne peut pas être parfaite. En effet, l'indice du liquide d'indice varie avec sa température et sa pression. La température de ce liquide étant susceptible d'augmenter lorsqu'il absorbe les impulsions parasites, l'indice du liquide évolue. Il reste donc, entre le cristal et le liquide d'indice, une légère différence d'indice entraînant une réflexion partielle de l'impulsion parasite incidente. Par ailleurs, les liquides d'indice qui peuvent présenter un indice très proche de ceux des cristaux sont peu stables sur de longues durées. Il est donc difficile d'assurer un indice adapté sur une période longue. Enfin, de tels liquides d'indice sont très onéreux, spécialement quand on souhaite une grande précision de leur indice.

Il existe donc un besoin de nouvelles solutions techniques pour éviter le lasage parasite transverse, pouvant être mises en œuvre en remplacement des solutions connues ou en combinaison avec celles-ci, afin de permettre l'utilisation efficace de cristaux d'amplification optique de plus grande dimension pour l'amplification d'impulsions laser plus énergétiques.

3. Objectifs de l'invention

La présente invention a pour objectif de palier ces inconvénients de l'art antérieur.

En particulier, la présente invention a pour objectif de fournir des solutions techniques permettant d'éviter le lasage parasite transverse dans un cristal d'amplification optique, pouvant être mises en œuvre en remplacement des solutions connues ou en combinaison avec celles-ci, afin de permettre l'utilisation

efficace de cristaux d'amplification optique de plus grande dimension pour l'amplification d'impulsions laser.

Un autre objectif de l'invention est de fournir une telle solution qui puisse être mise en œuvre particulièrement facilement, et pour des coûts très réduits.

5 Encore un autre objectif de l'invention est de proposer un cristal d'amplification optique de grande dimension permettant l'amplification d'impulsions laser, avec un risque réduit que se produise un phénomène de lasage parasite transverse.

4. Exposé de l'invention

10 Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront plus clairement par la suite sont atteints à l'aide d'un dispositif d'absorption de faisceaux parasites transverses dans un amplificateur optique solide, comprenant un réservoir permettant de mettre en contact un liquide avec une surface dudit amplificateur, et qui comprend, selon l'invention, des moyens de modification des propriétés
15 physiques dudit liquide, rapprochant la valeur de l'indice dudit liquide de la valeur de l'indice dudit amplificateur optique solide.

 Il est ainsi possible, en agissant en temps réel sur les propriétés physiques du liquide, d'adapter l'indice du liquide à l'indice de l'amplificateur optique solide avec une plus grande précision que dans l'art antérieur. Une plus grande
20 proportion de la lumière des faisceaux parasites transverses peut ainsi sortir de l'amplificateur optique solide et être évacuée par le liquide, ce qui permet d'éviter que cette lumière cause un phénomène de lasage parasite transverse. L'utilisation d'un dispositif d'absorption selon l'invention permet ainsi d'augmenter la puissance et les dimensions d'un amplificateur optique solide sans être limité par
25 le risque de lasage parasite transverse.

Avantageusement, lesdits moyens de modification des propriétés physiques dudit liquide comprennent des moyens de modification de la température dudit liquide.

 Il est ainsi très facile de modifier l'indice du liquide pour l'adapter à
30 l'indice de l'amplificateur optique solide.

Selon un mode de réalisation possible de l'invention, lesdits moyens de modification des propriétés physiques dudit liquide comprennent des moyens de chauffage dudit liquide.

5 Selon un autre mode de réalisation possible de l'invention, lesdits moyens de modification des propriétés physiques dudit liquide comprennent des moyens de refroidissement dudit liquide.

Bien évidemment, il est également possible de combiner des moyens de chauffage et des moyens de refroidissement, pour mieux contrôler l'indice du liquide.

10 Avantageusement, lesdits moyens de modification des propriétés physiques dudit liquide comprennent une canalisation permettant de conduire ledit liquide dudit réservoir vers lesdits moyens de modification de la température, et de ramener ledit liquide vers ledit réservoir.

15 Ces moyens de modification de la température peuvent être constitués par un radiateur, permettant de chauffer ou de refroidir le fluide.

De préférence, le dispositif d'absorption comprend une pompe permettant d'entraîner ledit liquide dans ladite canalisation.

