

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 885 265

21) N° d'enregistrement national : 05 51114

51) Int Cl⁸ : H 01 S 3/094 (2006.01)

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 28.04.05.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 03.11.06 Bulletin 06/44.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : *FEMLIGHT Société anonyme* — FR.

72) Inventeur(s) : METIVIER PHILIPPE, YVERNAULT PHILIPPE et ERMENEUX SEBASTIEN.

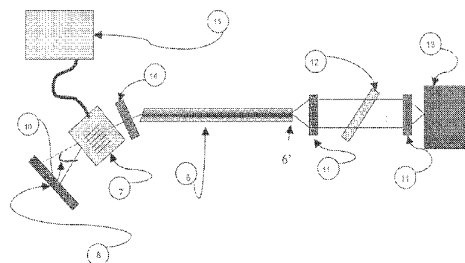
73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET HARLE ET PHELIP.

54) DISPOSITIF LASER DECLENCHÉ A FIBRE PHOTONIQUE.

57) L'invention concerne un dispositif de production cyclique d'impulsions lasers de courte durée, typiquement inférieures à 30 ns, le dispositif comprenant selon son axe optique interne un résonateur laser de longueur optique inférieure à 2m comprenant deux extrémités réfléchissantes et incorporant un milieu laser pompé en continu par au moins une onde de pompe de diodes lasers semi-conducteurs de puissances, le milieu laser étant un milieu où l'onde laser est guidée et possède un gain à très faible signal supérieur à 10 par passage, le résonateur laser incorporant également un modulateur optique, caractérisé en ce que le modulateur optique peut défléchir l'axe laser interne par une commande électrique selon deux directions stables, la première direction correspondant à un axe selon lequel le rayonnement laser subit des pertes suffisantes pour empêcher que l'effet laser ne se déclenche, le dispositif étant alors dans un mode cavité ouverte, et la seconde direction correspondant à un axe sur lequel le faisceau laser est réfléchi sur lui-même au moins partiellement par un moyen optique de renvoi, le dispositif étant alors dans un mode cavité fermée, l'autre extrémité du résonateur étant fermée par un moyen au moins partiellement réfléchissant, le modulateur possédant un temps de commutation entre ses états stables long devant le temps mis par la lumière pour parcou-

rir la cavité et qu'il est utilisé dans une configuration où le facteur de perte qu'il introduit dans l'état correspondant au mode cavité ouverte est très supérieur au gain à très faible signal du résonateur.



FR 2 885 265 - A1



La présente invention concerne un dispositif laser déclenché à fibre photonique.

Le principe de production d'impulsions lasers de forte intensité et de courte durée par déclenchement est connu de longue date. Il consiste à empêcher l'amplification régénérative d'une onde dans une cavité contenant un milieu laser en introduisant des pertes supérieures au gain du milieu laser. Après une période de pompage qui permet de stocker une énergie importante dans le milieu à gain, la transmission optique du déclencheur est brusquement augmentée afin de permettre la création d'une onde intra-cavité qui s'amplifie très rapidement et donne lieu à l'émission d'une impulsion lumineuse. La durée des impulsions produites est inversement proportionnelle au gain du milieu laser, et proportionnelle à la longueur de la cavité laser. De façon classique, le milieu à gain est un barreau laser et le déclencheur peut être un modulateur acousto-optique ou électro-optique. Par ailleurs on connaît la possibilité de produire des faisceaux lumineux de très bonne qualité et de forte puissance moyenne en utilisant des fibres optiques double gaine dont le cœur est dopé avec un ion présentant une transition laser. Ces systèmes présentent une zone active relativement petite (typiquement moins de 10 microns de diamètre) et fonctionnent donc principalement en continu afin d'éviter l'endommagement des faces de la fibre par des impulsions laser à forte énergie (seuil de dommage environ 20 à 50 J/cm² pour des impulsions de 10 ns).

On connaît également des lasers à fibres à couches photoniques ou MPF (« Multiclad Photonic Fiber ») qui ont été présentés dans l'article de J. Limpert, N. Deguil-Robin, I. Manek-Hönniger, F. Salin, F. Röser, A. Liem, T. Schreiber, S. Nolte, H. Zellmer, A. Tünnermann, J. Broeng, A. Petersson, and C. Jakobsen, "High-power rod-type photonic crystal fiber laser," Opt. Express 13, 1055-1058 (2005). Les lasers MPF comportent des amplificateurs optiques à fibre en verre formée d'un cœur dopé et d'au moins une gaine périphérique qui assure le guidage d'onde produite. Le cœur est dopé par un ion de terre rare, Néodyme ou

Ytterbium en général. Le guidage est assuré par la mise en œuvre d'une structure photonique obtenue par un ensemble géométrique de canaux ou capillaires aériques (trous). Cette structure abaisse artificiellement l'indice rencontré par l'onde produite et permet des
5 propagations monomodes pour des diamètres de cœur de fibre de l'ordre de $50\mu\text{m}$. Ce diamètre de cœur important permet d'étaler l'énergie de l'onde produite sur une plus grande surface et de repousser les deux limitations fondamentales des amplificateurs à fibre que sont la tenue au flux et les effets non-linéaires. Avec une
10 telle technologie on peut envisager de produire des impulsions laser relativement brèves de 1ns à 30ns avec des énergies de l'ordre de 1mJ à 10mJ.

