

(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
11 octobre 2007 (11.10.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/113274 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01S 3/08 (2006.01) **H01S 3/23** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2007/053150

(22) Date de dépôt international : 2 avril 2007 (02.04.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
06/02822 31 mars 2006 (31.03.2006) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
THALES [FR/FR]; 45 rue de Villiers, F-92200 Neuilly
Sur Seine (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
BAUBEAU, Emmanuel [FR/FR]; 11 rue de la Prairie,
F-91440 Bures Sur Yvette (FR). **MATRAS, Guillaume**
[FR/FR]; 8 avenue des Cévennes, F-91940 Les Ulis (FR).

(74) Mandataires : **CHAVERNEFF, Vladimir** etc.; MARKS
& CLERK France, Conseils en Propriété Industrielle,
31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex
(FR).

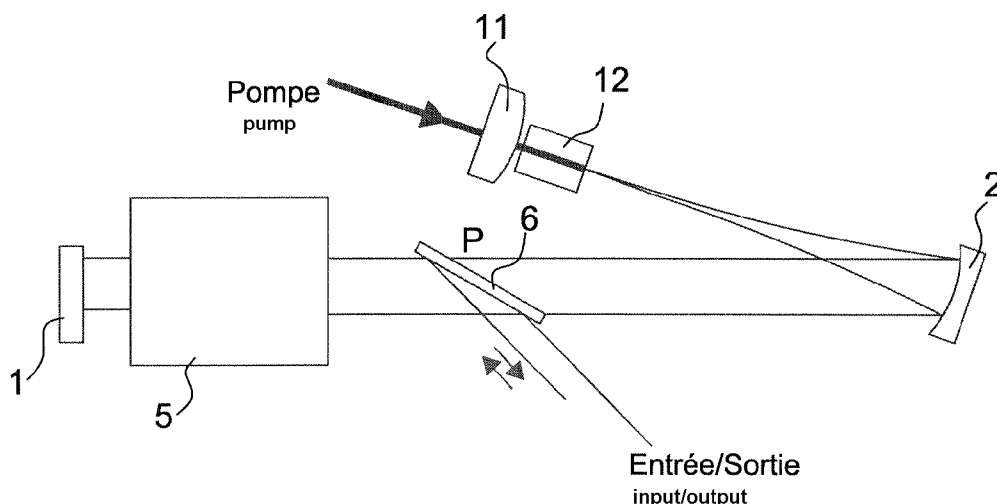
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,
JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: COMPENSATION DEVICE FOR THERMAL LENS IN A HIGH-FREQUENCY FEMTOSECOND REGENERATIVE CAVITY

(54) Titre : DISPOSITIF DE COMPENSATION DE LA LENTILLE THERMIQUE DANS UNE CAVITE REGENERATIVE FEMTOSECONDE HAUTE CADENCE



(57) Abstract: The invention concerns a laser cavity which is a laser cavity of the type of high-frequency pumping femtosecond regenerative cavity, comprising a gain medium, such as a Ti:Sa crystal, and at least two cavity base mirrors. The invention is characterized in that its gain medium (12) is designed to be contacting or proximate one of its cavity base mirrors (11), which is a convex mirror of which the radius of curvature is a function of the desired stability range compatible with the thermal focus of the crystal.

(57) Abrégé : La cavité laser conforme à l'invention est une cavité laser du type régénérative femtoseconde à haute cadence de pompage, comprenant un milieu à gain, tel un cristal Ti :Sa, et au moins deux miroirs de fond de cavité, et elle est caractérisée en ce que son milieu à gain (12) est disposé au contact ou à proximité d'un de ses miroirs de fond de cavité (11), qui est un miroir convexe dont le rayon de courbure est fonction de la plage de stabilité désirée compatible avec focale thermique du cristal.

WO 2007/113274 A1



européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont requises

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

DISPOSITIF DE COMPENSATION DE LA LENTILLE THERMIQUE DANS UNE CAVITE REGENERATIVE FEMTOSECONDE HAUTE CADENCE

La présente invention se rapporte à un dispositif de compensation de la lentille thermique dans une cavité régénérative femtoseconde à haute cadence.

La réalisation de sources laser de type femtoseconde amplifiées à haute cadence (plusieurs kHz) et par exemple en technologie Ti:Sa, se heurte à l'aggravation du phénomène de la focale thermique lorsque le taux de répétition du laser augmente. Ceci est le cas en particulier dans les amplificateurs régénératifs qui constituent généralement le premier étage d'amplification de telles sources.

L'une des techniques employées pour s'affranchir de ce problème est de refroidir le cristal de saphir-titane à très basse température. Ceci permet d'augmenter la conductivité thermique du cristal et de diminuer la variation d'indice avec la température, ces deux phénomènes ayant pour effet de diminuer l'effet de focale thermique. Cependant, cette technique est relativement coûteuse (utilisation de techniques cryogéniques) et elle augmente considérablement l'encombrement et la complexité du laser. Elle pose par ailleurs des problèmes d'isolation et de maintien du cristal.

On va se référer aux schémas des exemples des figures 1 et 2 pour exposer les caractéristiques de cavités laser régénératives sur lesquelles porte la présente invention. Ces cavités sont généralement du type en « V » (Figure 1) ou en « Z » (figure 2). Les éléments similaires de ces deux figures sont affectés des mêmes références numériques.

La cavité de la figure 1 comporte essentiellement un miroir plan 1, deux miroirs concaves 2 et 3, un milieu à gain 4, un système électro-optique 5 (une cellule de Pockels, par exemple) et un polariseur 6. Les miroirs 1 à 3 sont disposés de façon que l'axe 7 joignant les centres des miroirs 1 et 2 fasse un angle aigu avec l'axe 8 joignant les centres des miroirs 2 et 3. Les miroirs 1 et 3 sont dits « miroirs de fond de cavité ». Le système 5 et le dispositif 6 sont disposés sur l'axe 7, tandis que le cristal 4 est disposé sur l'axe 8, à proximité du col (« waist » en anglais) du faisceau se propageant entre les deux miroirs concaves 2 et 3. Le cristal 4 est pompé longitudinalement à travers le miroir 3, de telle manière que le recouvrement entre la

pompe et le mode de la cavité soit le meilleur possible. Le cristal est généralement taillé à l'angle de Brewster.