20 Avantageusement, lesdits moyens de mesure de l'indice dudit liquide sont placés sur ladite canalisation, de façon à mesurer l'indice du liquide circulant dans ladite canalisation.

Selon un mode de réalisation alternatif de l'invention, lesdits moyens de modifications des propriétés physiques dudit liquide comprennent des moyens de modification de la pression dudit liquide.

25 Selon un mode de réalisation alternatif de l'invention, le dispositif d'absorption comprend en outre des moyens de mesure d'une variation d'indice dudit liquide. Avantageusement, lesdits moyens de mesure d'une variation d'indice dudit liquide comprennent des moyens de comparaison de l'indice dudit liquide avec l'indice d'un matériau d'indice identique à celui dudit amplificateur optique solide.

Il est ainsi possible d'adapter le plus précisément possible l'indice de l'amplificateur optique solide et l'indice du liquide.

De préférence, lesdits moyens de mesure d'une variation de l'indice comprennent des moyens d'émission d'un faisceau lumineux à travers ledit liquide et à travers ledit matériau, ledit faisceau comprenant au moins deux sous-faisceaux traversant des épaisseurs différentes dudit liquide et dudit matériaux, et des moyens de mesure du front d'onde desdits sous-faisceaux.

De tels moyens de mesure d'une variation de l'indice permettent une mesure facile et très précise de la différence d'indice entre l'amplificateur optique solide et le liquide.

La présente invention concerne également un dispositif d'amplification optique comprenant un amplificateur optique solide pouvant être pompé pour permettre l'amplification optique d'une impulsion lumineuse incidente à amplifier, comprenant au moins une zone d'amplification, prévue pour être traversée par ladite impulsion lumineuse incidente à amplifier, et au moins une paroi latérale, en dehors de ladite zone d'amplification, le dispositif d'amplification optique comprenant également un dispositif d'absorption du lasage parasite transverse tel que décrit ci-dessus, dont ledit réservoir met en contact ledit liquide avec ladite paroi latérale de l'amplificateur optique solide.

Un tel amplificateur optique est peu sujet au lasage parasite transverse, même si ses dimensions et sa puissance sont importantes.

Avantageusement, ladite zone d'amplification de cet amplificateur optique est constituée par un cristal de saphir dopé par des ions Titane.

5. Liste des figures

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description suivante de modes de réalisation préférés, donnés à titre illustratif et non limitatif, et accompagnée de figures, parmi lesquelles :

- la figure 1, qui a été décrite ci-dessus, est une vue de coupe schématique d'un cristal d'amplification optique selon l'art antérieur ;

- la figure 2 est une vue de coupe schématique d'un cristal d'amplification optique équipé d'un dispositif d'absorption de faisceaux parasites transverses selon un mode de réalisation possible de l'invention ;
- 5 – la figure 3 représente une cellule de mesure de variation d'indice mise en œuvre dans le dispositif d'absorption de faisceaux parasites transverses de la figure 1.

6. Description d'un mode de réalisation de l'invention

6.1. Amplificateur optique solide

10 La figure 2 représente une vue de coupe schématique d'un amplificateur optique solide, appelé par la suite cristal d'amplification optique, qui est équipé d'un dispositif d'absorption de faisceaux parasites transverses selon un mode de réalisation de l'invention.

15 Ce cristal 1, similaire à celui de la figure 1, présente une forme de cylindre de révolution d'axe 10. Il est constitué d'un milieu solide comme un cristal, un verre, ou une céramique, qui est dopé par des ions, par exemple des ions Nd, Yb, Ti, Cr, Pr, Er, Tm, qui constituent le milieu laser. De préférence, ce cristal 1 est constitué de saphir dopé par des ions de titane.

20 Les deux faces planes 11 et 12 de ce cristal 1 sont destinées à permettre l'entrée et la sortie de l'impulsion incidente à amplifier dans le cristal 1. Ce cristal 1 présente des grandes dimensions, pour pouvoir amplifier très fortement une impulsion incidente à amplifier, quand il est pompé par un dispositif approprié connu de l'homme du métier. Pour être amplifiée, cette impulsion incidente traverse le cristal 1 depuis la face plane 11 vers la face plane 12, sans entrer en contact avec la paroi latérale périphérique 13 du cristal.