Ces lasers MPF peuvent présenter des gains extrêmement importants grâce au très fort confinement de la zone de gain. Ce
15 confinement impose habituellement une longueur d'absorption longue et une limitation forte dans l'énergie produite par déclenchement. Toutefois il est très difficile de maintenir des pertes supérieures au gain pendant la période de pompage. On a cependant pu monter qu'on pouvait utiliser des fibres photoniques
20 particulières pour à la fois diminuer la longueur d'absorption et augmenter la taille de la zone active. Limpert et al (Conférence Advanced Solid State Photonics, Vienne, février 2005) ont utilisé une de ces fibres afin de produire des impulsions nanosecondes de forte énergie. Néanmoins, ils eurent recours à un déclenchement
25 très rapide ($<5\text{ns}$) par cellule de Pockels afin de bloquer la cavité durant la phase de pompage. Le laser est alors limité à des cadences de l'ordre de 100 kHz et le système de déclenchement est particulièrement onéreux. De plus le système est sensible à la polarisation de l'onde se propageant dans le résonateur et son
30 efficacité peut être diminuée par la dépolarisation lors de la propagation dans la fibre.

La présente invention permet de produire des impulsions très courtes ($< 30\text{ ns}$), tout en maintenant une qualité de faisceau proche de la limite de diffraction et des puissances moyennes très
35 élevées ($> 50\text{ W}$, voir plusieurs centaines de W). Pour cela on

utilise de préférence une fibre laser à couches photoniques, dite MPF (« Multiclad Photonic Fiber ») associée à un modulateur acousto-optique fonctionnant dans une configuration particulière.

5 Ainsi, l'invention concerne un dispositif de production cyclique d'impulsions lasers de courte durée, le dispositif comportant un résonateur laser de longueur optique inférieure à 2m comprenant deux extrémités réfléchissantes et incorporant un milieu laser pompé en continu par au moins une onde de pompe issue de diodes lasers semi-conducteurs de puissances focalisée
10 par des moyens optiques de collimation dans une extrémité du milieu laser, le milieu laser étant un milieu où un faisceau laser interne est guidé et possédant un gain à très faible signal supérieur à 10 par passage dans le milieu à gain, le résonateur laser incorporant également un modulateur optique.

15 Les impulsions lasers de courte durée sont approximativement inférieures à 30ns.

Selon l'invention, le modulateur optique peut défléchir l'axe du faisceau laser interne, ledit modulateur optique étant actionné par une commande électrique, selon deux directions stables, la
20 première direction correspondant à un axe selon lequel le faisceau laser interne subit des pertes suffisantes pour empêcher que l'effet laser ne se déclenche, le dispositif étant alors dans un mode cavité ouverte, et la seconde direction correspondant à un axe selon lequel le faisceau laser interne est réfléchi sur lui-même au moins
25 partiellement par un moyen optique de renvoi fermant le résonateur à une première de ses extrémités, le dispositif étant alors dans un mode cavité fermée, la seconde extrémité du résonateur laser étant fermée par un moyen au moins partiellement réfléchissant situé de l'autre côté du milieu amplificateur, le modulateur
30 possédant un temps de commutation supérieur au temps mis par la lumière pour parcourir la cavité et il est utilisé dans une configuration où le facteur de perte qu'il introduit dans l'état correspondant au mode cavité ouverte est supérieur au gain à très faible signal du résonateur.

Dans divers modes de mise en œuvre de l'invention, les moyens suivants pouvant être utilisés seuls ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles, sont employés :