La cavité de la figure 2 comporte essentiellement, outre le premier miroir plan 1 et deux miroirs concaves 2 et 3, un deuxième miroir plan 9, un milieu à gain 4, un système électro-optique 5 et un polariseur 6. Comme dans le cas de la figure 1, les miroirs 1 à 3 sont disposés de façon que l'axe 7 joignant les centres des miroirs 1 et 2 fasse un angle aigu avec l'axe 8 joignant les centres des miroirs 2 et 3. En outre, le miroir 9 est disposé de façon que l'axe 10 joignant son centre au centre du miroir 2 fasse un angle aigu avec l'axe 8. Dans cette configuration, le miroir 9 est le miroir de fond de cavité. Ainsi, les axes 7, 8 et 10 forment un « Z ». Les éléments 4, 5 et 6 sont disposés de la même façon qu'en figure 1. Le cristal 4 est également pompé longitudinalement à travers le miroir 3.

Plusieurs critères gouvernent le fonctionnement d'une cavité régénérative :

○ Dans l'un des bras de la cavité, le faisceau est collimaté (axe 7) et d'assez grand diamètre. On y insère le ou les dispositifs électro-optiques (6) nécessaires à l'injection et à l'éjection de l'impulsion à amplifier dans la cavité. Le faisceau dans le bras de la cellule de Pockels (5) doit être faiblement divergent et assez large pour garantir sa bonne fonctionnalité.

○ L'énergie extraite de la cavité est directement reliée au volume de la zone de gain dans le cristal (4). Il importe donc que le mode sur le cristal soit aussi gros que possible.

○ Il doit y avoir le meilleur recouvrement possible entre le laser de pompe et le mode de la cavité à l'intérieur du cristal. Cette condition impose des contraintes fortes sur le choix du laser de pompe et en particulier de son facteur M^2 .

Dans de telles cavités, il peut exister un phénomène parasite, c'est l'effet de lentille thermique. Lorsqu'il est pompé, le cristal s'échauffe de manière inhomogène et se comporte comme une lentille. En première approximation, la focale de la lentille thermique est donnée par la formule suivante [Thermal Lensing in Nd :YAG Rod, Koechner, Applied Optics, Nov 1970, Vol 9, N°11] :

$$f_{th} = \frac{2\pi r^2 \lambda}{P_r \left(\frac{dn}{dt} \right)} \quad (1)$$

dans cette formule, r est le rayon de pompe, P_r la puissance thermique dissipée dans le cristal, $\frac{dn}{dt}$ la variation d'indice en fonction de la température. La lentille thermique est d'autant plus forte (c'est-à-dire que sa focale est d'autant plus courte) que la puissance de pompage est forte ou que le rayon de pompage est faible.

Ce phénomène est sensible à l'augmentation du taux de répétition du laser de pompe. Il est possible de reformuler l'expression précédente en introduisant la densité d'énergie de pompage J_p :

$$J_p = \eta \frac{P_p}{\pi r^2 \tau} \quad (2)$$

dans cette formule, τ est le taux de répétition du laser de pompe, P_p est l'énergie d'une impulsion de pompe, et η est le rendement entre l'énergie de pompe et l'énergie disponible pour l'amplification. La formule (1) devient alors :

$$f_{th} = \frac{2\lambda}{J_p \left(\frac{dn}{dt} \right) \tau} \quad (3)$$

Il apparaît ainsi qu'à densité d'énergie de pompe constante, c'est à dire à gain constant, la focale thermique est inversement proportionnelle au taux de répétition du laser.

Par exemple, pour avoir le même gain à 10 kHz qu'à 1 kHz, il faut soit multiplier la puissance moyenne par 10, soit réduire d'un facteur 10 la surface de pompage. Dans les deux cas, la focale thermique est réduite d'un facteur 10. A 10 kHz, cette dernière a une valeur inférieure à 10 cm dans les conditions de pompage optimales.

De façon classique, on positionne toujours le cristal au « waist » de la cavité, mais il est possible dans certains cas de le déplacer pour obtenir un mode plus gros sur celui-ci.

A l'aide d'un logiciel de calcul optique, il est possible de tracer la propagation du faisceau dans une cavité régénérative en V classique (telle que celle de la figure 1) composée d'un cristal soumis à un effet de lentille thermique. Ceci est illustré par les exemples des figures 3 à 7.

5 Les cavités dont on a tracé le diagramme de propagation en figures 3 et 4 sont identiques, à la seule différence de la position du cristal par rapport au « waist ». Ces deux cavités identiques sont conçues pour être stables pour de longues focales thermiques. Le bras de gauche (à gauche du miroir M2) est prévu pour accueillir la cellule de Pockels. Dans le but de grossir le mode sur le cristal, on peut déplacer le
10 cristal de quelques centimètres en dehors du waist de la cavité sans altérer la propagation du faisceau intra-cavité comme le montre la figure 4.

Les cavités dont on a tracé le diagramme de propagation en figures 5 à 7 sont également identiques entre elles, à la seule différence de la position du cristal par rapport au « waist » et se rapportent au schéma de la figure 1. Elles sont conçues
15 pour de courtes focales thermiques. En figure 5, le waist est seulement de $87\mu\text{m}$. Si on effectue la même opération que dans la cavité de la figure 4, on augmente la taille du waist, mais la propagation du faisceau se dégrade très vite : on focalise soit sur le miroir de fond de cavité (figure 6), soit dans le bras qui contient la cellule de Pockels (figure 7).

20 Les cavités régénératives classiques offrent donc très peu de souplesse. Pour des focales thermiques courtes, on ne peut pas augmenter la taille de mode sur le cristal sans altérer la propagation du faisceau à l'intérieur de la cavité. L'énergie que l'on peut extraire de ces cavités est donc limitée.

Un autre paramètre important de ces cavités est leur stabilité. Dans la
25 référence [V. Magni « Resonators for solid-state lasers with large-aperture fundamental mode and high alignment stability ». Applied Optics, 25:107-117,1986], il est montré qu'une cavité à deux miroirs contenant un barreau soumis à un effet de lentille thermique, possède deux zones de stabilité de même largeur et, que le volume du mode (au niveau du cristal) présente un point stationnaire insensible aux
30 fluctuations de la focale thermique. A partir de ce calcul, il est possible d'étendre la démonstration à une cavité en V ou en Z.

La courbe de la figure 8 représente l'évolution de la taille du mode fondamental sur le cristal (rayon du mode au niveau du cristal) en fonction de l'inverse de la focale thermique.

Sur cette figure 8, on observe deux zones de stabilité symétriques de
 5 largeur Δ appelées respectivement « Zone 1 » et « Zone 2 » ; w_0 est le point où la cavité est la moins sensible aux fluctuations de la focale thermique. En dehors des zones de stabilité de largeur Δ , l'effet laser en mode TEM₀₀ ne peut pas exister (effet laser inexistant ou dégradé).