25 En revanche, en cas d'émission spontanée d'un photon parasite par un ion excité du cristal 1, ce photon parasite, et éventuellement le faisceau lumineux parasite causé par l'amplification optique de ce photon parasite peut sortir de la zone d'amplification et arriver sur cette paroi latérale périphérique 13, après avoir traversé une partie du cristal 1.

30

6.2. Dispositif d'absorption de faisceaux parasites transverses

Selon l'invention, ce cristal 1 est équipé d'un dispositif d'absorption des faisceaux parasites transverses, visant à réduire au maximum la proportion des photons, ou faisceaux parasites, qui sont réfléchis par la paroi latérale périphérique 13 vers l'intérieur du cristal 1.

Ce dispositif d'absorption des faisceaux parasites transverses comprend un réservoir périphérique 2, entourant la paroi latérale périphérique 13, permettant de maintenir un liquide 3 en contact permanent avec la totalité de la paroi périphérique 13. Ce liquide 3 est un liquide d'indice de réfraction proche de l'indice du cristal et contenant un matériau absorbant la lumière pouvant être, par exemple, un colorant ou une poudre colorée en suspension dans le liquide d'indice.

Un tel dispositif d'absorption de faisceaux parasites permet que les faisceaux parasites incidents, venant en contact avec la paroi latérale périphérique 13, soient absorbés par le liquide 3 au lieu d'être réfléchis par cette paroi latérale périphérique 13. Il est cependant nécessaire, pour éviter la réflexion, que l'indice du liquide soit le plus proche possible de l'indice du cristal.

6.3. Modification de l'indice du liquide

Pour que l'indice du liquide 3 soit le plus proche possible de l'indice du cristal 1, il est prévu selon un mode de réalisation de l'invention que le dispositif d'absorption de faisceaux parasites transverses comprenne un circuit de modification de la température du liquide d'indice 3 permettant de la réguler au cours du temps. Ce circuit de modification comprend une conduite 21 s'ouvrant sur le réservoir 2. Le liquide circule dans cette conduite 21 sous l'action d'une pompe 22, et est acheminé jusqu'à un radiateur 24. Dans le radiateur 24, le liquide d'indice circule dans une canalisation 23 qui est en contact avec un fluide ou corps chaud, ou avec un fluide ou corps froid, de façon à réchauffer ou à refroidir le fluide passant dans la canalisation 23. Une modification de la température du liquide d'indice entraîne une modification de son indice. Ainsi, pour les liquides

d'indice couramment utilisés, l'indice de réfraction varie usuellement d'environ - $7 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$.

Selon une première variante de ce mode de réalisation, un tel circuit de modification des propriétés physiques du liquide est par exemple mis en œuvre en cas d'observation préalable, au sein du cristal 1, d'un signal de lasage parasite transverse résultant des impulsions de pompage. Une telle observation mettant par exemple en œuvre une mesure de ce signal de lasage parasite transverse, et optionnellement une minimisation de la valeur mesurée de ce signal.

Selon une deuxième variante de ce mode de réalisation tel qu'illustré sur la figure 2, après son passage dans le radiateur, le fluide passe dans une cellule de mesure d'une variation d'indice 25.

En fonction de l'écart d'indice entre le liquide 3 et le cristal 1, qui est mesurée par la cellule de mesure d'une variation d'indice 25, des moyens de calcul adaptés (non représentés) permettent de déterminer les modifications de la température du liquide d'indice qui sont nécessaires pour adapter l'indice du liquide à l'indice du cristal 1.

Cette modification de température peut être apportée en faisant varier la température du fluide en contact avec les canalisations 23, dans le radiateur 24, ou en faisant varier le débit de la pompe 22. Il est ainsi possible de faire varier la température du liquide sur une plage de l'ordre de quelques degrés Celcius à quelques dizaines de degrés Celcius. De préférence, le liquide d'indice est initialement choisi avec un indice légèrement supérieur à l'indice du cristal, et la modification de température est un chauffage du liquide permettant de réduire son indice. Il est cependant également possible de refroidir le liquide pour augmenter son indice, en évitant les refroidissements trop important risquant de figer le liquide d'indice. L'indice du liquide peut ainsi, après modification de sa température, ne différer de l'indice du cristal que de moins de quelques 10^{-4} .