- le milieu laser est une fibre photonique MPF,
- 5 - le modulateur est un modulateur acousto-optique,
- le modulateur assure directement la fermeture du résonateur en mode activé,
- la première direction correspond à un axe selon lequel le rayonnement laser subit des pertes suffisantes pour empêcher que
10 l'effet laser se déclenche (mode bloqué), le dispositif étant alors dans un mode cavité ouverte, et le modulateur n'étant alors pas activé,
- la seconde direction correspond à un axe sur lequel le faisceau laser est réfléchi sur lui-même au moins partiellement par un
15 moyen optique de renvoi servant à fermer le résonateur à une première de ses deux extrémités, le dispositif étant alors dans un mode cavité fermée, et le modulateur étant activé,
- le moyen optique de renvoi servant à fermer le résonateur est positionné pour que l'angle formé par sa normale et le faisceau
20 laser en sortie du modulateur non activé soit égal à l'angle entre l'ordre 0 et l'ordre 1 ou -1 du modulateur acousto-optique,
- le moyen optique de renvoi servant à fermer le résonateur est un traitement réfléchissant pour l'onde laser sur la face de sortie du modulateur optique ,
- 25 - le modulateur ne consomme quasiment aucune énergie de commande électrique pendant le mode bloqué du laser, (appelé aussi mode pompe ou mode non déclenché)
- le modulateur est mécanique et il agit par déplacement mécanique d'un moyen optique,
- 30 - le modulateur comporte des moyens utilisant la variation de réflectivité d'un élément initialement transparent,
- les moyens utilisant la variation de réflectivité permettent l'augmentation de réflectivité par l'excitation d'une onde acoustique longitudinale dont l'axe de propagation est colinéaire avec l'axe du
35 résonateur,

- le dispositif est monolithique, les éléments de la cavité optique étant en silice et/ou en verre et étant accolés entre-eux,
- dans la cavité optique monolithique, la première extrémité de la fibre est perpendiculaire à la normale à l'axe longitudinal de la fibre,
- 5 - dans la cavité optique monolithique, une lentille de collimation est disposée entre la première extrémité de la fibre et le modulateur optique,
- l'onde de pompe est produite par au moins une diode laser et est focalisée par des moyens optiques de collimation dans la seconde
- 10 extrémité de la fibre,
- l'onde laser est extraite en sortie du dispositif par un miroir dichroïque disposé entre les moyens optiques de collimation,
- le dispositif comporte des moyens pour que le rayonnement laser pulsé produit soit linéairement polarisé,
- 15 - le milieu amplificateur conserve l'état de polarisation,
- le dispositif est pompé par un dispositif à diodes lasers de puissance continues fibré ou non fibré
- le couplage de la pompe avec le résonateur se fait grâce à un
- 20 dispositif de collimation optique ou par couplage d'un fibré
- le dispositif comporte des moyens permettant de produire des impulsions lasers de durée comprises entre 1ns et 30ns à des cadences supérieures à 50kHz avec un milieu amplificateur guidé garantissant une qualité de faisceau en sortie laser meilleur que
- 25 1,5 fois la diffraction,
- le dispositif comporte des moyens de production de rayonnement harmonique avec des cristaux non-linéaires,
- le dispositif comporte des moyens de production de nouvelles fréquences temporelles utilisant des effets non-linéaires du 3^{ème}
- 30 ordre, notamment d'une fibre photonique,
- le dispositif comporte des moyens de production de spectres couvrant une bande largement supérieure à 10 nm et pouvant atteindre plusieurs centaines de nanomètres,
- une lentille de collimation est disposée entre la première
- 35 extrémité de la fibre et le modulateur optique,

- la première extrémité de la fibre comporte un moyen anti-réfléchissant pour l'onde laser,
- la première extrémité de la fibre est inclinée par rapport à la normale à l'axe longitudinal de la fibre,
- 5 - l'angle d'inclinaison de la première extrémité de la fibre par rapport à la normale à l'axe longitudinal de la fibre est supérieur à l'ouverture numérique du cœur de la fibre et est compris entre 1° et 60° ,
- l'angle d'inclinaison de la première extrémité de la fibre par rapport à la normale à l'axe longitudinal de la fibre est d'environ
- 10 8° ,
- le moyen anti-réfléchissant est un embout rapporté sur la première extrémité de la fibre,
- le moyen anti-réfléchissant est un traitement anti-réfléchissant de
- 15 la première extrémité de la fibre,
- le laser comporte un résonateur en anneau dans lequel l'onde laser ne parcourt pas exactement le même chemin à l'aller et au retour.

Le laser de l'invention est un laser impulsionnel déclenché, à

20 fort gain et à mode guidé (à fibre MPF) qui a une durée d'impulsion courte et utilise un moyen opto-électronique de déclenchement simple dont le temps de déclenchement n'est pas critique pour la durée d'impulsion et peut être supérieur à la durée d'impulsion laser.

25 La présente invention va maintenant être exemplifiée sans pour autant en être limitée avec la description qui suit en relation avec les figures suivantes:

la Figure 1 qui représente schématiquement un dispositif laser déclenché à fibre MPF selon l'invention,

30 la Figure 2 qui représente un exemple de réalisation du dispositif laser déclenché de l'invention,

la Figure 3 qui représente une application du dispositif de l'invention.