De ces calculs, on peut également extraire une relation essentielle: la
 10 largeur de la zone de stabilité Δ est inversement proportionnelle à w_0^2 :

$$\left| \Delta \frac{1}{f} \right| = \frac{2\lambda}{\pi} \frac{1}{w_0^2} \quad (4)$$

Plus w_0 est grand, plus le volume d'amplification est important, mais plus restreinte est la plage de stabilité. Il faut donc rechercher un compromis.

Les cavités standard fonctionnent toutes dans la zone 1 et elles sont
 15 construites de telle manière que la cavité peut être stable même sans focale thermique. La relation (4) implique alors une taille maximum du mode pour une focale thermique donnée.

Dans la zone 2, la cavité n'est stable qu'en présence de la lentille thermique. Ceci permettrait en théorie d'envisager un mode plus gros, mais jusqu'à
 20 présent, aucune réalisation n'a été présentée et aucune description d'une telle possibilité n'a été publiée.

Un autre paramètre à prendre en compte pour des cavités du type précité est leur sensibilité à un désalignement. La sensibilité à un désalignement de la cavité est définie dans la référence sus-citée comme l'inverse de l'angle maximum
 25 applicable sur l'orientation d'un miroir sans qu'il y ait décalage du mode en dehors de la zone de pompage. Elle se mesure en rad⁻¹.

On a représenté en figure 9 une courbe typique de la sensibilité d'un miroir de fond de cavité en fonction de l'inverse de la focale thermique. En zone 1, la sensibilité à un désalignement reste faible, tandis qu'en zone 2 la sensibilité tend

rapidement vers l'infini. En pratique, il est donc difficile de travailler en zone 2.

La présente invention a pour objet une cavité laser dans laquelle on puisse augmenter l'énergie extraite de façon conséquente d'un amplificateur régénératif de façon simple et peu onéreuse.

5 La cavité laser conforme à l'invention est une cavité du type régénérative femtoseconde à haute cadence de pompage, comprenant un cristal laser et deux miroirs de fond de cavité, et elle est caractérisée en ce que son milieu à gain (12) est disposé au contact ou à proximité d'un de ses miroirs de fond de cavité (11), qui est un miroir convexe dont le rayon de courbure est fonction de la plage de stabilité
10 désirée compatible avec la focale thermique du cristal. De préférence, elle est à architecture en « V » ou en « Z ».

La cavité laser de l'invention permet d'obtenir un volume d'amplification important quelle que soit la valeur de la focale thermique mise en jeu, tout en conservant un faisceau TEM₀₀. Comme corollaire, cette technique permet de relâcher
15 la contrainte sur le paramètre M² du laser de pompe. Cette invention est applicable à des cavités munies de cristaux de divers types, en particulier, mais de façon non limitative Ti :Saphir ou Ytterbium.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation, pris à titre d'exemple non limitatif et illustré par
20 le dessin annexé, sur lequel :

- les figures 1 et 2, décrites ci-dessus, sont des schémas simplifiés de cavités laser de l'art antérieur, à architecture en « V » et en « Z », respectivement,
- les figures 3 à 7, également décrites ci-dessus, sont des diagrammes de propagation de faisceaux laser dans des cavités de l'art antérieur,
25
- la figure 8, également décrite ci-dessus, est une courbe typique illustrant la stabilité d'une cavité régénérative et représente l'évolution du rayon du mode fondamental sur son cristal en fonction de l'inverse de la focale thermique,

- la figure 9, également décrite ci-dessus, est une courbe typique illustrant la sensibilité au désalignement d'un miroir de fond de cavité,
- la figure 10 est un schéma d'un exemple de cavité laser conforme à l'invention,
- les figures 11 et 12 sont des diagrammes de propagation de faisceaux laser dans une cavité conforme à l'invention,
- la figure 13 est une courbe typique illustrant l'évolution de la plage de stabilité pour différents rayons de courbure du miroir convexe d'une cavité conforme à l'invention et donnant le rayon du mode TEM₀₀ au niveau du cristal en fonction de l'inverse de la focale thermique,
- la figure 14 est une courbe relative à une cavité laser conforme à l'invention et donnant à la fois sa sensibilité à un désalignement de la cavité et le diamètre du mode TEM₀₀ au niveau du cristal laser en fonction de l'inverse de sa focale thermique, et
- les figures 15 et 16 sont des schémas simplifiés d'exemples de cavités laser conformes à l'invention avec une architecture en « Z » et en « V », respectivement.

Le principe de l'invention est de positionner le cristal en fond de cavité, juste devant un miroir plan ou convexe. Le choix du rayon de courbure de ce miroir permet d'accorder la cavité en fonction de la focale thermique.

Ce principe permet d'obtenir n'importe quelle taille de mode, quelle que soit la focale thermique, tout en conservant un mode large et collimaté dans le bras de la cellule de Pockels. En outre, le cristal est, par construction, toujours situé dans une zone de Rayleigh du mode, c'est-à-dire une zone dans laquelle le faisceau est collimaté. Enfin, la possibilité d'obtenir une cavité à large mode permet de relâcher la contrainte sur le paramètre M^2 du laser de pompe et facilite sa réalisation.

On a schématisé en figure 10 une cavité en « V », conforme à l'invention. La cavité de la figure 10 est similaire à celle de la figure 1, la différence

étant que le miroir concave 3 est remplacé par un miroir convexe 11 et que le cristal 4 est remplacé par un cristal 12 en contact avec le miroir 11 ou proche de celui-ci.

Pour exposer la conception de la cavité de l'invention, supposons tout d'abord que le miroir de fond de cavité 11 est plan, et que le cristal 12 est dépourvu d'effet de lentille thermique. On conçoit la cavité de telle manière qu'elle vérifie les critères décrits ci-dessus en référence aux figures 1 et 2 (collimation du faisceau dans le bras de la cellule de la Pockels et un gros mode sur le cristal). Puis on ajuste le rayon de courbure du miroir pour fixer la plage de stabilité voulue compatible avec la focale thermique du cristal. La valeur optimale du rayon de courbure est égale à la focale thermique du cristal :

$$R_{optimum} = f_{th_cristal}$$

En premier, on impose le diamètre du mode fondamental au niveau du cristal à 300µm. Sachant que les deux miroirs de fond de la cavité en « V » sont plans par hypothèse (le miroir 1 est plan par construction, et le miroir 11 est d'abord supposé plan), les paramètres connus sont suffisants pour déterminer les distances ainsi que le rayon de courbure adapté du miroir concave 2. On a représenté en figure 11 le diagramme de propagation du faisceau laser dans la cavité de la figure 10.