6.4. Mesure de la variation d'indice de réfraction

La figure 3 représente schématiquement la cellule de mesure d'une variation d'indice 25, qui est spécialement conçue pour mesurer les différences

(ou écarts) d'indice entre le liquide 3 et le cristal 4. Cette cellule de mesure d'une variation d'indice forme une portion de conduite dans laquelle le liquide 3 se déplace, selon une direction perpendiculaire au plan de la figure. Cette conduite est délimitée par deux parois latérales 250 et 251, par une fenêtre 252, par exemple de saphir ou de silice, et par un cristal 253 appelé cristal de référence.

Le cristal de référence 253 est constitué du même matériau que le cristal 1, ou d'un matériau présentant le même indice. Il présente une surface plane 2531, en contact avec le liquide 1, et dans laquelle est usinée une rainure 2532 s'étendant dans la direction perpendiculaire au plan de la figure. La rainure 2532 s'étend donc dans une direction parallèle à la direction d'écoulement du liquide 3, et ne perturbe donc pas cet écoulement. Le cristal présente également une seconde surface plane 2533 parallèles à la surface 2531. La rainure 2532 cause donc une différence locale de l'épaisseur du cristal de référence 253.

La fenêtre de silice 252, les surfaces 2531 et 2533 et la surface du fond de la rainure 2532 étant parallèles, un faisceau lumineux traversant la cellule de mesure d'une variation d'indice 25 perpendiculairement à ces surfaces traverse une épaisseur différente de liquide 3 et de cristal 253, selon qu'il passe dans la rainure 2532 ou à côté de la rainure, par la surface 2531. Si l'indice du liquide 3 est exactement identique à l'indice du cristal 253, le chemin optique du faisceau lumineux est identique, après sa traversée de la cellule de mesure d'une variation d'indice 25, qu'il soit passé par la rainure ou non.

En revanche, si le liquide 3 présente un indice différent de celui du cristal 2533, le chemin optique de la partie du faisceau lumineux qui passe par la rainure 2532 est différent du chemin optique de la partie du faisceau lumineux qui passe par la surface 2531. Ce chemin optique différent génère un décalage de phase qui peut être mesuré par un analyseur de front d'onde 254, par exemple constitué par un capteur de type interférométrique à décalage latéral. Des moyens de calcul appropriés peuvent alors déterminer la différence d'indice entre le liquide 3 et le cristal 253, et calculer les corrections à apporter, soit sur la température du

radiateur 24, soit sur le débit de la pompe 22, pour corriger cette différence d'indice.

Le circuit de modification de la température du liquide d'indice permet donc de contrôler en temps réel l'indice de réfraction du liquide 3, afin que cet
5 indice soit constamment le plus proche possible de l'indice du cristal 1. Il est ainsi possible d'utiliser des liquides d'indice dont l'indice est défini avec une faible précision, qui sont moins onéreux que les liquides d'indice dont l'indice est défini très précisément. Par ailleurs, le dispositif selon l'invention permet de compenser les défauts de stabilité des liquides d'indice, entraînant l'évolution de l'indice
10 avec le temps. De plus, le dispositif permet d'adapter l'indice du liquide à des cristaux 1 dont l'indice varie en fonction de l'approvisionnement.

Du fait d'une meilleure adaptation de l'indice du liquide 3 à l'indice du cristal 1, une impulsion parasite perd lors d'une réflexion sur la paroi latérale périphérique 13 une plus grande partie de sa puissance, qui sort du cristal. Même
15 dans le cas d'un cristal de très grande taille, le gain d'une impulsion parasite traversant le cristal est en conséquence inférieur aux pertes de puissance de cette impulsion lors de ses réflexions sur une zone de la paroi latérale périphérique 13.

Une telle adaptation précise de l'indice du liquide en contact avec les parois latérales périphériques du cristal peut être avantageuse pour plusieurs types
20 de cristaux laser. Elle présente cependant un intérêt particulier dans le cas des cristaux de type Saphir dopé aux ions Titane, pour lesquels le lasage parasite transverse constitue une limite à l'augmentation de la puissance des lasers.