Sur la Figure 1, un résonateur laser est formé entre un miroir

35 réfléchissant δ à la longueur d'onde d'émission laser et une

extrémité plane 6' d'une fibre photonique 6 MPF. La seconde extrémité de la fibre MPF est coupée ou polie de façon à former un angle de typiquement 8° (entre 1° et 60°) avec l'axe longitudinal de la fibre. Le faisceau de lumière émergeant de la fibre coté 5 extrémité inclinée est collimatée à l'aide d'une lentille 14 sur un modulateur acousto-optique 7. Ce faisceau de lumière est alors incident sur le modulateur acousto-optique 7 qui peut donner en sortie au moins deux trajets angulaires différents au faisceau. Le modulateur 7 est activé à la cadence de tir désirée par un module 10 électronique 15, qui contrôle une onde acoustique de haute fréquence créée dans le modulateur lors de l'activation. Le miroir 8 est positionné de façon à ce que sa normale fasse un angle Θ 10 correspondant à l'angle entre le faisceau incident sur le modulateur (et qui correspond au faisceau de sortie modulateur non-activé) et 15 le faisceau diffracté selon l'ordre 1 ou -1 dans le modulateur activé.

La fibre MPF est pompée en continu et longitudinalement par une onde de pompe provenant d'une ou plusieurs diodes laser de puissance 13, la/les diodes de pompage étant préférablement 20 fibrées. L'onde de pompe est focalisée dans la fibre MPF coté extrémité non inclinée, grâce à des moyens optiques de collimation 11, notamment par des lentilles corrigées des aberrations sphériques (doublets, triplets ou lentilles asphériques...). Durant toute la phase de pompage, l'alimentation du module électronique 25 15 est maintenue au repos et celui-ci ne produit aucun signal de commande et le modulateur se comporte donc comme un bloc de matériau isotrope, transparent. Le faisceau de lumière issu de la fibre MPF le traverse donc sans être dévié et frappe le miroir 8 en faisant un angle Θ avec la normale au miroir et il n'est donc pas 30 renvoyé sur lui-même et ne peut donc pas retourner dans la fibre. Pour déclencher une émission laser on active le module électronique 15 qui provoque la création d'une onde acoustique dans le modulateur 7. Cette onde acoustique provoque une déviation du faisceau incident provenant de la fibre MPF d'un angle 35 Θ ce qui le fait arriver perpendiculairement au miroir 8 et le

faisceau est alors renvoyé sur lui-même et peut être amplifié dans la fibre MPF. La face 6' de la fibre, opposée à la face inclinée de la fibre, agit comme un second miroir partiellement réfléchissant et provoque un effet de résonance qui donne lieu à l'effet laser et donc à la production d'une impulsion lumineuse. Un faisceau laser comportant des impulsions à une cadence déterminée par l'activation du module électronique 15 est donc émis à travers la face de la fibre MPF et est séparé du faisceau de pompe par un miroir dichroïque 12.

10 La qualité spatiale du faisceau impulsionnel ainsi produit est fixée par les propriétés de la fibre MPF et peut donc être très proche de la limite de diffraction. Le gain dans la fibre étant très grand (supérieur à 10 et typiquement supérieur à 100 par passage), la durée de chaque impulsion est fixée par la durée d'un aller-retour dans la cavité laser et non pas par le temps de montée du modulateur. Grâce à la configuration proposée avec une fibre MPF courte (longueur inférieure à 2m et de préférence inférieure à 1m), on peut produire des impulsions d'une durée inférieure à 10ns avec un modulateur dont le temps de réponse est supérieur à 20 100ns. Pour ce faire il est nécessaire de garantir que les pertes restent très élevées pendant la période de pompage (sinon l'effet laser se produirait indépendamment du déclenchement). Le fait de déclencher le laser sur le premier ordre de diffraction du module acousto-optique et de pomper principalement lorsque l'acousto-optique est non actif permet de garantir que la cavité restera ouverte (pas de bouclage possible) en absence de signal de commande sur le modulateur. En mode actif, le très grand gain de la fibre compense largement les pertes induites par le fait que le modulateur travaillera avec une efficacité de diffraction inférieure à 25 100%, par contre en mode passif l'acousto-optique se comporte comme un composant optique passif et on peut garantir un facteur de perte très supérieur à 100 (avec par exemple un taux de retour parasite de l'ordre de 2 pour mille) .

35 On voit donc que l'association d'un modulateur acousto-optique fonctionnant sur l'ordre 1 ou -1 et d'une fibre photonique à

large mode permet de garantir la production d'impulsions brèves, énergétiques et avec une qualité de faisceau excellente, tout en travaillant à forte puissance moyenne.