On dispose ensuite le cristal 12 devant le miroir plan 11, puis on considère que le miroir 11 est convexe, et adapte son rayon de courbure pour imposer la position de la plage de stabilité. Le diagramme de propagation du faisceau laser dans la cavité devient alors celui représenté en figure 12.

Pour étudier la stabilité de la cavité ainsi obtenue, on va se référer au diagramme de la figure 13. Ce diagramme montre l'évolution de la zone de stabilité n°1 (telle que définie en référence à la figure 8) pour différents rayons de courbure. Ces rayons de courbure R sont respectivement égaux à 5, 10, 30 et infini. Ainsi, en jouant seulement sur le rayon de courbure du miroir de fond de cavité 11, on peut ajuster la zone de stabilité sans altérer le rayon de mode minimal w_0 (égal à 150 µm dans l'exemple représenté) et la largeur Δ de la zone 1.

De la même manière, on peut déterminer la sensibilité à un désalignement de la cavité, et à cet effet, on va se référer au diagramme de la figure 14.

On peut diviser la courbe de sensibilité en deux parties : la première correspond à une zone (marquée « Zone 1 » sur la figure) où la sensibilité reste peu élevée et la seconde à une sensibilité qui augmente très rapidement. La première
5 partie de la courbe de sensibilité, qui présente une sensibilité peu élevée, épouse à 90% la zone de stabilité du laser (telle que représentée en figure 13). L'invention permet donc à la cavité régénérative d'être réglée sans trop de difficultés.

Dans le cadre des courtes focales thermiques, le diamètre du mode
10 fondamental envisageable dans les cavités classiques est généralement inférieur à 200 μm , alors que dans l'exemple décrit ici, on a un diamètre de 300 μm (le rayon w_0 est de 150 μm). Le M^2 maximum du laser de pompe sera donc 50% supérieur. Dans ce cas, on peut envisager d'utiliser un laser de pompe avec un M^2 de 20 (au lieu de 13 dans le cas d'un pompage d'une cavité classique).

On a représenté en figure 15 le schéma d'une variante d'architecture de cavité
15 régénérative en « Z » conforme à l'invention. Cette cavité est semblable à celle de la figure 2, la différence résidant principalement dans le fait que le miroir plan (9) de la configuration de la figure 2 a été remplacé par un miroir convexe 13 et que le cristal (4) a été remplacé par un cristal 14, disposé entre les miroirs 3 et 13 et
20 avantageusement plus grand que le cristal 4. En outre, le pompage est fait à travers le miroir 13. Cette configuration permet une plus grande souplesse dans le choix de la taille du mode sur le cristal en fonction des rayons de courbure des deux miroirs concaves 2 et 3.

On a illustré en figure 16 un exemple de réalisation d'une cavité
25 régénérative en « V », pour faire ressortir les avantages de l'invention. La cavité de la figure 16 a la même configuration que celle de la figure 10, et les mêmes éléments sont affectés des mêmes références numériques. La fréquence de pompage du cristal 12 est ici de 5 kHz. A 5 kHz, la focale thermique du cristal est d'environ 20 cm. Le miroir concave 2 a un rayon de courbure de -100 cm, et d'un miroir de fond de cavité
30 M3 convexe de rayon de courbure de 20 cm. Les distances sont les suivantes : miroir 1-miroir 2 = 80 cm, miroir 2- miroir 11 = 55 cm. Le cristal 12 a une longueur de 1,5

cm. Le diamètre de mode de cette cavité est de $450\mu\text{m}$. La puissance extraite de cette cavité est de 4 W pour une puissance de pompe de 24 W. Le paramètre M^2 minimum requis pour pomper cette cavité est de 40, ce qui correspond à une zone de Rayleigh égale à la moitié de la longueur du cristal.

- 5 En conclusion, l'invention permet, sans utiliser de procédés cryogéniques, d'envisager des cavités régénératives de beaucoup plus fortes puissances qu'à l'heure actuelle, tout en permettant une plus grande flexibilité sur le paramètre M^2 des lasers de pompe utilisés.

REVENDICATIONS

- 5 1. Cavité laser du type régénérative femtoseconde à haute cadence de pompage, comprenant un milieu à gain et deux miroirs de fond de cavité, caractérisée en ce que son milieu à gain (12) est disposé au contact ou à proximité d'un de ses miroirs de fond de cavité (11), qui est un miroir convexe dont le rayon de courbure est fonction de la plage de stabilité désirée compatible avec la focale thermique du cristal.
- 10 2. Cavité laser selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'elle a une architecture en « V » ou en « Z ».
3. Cavité laser selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le milieu à gain est du Ti :Sa.