Dans le mode de réalisation décrit ci dessus, le dispositif de régulation de l'indice du liquide agit sur la température de ce liquide. Selon un autre mode de
25 réalisation pouvant être mis en œuvre par l'homme du métier, il est également possible, de façon alternative ou complémentaire, de modifier la pression du liquide d'indice pour modifier son indice.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'absorption de faisceaux parasites transverses dans un amplificateur optique solide (1), comprenant un réservoir (2) permettant de mettre en contact un liquide (3) avec une surface (13) dudit amplificateur, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de modification des propriétés physiques dudit liquide (3), rapprochant la valeur de l'indice dudit liquide (3) de la valeur de l'indice dudit amplificateur optique solide (1).
2. Dispositif d'absorption selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de modification des propriétés physiques dudit liquide (3) comprennent des moyens de modification de la température (24) dudit liquide.
3. Dispositif d'absorption selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de modification de la température (24) dudit liquide dudit liquide comprennent des moyens de chauffage dudit liquide.
4. Dispositif d'absorption selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de modification de la température (24) dudit liquide dudit liquide comprennent des moyens de refroidissement dudit liquide.
5. Dispositif d'absorption selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que lesdits moyens de modification des propriétés physiques dudit liquide comprennent une canalisation (21) permettant de conduire ledit liquide (3) dudit réservoir (2) vers lesdits moyens de modification de la température (24), et de ramener ledit liquide (3) vers ledit réservoir (2).
6. Dispositif d'absorption selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comprend une pompe (22) permettant d'entraîner ledit liquide (3) dans ladite canalisation (21).
7. Dispositif d'absorption selon l'une quelconque des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que lesdits moyens de mesure de l'indice (25) dudit liquide (3) sont placés sur ladite canalisation (21), de façon à mesurer l'indice du liquide circulant dans ladite canalisation (21).
8. Dispositif d'absorption selon l'une quelconque des revendications

précédentes, caractérisé en ce que lesdits moyens de modifications des propriétés physiques dudit liquide comprennent des moyens de modification de la pression dudit liquide (3).

5 **9.** Dispositif d'absorption selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens de mesure d'une variation d'indice (25) dudit liquide (3).

10. Dispositif d'absorption selon la revendication 9, caractérisé en ce que lesdits moyens de mesure d'une variation d'indice (25) dudit liquide comprennent des moyens de comparaison de l'indice dudit liquide avec l'indice d'un matériau d'indice identique à celui dudit amplificateur optique solide.

11. Dispositif d'absorption selon la revendication 10, caractérisé en ce que lesdits moyens de mesure d'une variation d'indice (25) comprennent des moyens d'émission d'un faisceau lumineux à travers ledit liquide et à travers ledit matériau, ledit faisceau comprenant au moins deux sous-faisceaux traversant des épaisseurs différentes dudit liquide et dudit matériaux, et des moyens de mesure du front d'onde desdits sous-faisceaux (254).

12. Dispositif d'amplification optique comprenant un amplificateur optique solide (1) pouvant être pompé pour permettre l'amplification optique d'une impulsion lumineuse incidente à amplifier, comprenant au moins une zone d'amplification, prévue pour être traversée par ladite impulsion lumineuse incidente à amplifier, et au moins une paroi latérale (13), en dehors de ladite zone d'amplification, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif d'absorption du lasage parasite transverse selon l'une quelconque des revendications précédentes, dont ledit réservoir (2) met en contact ledit liquide (3) avec ladite paroi latérale (13) dudit amplificateur optique solide (1).

13. Dispositif d'amplification optique selon la revendication 12, caractérisé en ce que ledit amplificateur optique solide (1) est constitué par un cristal de saphir dopé par des ions Titane.