Pour un fonctionnement optimum, un certain nombre de conditions doivent être respectées. En particulier, la lentille 14 coté extrémité inclinée de la fibre MPF doit être choisie et positionnée afin d'assurer que la divergence du faisceau l'ayant traversé en venant de la fibre, soit inférieur à l'angle de déviation Θ introduit par le modulateur acousto-optique. De même, il est préférable que l'extrémité de la fibre faisant face au modulateur, c'est-à-dire l'extrémité inclinée, soit préparée afin d'empêcher toute oscillation laser entre les deux extrémités de la fibre. Pour cela, on peut lui donner une inclinaison avec un angle par rapport à la normale à la fibre qui soit largement plus grand que l'ouverture numérique du cœur de la fibre MPF. D'une manière alternative ou complémentaire, on peut assembler sur l'extrémité de la fibre, coté modulateur, un embout dont la face extérieure (de sortie) n'est pas perpendiculaire à l'axe de la fibre ou qui a reçu un traitement anti-réfléchissant. De même, pour obtenir des impulsions courtes, la fibre doit avoir une longueur inférieure à 1m afin de garantir des impulsions d'une durée inférieure à 10 ns.

De façon plus générale, le modulateur peut utiliser toute autre méthode de modulation rapide de la transmission ou de la réflexion d'un système optique. A titre d'exemple, un système optique micro-mécanique permet d'obtenir l'effet de commutation optique angulaire nécessaire au déclenchement de l'impulsion. De préférence, dans ce dernier cas, le miroir 8 de renvoi est porté par le système optique micro-mécanique et peut basculer pour passer d'une position de renvoi du faisceau de lumière sur lui-même à une autre position.

On peut noter que le temps de commutation du modulateur doit être rapide (typiquement inférieur à quelques centaines de ns) sans toutefois devoir être plus rapide que la durée d'un aller-retour dans la cavité laser puisque la durée des impulsions est fixée par

le gain du milieu amplificateur et non pas par la vitesse de commutation du commutateur.

De même, il est important de réaliser que le milieu laser ayant dans l'invention un gain par passage très élevé (supérieur à 5 10), la simple activation de la plupart des modulateurs optiques ne permet pas d'introduire dans la cavité des pertes suffisantes pour empêcher l'effet laser de se produire. On ne peut donc plus frustrer l'émission laser et l'obliger à apparaître sous forme d'impulsion. Il est donc important dans l'invention d'utiliser un modulateur non- 10 activé durant la phase de stockage de l'énergie dans le milieu laser, en prenant soin que le faisceau traversant le modulateur sans être modifié puisque ce dernier n'est pas activé, ne puisse pas être renvoyé vers le milieu amplificateur. Ce mode de fonctionnement est à l'opposé des fonctionnements de 15 déclenchement de cavité utilisé dans l'ensemble des systèmes lasers décrits avant cette invention, systèmes qui utilisent traditionnellement la modification apportée par un modulateur activé pour bloquer la cavité de laser durant la phase de stockage, et qui déclenche l'émission d'une impulsion en ramenant le 20 modulateur à son état non-activé durant un temps court devant le cycle complet (configuration qui alors minimise les pertes dans le cas d'un laser à faible gain).

Dans un mode de réalisation alternatif (ou complémentaire du précédent pour pompage par les deux extrémités de la fibre MPF), 25 le signal de pompe est incident sur la fibre MPF par son extrémité directement en rapport avec le modulateur. Dans ce cas le modulateur peut être traversé par l'onde de pompe ou simplement séparée de cette dernière par un miroir dichroïque disposé entre l'extrémité (inclivée, traitée anti-réflexion ou comportant un 30 embout) de la fibre 6 ou la lentille 14 et le modulateur 7, permettant l'injection longitudinale de l'onde de pompe dans la fibre MPF.

Il est possible de réaliser le dispositif d'une manière essentiellement monolithique par regroupement des principaux 35 éléments de la cavité optique, notamment les optiques de

collimation 14, le modulateur 7 et les miroirs 8, 6', dans un matériau en silice ou dans un verre qui permette un tel assemblage. La figure 2 donne un exemple d'un tel assemblage monolithique. Dans le cas où le modulateur est un modulateur
5 acousto-optique on peut tailler la face externe du modulateur pour qu'elle fasse un angle Θ avec l'axe de la fibre et traiter cette face de façon à la rendre réfléchissante à la longueur d'onde laser pour obtenir un équivalent du miroir 8 sur cette face.

Par ailleurs, on peut faire suivre de façon très avantageuse le
10 dispositif de l'invention d'un ou plusieurs cristaux non-linéaires 16 afin de produire des rayonnements harmoniques de l'onde fondamentale (notamment pour doublage, triplage, quadruplage, quintuplage de fréquence). L'association d'impulsions brèves et d'un faisceau limité par la diffraction permet de maximaliser le
15 rendement de conversion de fréquence et donc de produire des rayonnements visibles ou UV de très forte puissance moyenne, ce qui est difficile à obtenir par les moyens habituels. Un exemple d'implantation d'un ou plusieurs cristaux non-linéaires suivi de miroirs dichroïques pour la séparation des harmoniques est
20 représenté sur la figure 3. La génération d'harmoniques est également possible avec un dispositif monolithique tel que représenté à la Figure 2 en y associant des cristaux non-linéaires.