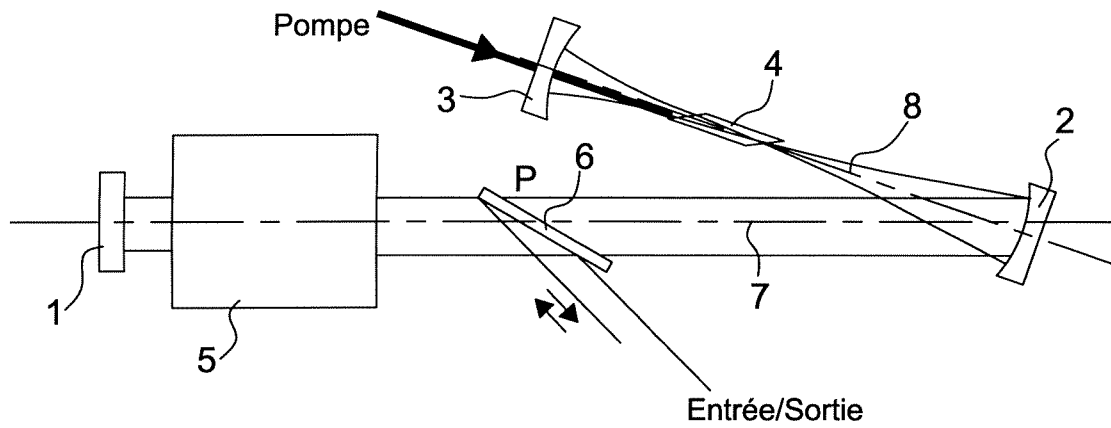


FIG.1

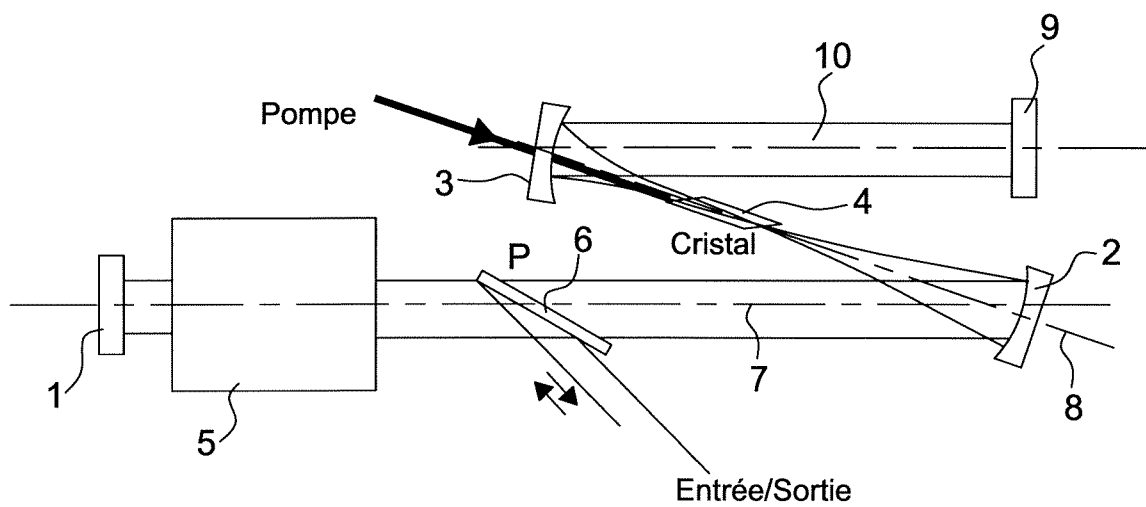


FIG.2

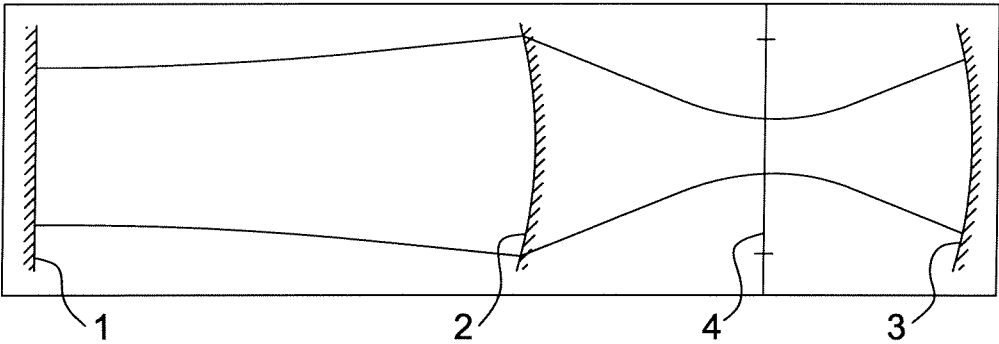


FIG.3

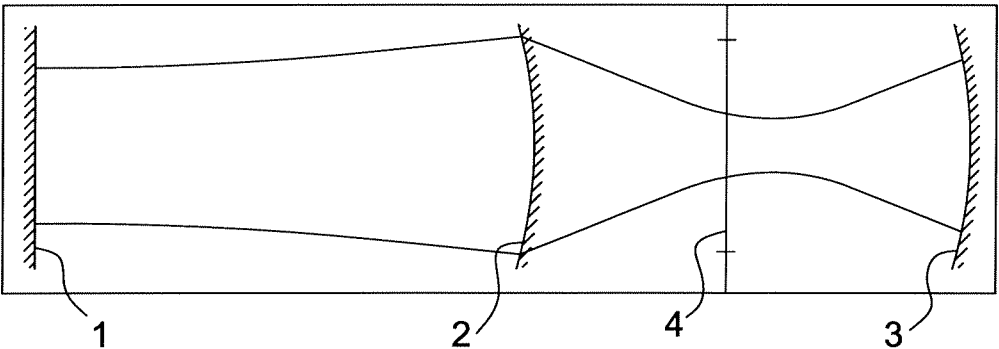


FIG.4

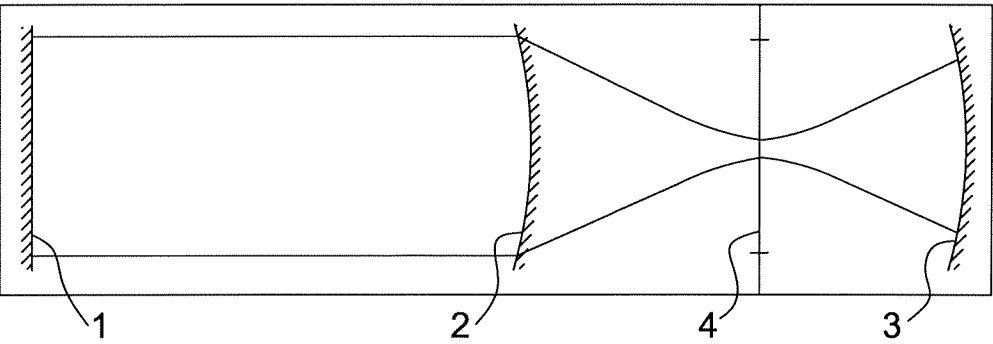


FIG.5

3/6

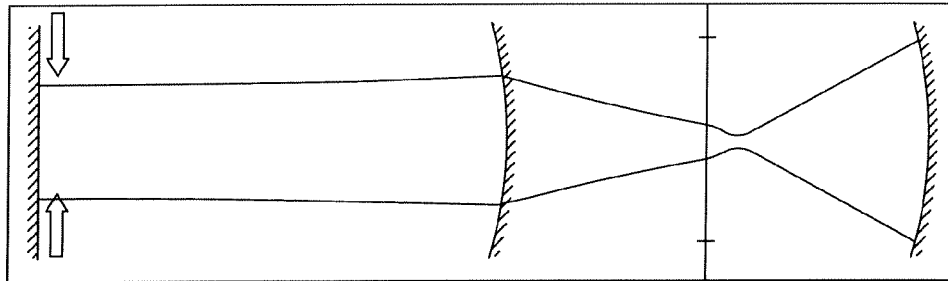


FIG. 6

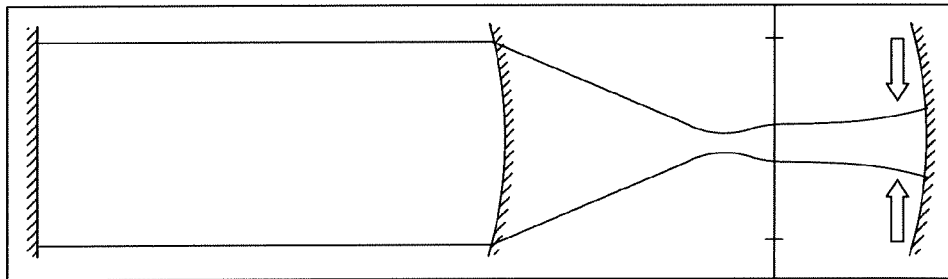


FIG. 7

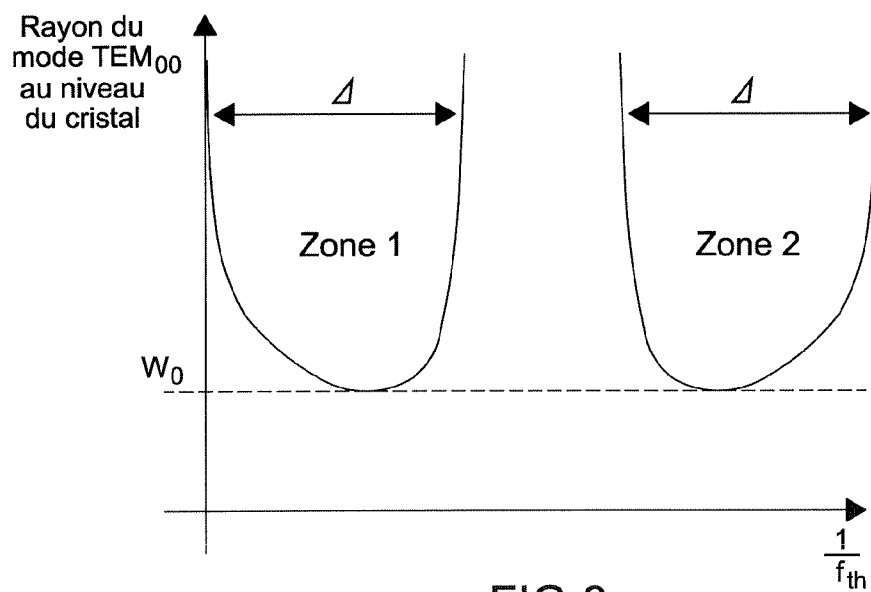


FIG. 8

4/6

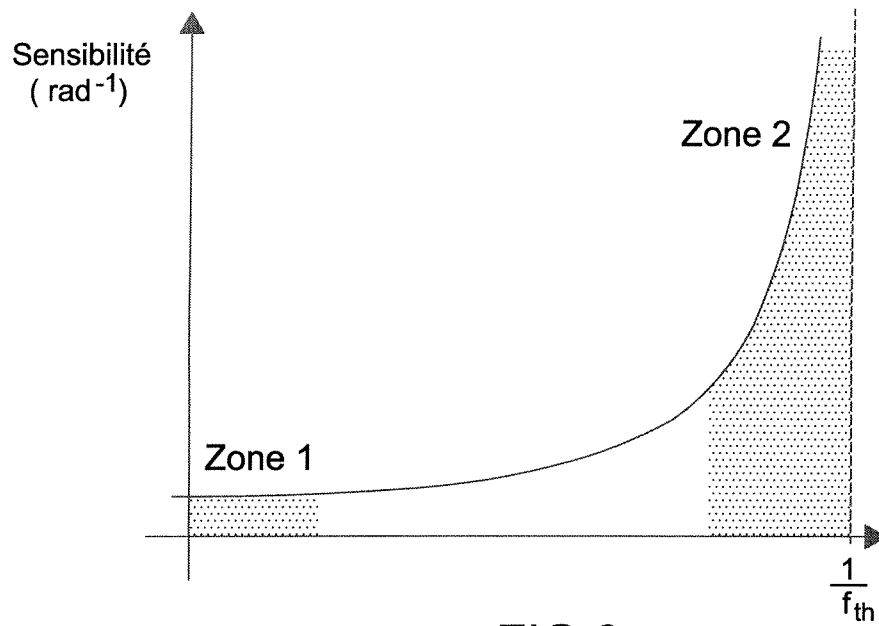


FIG.9

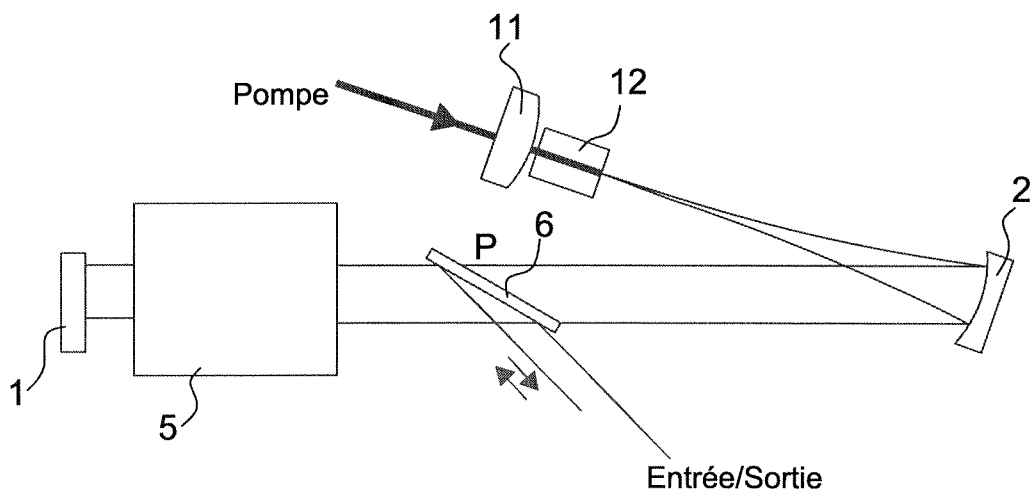


FIG.10

5/6

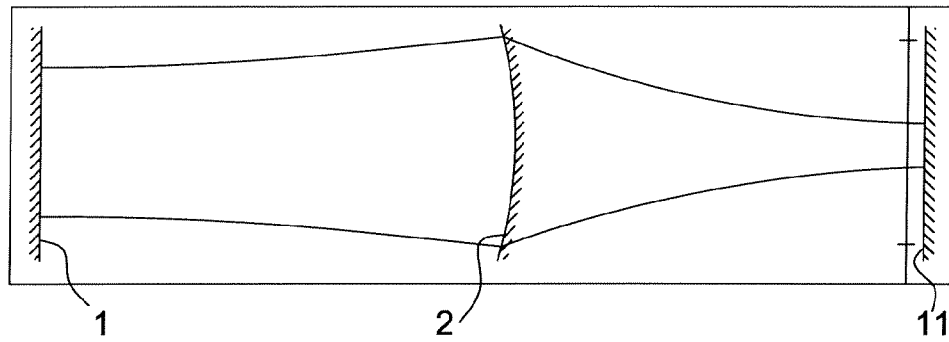


FIG. 11

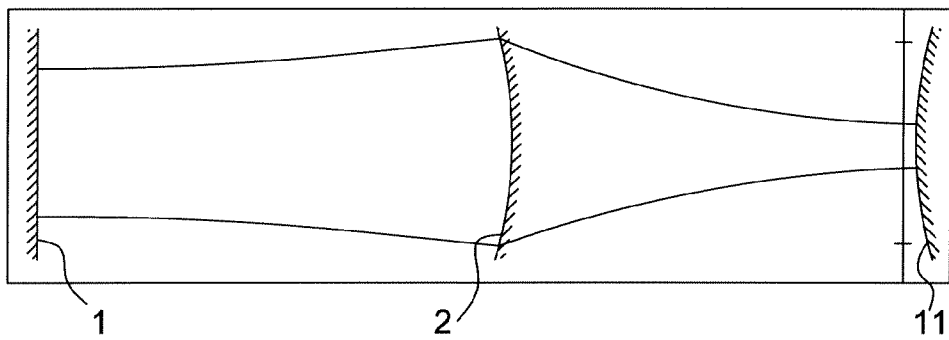


FIG. 12

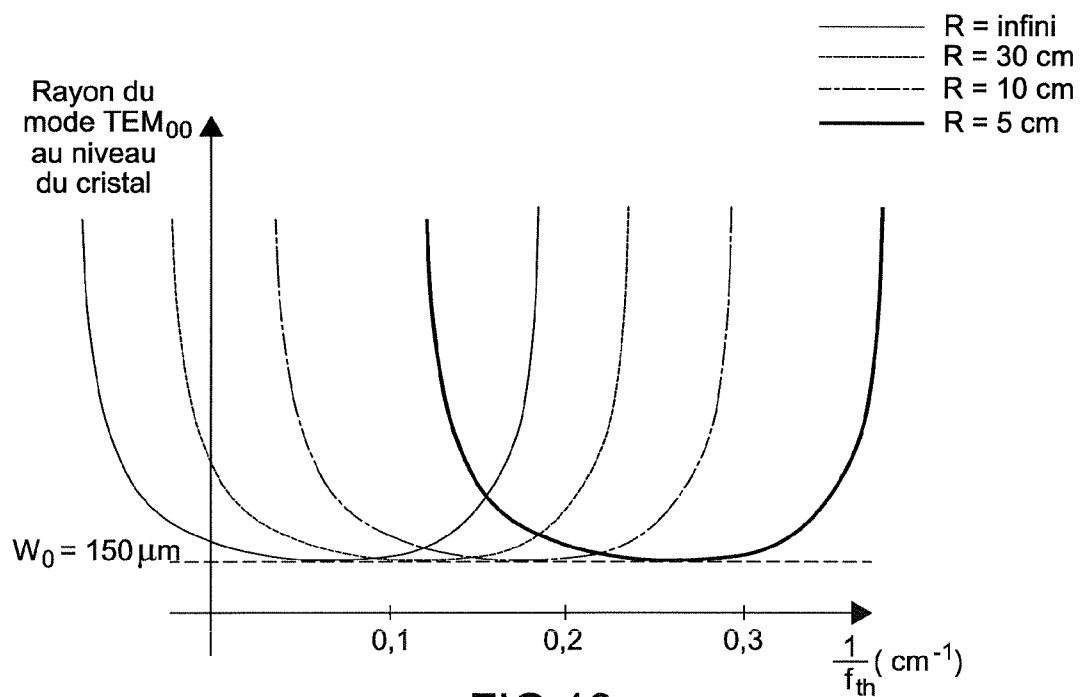


FIG. 13

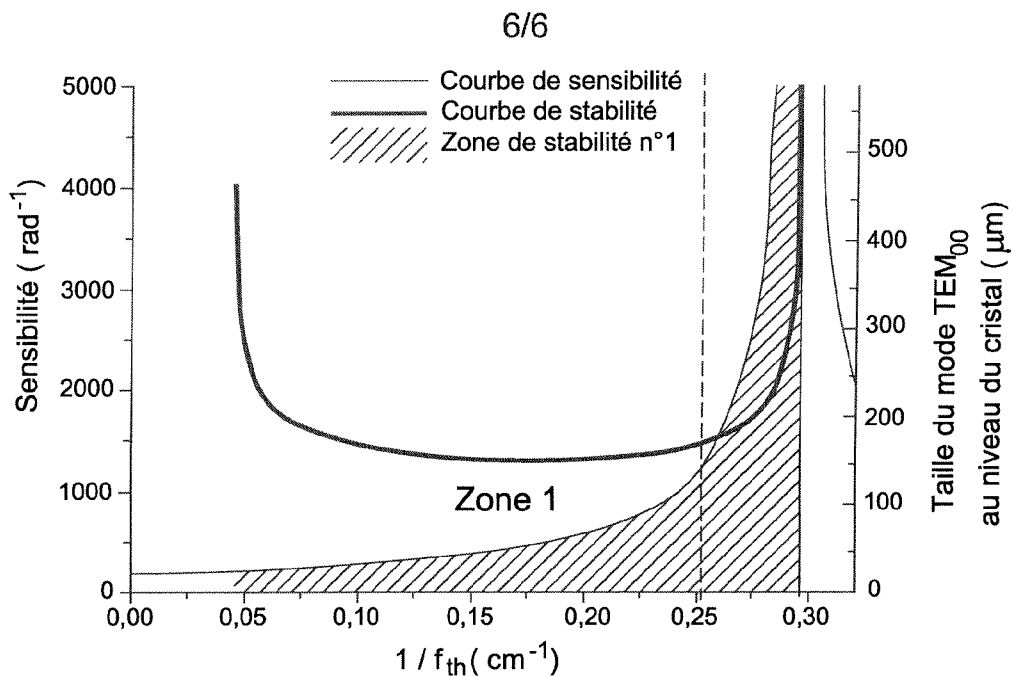


FIG.14

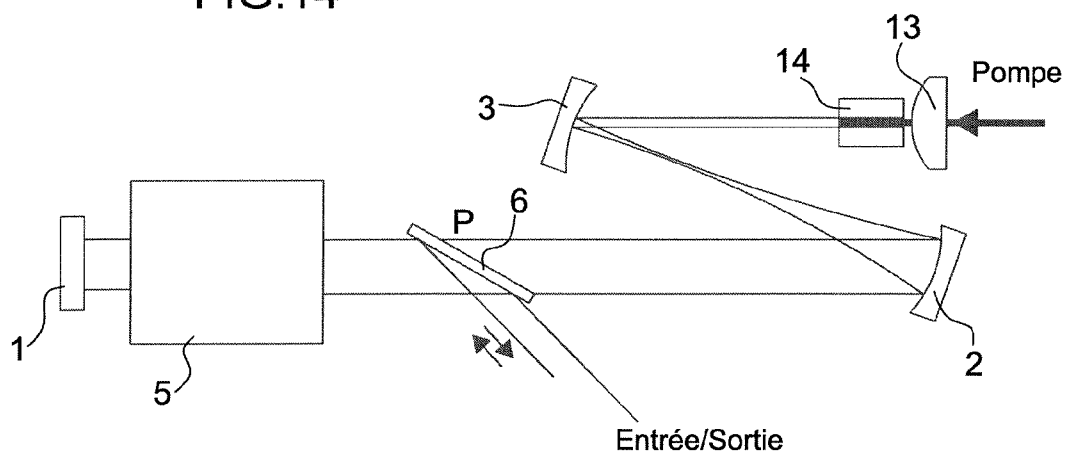


FIG.15

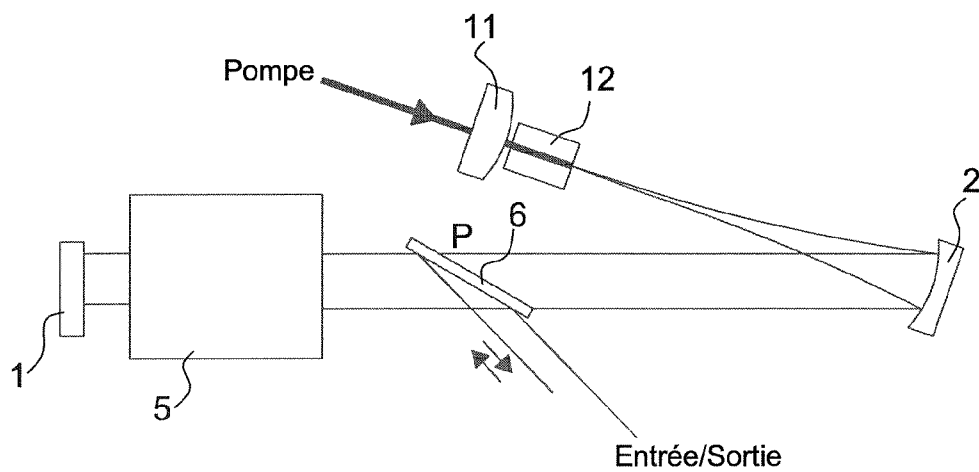


FIG.16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/053150

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01S3/08 H01S3/23

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 practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	ITO S ET AL: "Seven Terawatt Ti:sapphire laser system operating at 50Hz with high beam quality for laser Compton femtosecond X-ray generation" Applied Physics B (Lasers and Optics) Springer-Verlag Germany, vol. B76, no. 5, 5 May 2003 (2003-05-05), pages 497-503, XP002414454 germany ISSN: 0946-2171 abstract page 498, right-hand column; figure 1 ----- -/--	1-3