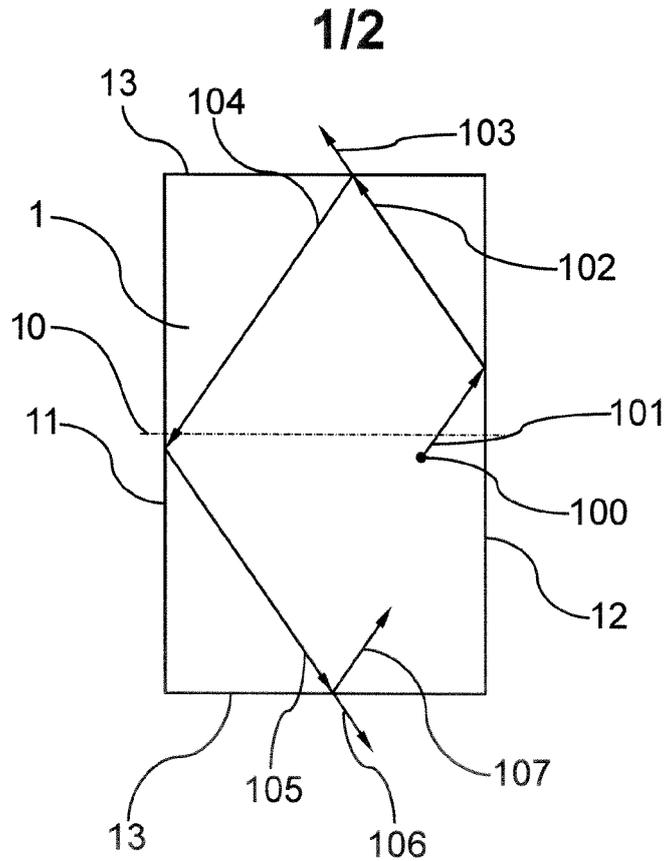


Fig. 1

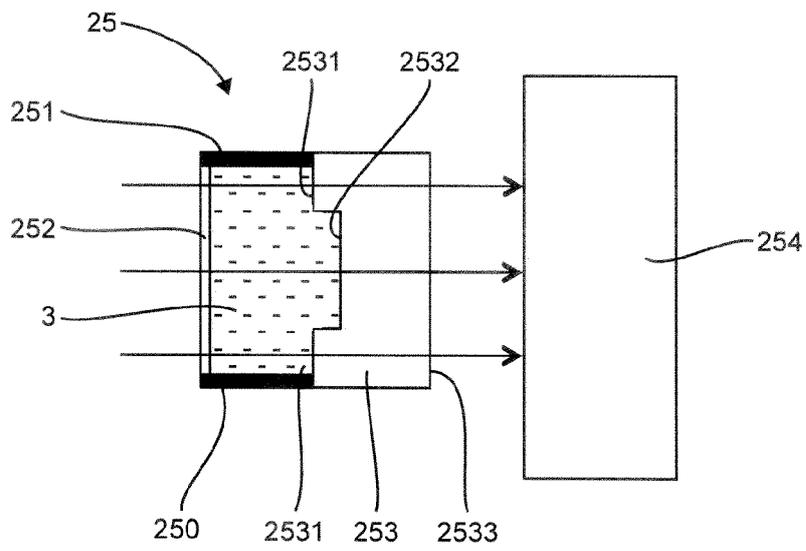


Fig. 3

2/2

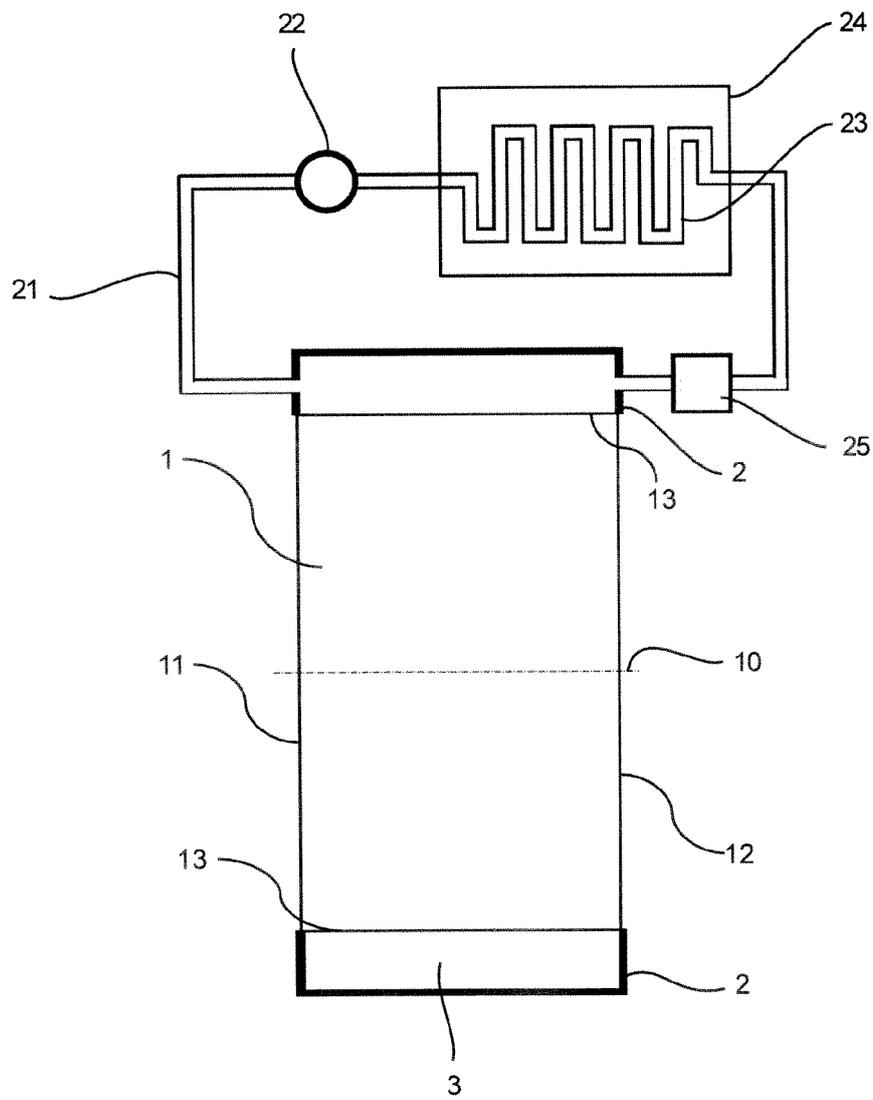


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/053083

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H01S3/00
 ADD. H01S3/16 H01S3/06

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.
Y	FR 2 901 067 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; UNIV PARIS SUD [FR]) 16 November 2007 (2007-11-16) page 12, line 30 - page 14; figure 3 page 6, line 5 - page 7, line 14 the whole document	1-13
Y	FR 3 000 849 A1 (ECOLE POLYTECH [FR]) 11 July 2014 (2014-07-11) page 5, line 19 - page 6, line 6; figure 1 the whole document	1-13
Y	US 2008/117392 A1 (MULKENS JOHANNES CATHARINUS HU [NL] ET AL) 22 May 2008 (2008-05-22) paragraph [0059]; figures 8,7 the whole document	8-11

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 14 March 2016	Date of mailing of the international search report 24/03/2016
--	--

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 Bésuelle, Emmanuel
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/053083

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2901067	A1	16-11-2007	NONE

FR 3000849	A1	11-07-2014	FR 3000849 A1 11-07-2014
			WO 2014106668 A2 10-07-2014

US 2008117392	A1	22-05-2008	JP 4690380 B2 01-06-2011
			JP 2008131045 A 05-06-2008
			US 2008117392 A1 22-05-2008
			US 2012013866 A1 19-01-2012