On comprend que d'autres dispositions des éléments du dispositif laser déclenché sont possibles sans sortir du cadre de
25 l'invention présentée ici.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de production cyclique d'impulsions lasers de courte durée, le dispositif comportant un résonateur laser de longueur optique inférieure à 2m comprenant deux extrémités réfléchissantes et incorporant un milieu laser pompé en continu par au moins une onde de pompe issue de diodes lasers semi-conducteurs de puissances focalisée par des moyens optiques de collimation dans une extrémité du milieu laser, le milieu laser étant un milieu où un faisceau laser interne est guidé et possédant un gain à très faible signal supérieur à 10 par passage dans le milieu à gain, le résonateur laser incorporant également un modulateur optique, caractérisé en ce que le modulateur optique peut défléchir l'axe du faisceau laser interne, ledit modulateur optique étant actionné par une commande électrique, selon deux directions stables, la première direction correspondant à un axe selon lequel le faisceau laser interne subit des pertes suffisantes pour empêcher que l'effet laser ne se déclenche, le dispositif étant alors dans un mode cavité ouverte, et la seconde direction correspondant à un axe selon lequel le faisceau laser interne est réfléchi sur lui-même au moins partiellement par un moyen optique de renvoi fermant le résonateur à une première de ses extrémités, le dispositif étant alors dans un mode cavité fermée, la seconde extrémité du résonateur laser étant fermée par un moyen au moins partiellement réfléchissant situé de l'autre côté du milieu amplificateur, le modulateur possédant un temps de commutation supérieur au temps mis par la lumière pour parcourir la cavité et qu'il est utilisé dans une configuration où le facteur de perte qu'il introduit dans l'état correspondant au mode cavité ouverte est supérieur au gain à très faible signal du résonateur.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le milieu laser est une fibre photonique MPF.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le modulateur est un modulateur acousto-optique.

4. Dispositif selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le modulateur assure directement la fermeture du résonateur en mode activé.

5. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que le moyen optique de renvoi servant à fermer le résonateur est positionné pour que l'angle formé par sa normale et le faisceau laser en sortie du modulateur non activé soit égal à l'angle entre l'ordre 0 et l'ordre 1 ou -1 du modulateur acousto-optique.

6. Dispositif selon la revendication 3, 4 ou 5, caractérisé en ce que le modulateur ne consomme quasiment aucune énergie de commande électrique pendant le mode bloqué du laser.

7. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le modulateur est mécanique et qu'il agit par déplacement mécanique d'un moyen optique.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est monolithique, les éléments de la cavité optique étant en silice et/ou en verre et étant accolés entre-eux.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le milieu amplificateur conserve l'état de polarisation.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens permettant de produire des impulsions lasers de durée inférieure à 30 ns à des cadences supérieures à 50 kHz avec une qualité de faisceau meilleur que 1,5 fois la diffraction.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de production de rayonnement harmonique avec des cristaux non-linéaires.