☒ 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 document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 July 2007

Date of mailing of the international search report

31/07/2007

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

Authorized officer

Claessen, Michiel

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/053150

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	PAVEL N ET AL: "Variable reflectivity mirror unstable resonator with deformable mirror thermal compensation" OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, vol. 123, no. 1, 15 January 1996 (1996-01-15), pages 115-120, XP004006456 ISSN: 0030-4018 page 117, left-hand column, lines 1-10; figure 1 page 118, right-hand column, lines 1-6	1-3
A	HODGSON N ET AL: "INFLUENCE OF SPHERICAL ABERRATION OF THE ACTIVE MEDIUM ON THE PERFORMANCE OF ND:YAG LASERS" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 29, no. 9, 1 September 1993 (1993-09-01), pages 2497-2507, XP000417982 ISSN: 0018-9197 figure 9	
A	ZHAVORONKOV N ET AL: "Regenerative amplification of femtosecond laser pulses in Ti sapphire at multikilohertz" Optics Letters Opt. Soc. America USA, vol. 29, no. 2, 15 January 2004 (2004-01-15), page 1 pp., XP002414455 ISSN: 0146-9592 the whole document	
A	FR 2 786 938 A1 (THOMSON CSF [FR]) 9 June 2000 (2000-06-09) the whole document	1-3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/053150

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2786938	A1	09-06-2000	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2007/053150

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H01S3/08 H01S3/23

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

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	ITO S ET AL: "Seven Terawatt Ti:sapphire laser system operating at 50Hz with high beam quality for laser Compton femtosecond X-ray generation" Applied Physics B (Lasers and Optics) Springer-Verlag Germany, vol. B76, no. 5, 5 mai 2003 (2003-05-05), pages 497-503, XP002414454 germany ISSN: 0946-2171 abrégé page 498, colonne de droite; figure 1 ----- -/--	1-3

☒ 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

25 juillet 2007

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

31/07/2007

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, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Claessen, Michiel