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2016/053083

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01S3/00 ADD. H01S3/16 H01S3/06		
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, COMPENDEX, 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
Y	FR 2 901 067 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; UNIV PARIS SUD [FR]) 16 novembre 2007 (2007-11-16) page 12, ligne 30 - page 14; figure 3 page 6, ligne 5 - page 7, ligne 14 le document en entier	1-13
Y	FR 3 000 849 A1 (ECOLE POLYTECH [FR]) 11 juillet 2014 (2014-07-11) page 5, ligne 19 - page 6, ligne 6; figure 1 le document en entier	1-13
Y	US 2008/117392 A1 (MULKENS JOHANNES CATHARINUS HU [NL] ET AL) 22 mai 2008 (2008-05-22) alinéa [0059]; figures 8,7 le document en entier	8-11
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents		
<input checked="" type="checkbox"/> 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 14 mars 2016		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 24/03/2016
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 Bésuelle, Emmanuel

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2016/053083

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2901067	A1	16-11-2007	AUCUN	

FR 3000849	A1	11-07-2014	FR 3000849 A1	11-07-2014
			WO 2014106668 A2	10-07-2014

US 2008117392	A1	22-05-2008	JP 4690380 B2	01-06-2011
			JP 2008131045 A	05-06-2008
			US 2008117392 A1	22-05-2008
			US 2012013866 A1	19-01-2012