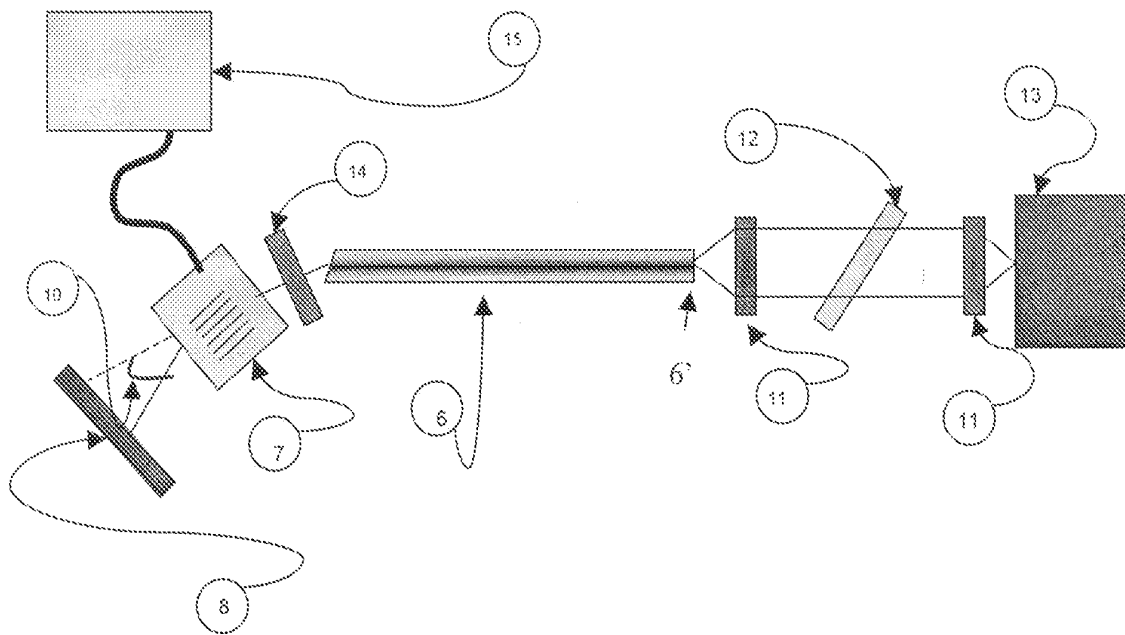


FIGURE 1

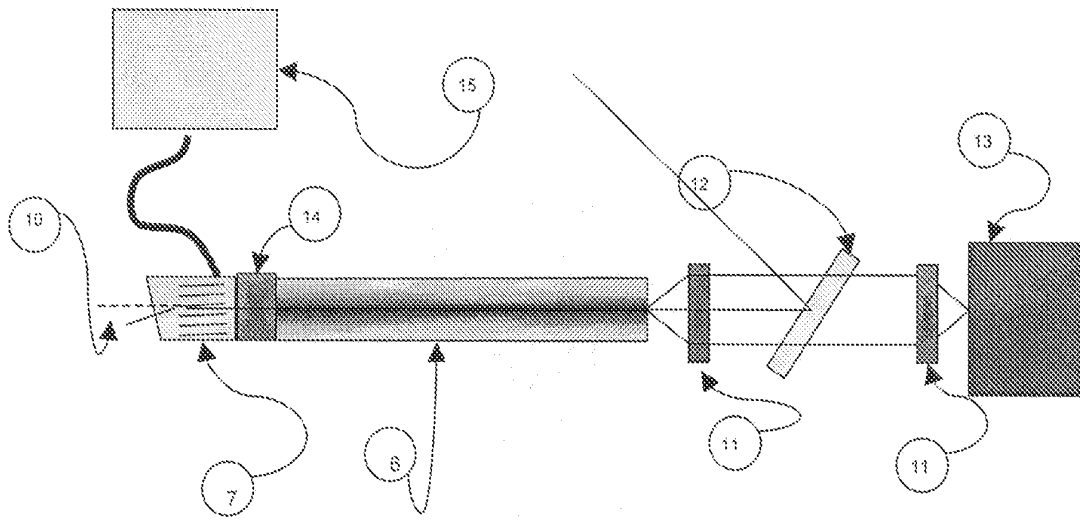
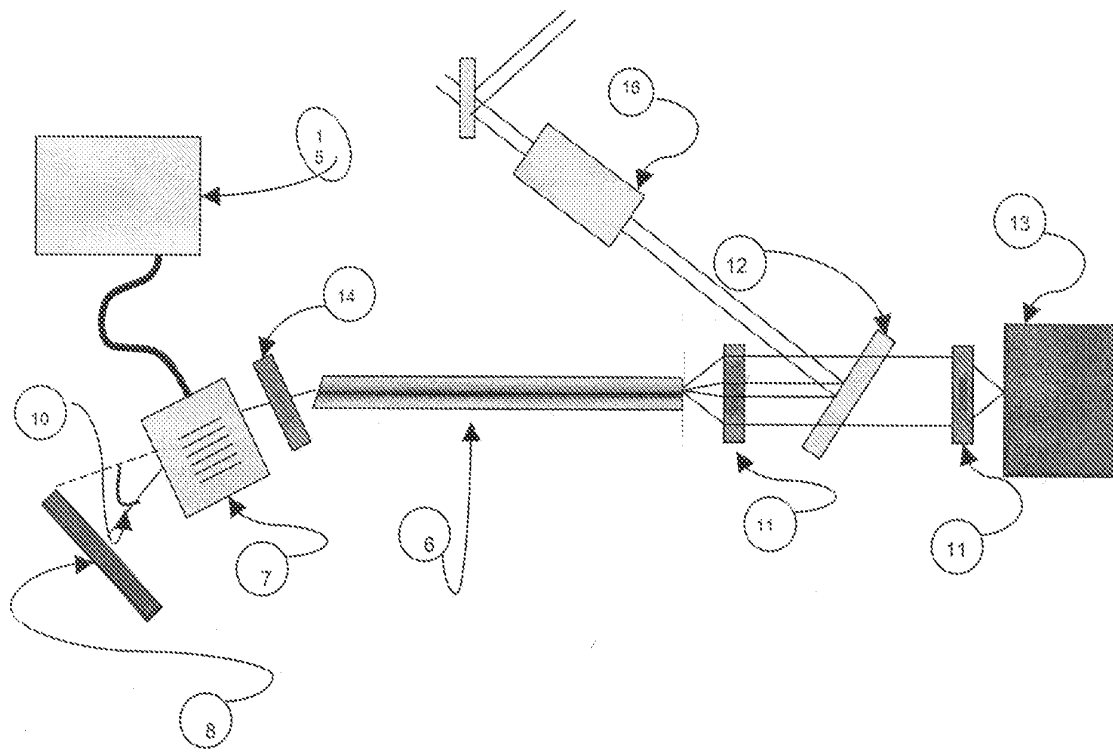