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2007/053150

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	PAVEL N ET AL: "Variable reflectivity mirror unstable resonator with deformable mirror thermal compensation" OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, vol. 123, no. 1, 15 janvier 1996 (1996-01-15), pages 115-120, XP004006456 ISSN: 0030-4018 page 117, colonne de gauche, ligne 1-10; figure 1 page 118, colonne de droite, ligne 1-6 -----	1-3
A	HODGSON N ET AL: "INFLUENCE OF SPHERICAL ABERRATION OF THE ACTIVE MEDIUM ON THE PERFORMANCE OF ND:YAG LASERS" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 29, no. 9, 1 septembre 1993 (1993-09-01), pages 2497-2507, XP000417982 ISSN: 0018-9197 figure 9 -----	
A	ZHAVORONKOV N ET AL: "Regenerative amplification of femtosecond laser pulses in Ti sapphire at multikilohertz" Optics Letters Opt. Soc. America USA, vol. 29, no. 2, 15 janvier 2004 (2004-01-15), page 1 pp., XP002414455 ISSN: 0146-9592 le document en entier -----	
A	FR 2 786 938 A1 (THOMSON CSF [FR]) 9 juin 2000 (2000-06-09) le document en entier -----	1-3

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/EP2007/053150

Formulaire PCT/ISA/210 (annexe familles de brevets) (avril 2005)