FIGURE 2

Figure 3





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 669228
FR 0551114

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI	
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes			
X	SELVAS R ET AL: "Q-switched 980 nm Yb-doped fiber laser" CONFERENCE ON LASERS AND ELECTRO-OPTICS. (CLEO 2002). TECHNICAL DIGEST. POSTCONFERENCE EDITION. LONG BEACH, CA, MAY 19 - 24, 2002, TRENDS IN OPTICS AND PHOTONICS. (TOPS), WASHINGTON, WA : OSA, US, vol. VOL. 73, 19 mai 2002 (2002-05-19), pages 565-566, XP010607074 ISBN: 1-55752-706-7	1-6,9,10	H01S3/094	
Y	* le document en entier * -----	7,8,11		
X	EL-SHERIF A F ET AL: "HIGH-PEAK-POWER OPERATION OF A Q-SWITCHED TM3+-DOPED SILICA FIBER LASER OPERATING NEAR 2 MUM" OPTICS LETTERS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, US, vol. 28, no. 1, 1 janvier 2003 (2003-01-01), pages 22-24, XP001162129 ISSN: 0146-9592 * pages 22-21; figures 1-3 *	1,3,9		
				DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
				H01S
Y	ALLAIN J Y ET AL: "NARROW LINEWIDTH TUNABLE CW AND Q-SWITCHED 0.98 UM OPERATION BY ERBIUM-DOPED FLUOROZIRCONATE FIBRE LASER" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 25, no. 16, 3 août 1989 (1989-08-03), pages 1082-1084, XP000071919 ISSN: 0013-5194 * page 1083, colonne de droite; figure 1 *	7		
Y	EP 0 272 912 A (SPECTRA-PHYSICS INC) 29 juin 1988 (1988-06-29) * colonne 4, ligne 28 - colonne 5, ligne 15; figures 2a-2c * ----- -/--	8		
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur	
		12 décembre 2005	Marani, R	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire				

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 669228
FR 0551114

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	LIMPERT J ET AL: "Low-nonlinearity single-transverse-mode ytterbium-doped photonic crystal fiber amplifler" avril 2004 (2004-04), OPTICS EXPRESS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC,, US, PAGE(S) 1313-1319 , XP002346510 ISSN: 1094-4087 * page 1317; figure 3 *	11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	SAHU J K ET AL: "Jacketed air-clad cladding pumped ytterbium-doped fibre laser with wide tuning range" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 37, no. 18, 30 août 2001 (2001-08-30), pages 1116-1117, XP006017185 ISSN: 0013-5194 * le document en entier *	1,2,9	
A	RENAUD C C ET AL: "CHARACTERISTICS OF Q-SWITCHED CLADDING-PUMPED YTTERBIUM-DOPED FIBER LASERS WITH DIFFERENT HIGH-ENERGY FIBER DESIGNS" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 37, no. 2, 1 février 2001 (2001-02-01), pages 199-206, XP001011078 ISSN: 0018-9197 * page 202; figure 2 *	1,3-6,9, 10	
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		12 décembre 2005	Marani, R
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 669228
FR 0551114

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	CHEN Z J ET AL: "ENHANCED Q SWITCHING IN DOUBLE-CLAD FIBER LASERS" OPTICS LETTERS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, US, vol. 23, no. 6, 15 mars 1998 (1998-03-15), pages 454-456, XP000753369 ISSN: 0146-9592 * pages 454-455; figures 1,2 *	1,3-6,9, 10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	YA-XIAN FAN ET AL: "Tunable high-peak-power, high-energy hybrid Q-switched double-clad fiber laser" OPTICS LETTERS OPT. SOC. AMERICA USA, vol. 29, no. 7, 1 avril 2004 (2004-04-01), pages 724-726, XP002358502 ISSN: 0146-9592 * pages 724-725; figure 1 *	1,3,9	
A,D	LIMPERT J ET AL: "High-power rod-type photonic crystal fiber laser" OPTICS EXPRESS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC,, US, vol. 13, no. 4, février 2005 (2005-02), pages 1055-1058, XP002346514 ISSN: 1094-4087 * le document en entier *	1,2,9	
A	HOOI Y C ET AL: "TECHNICAL NOTE SELF-MODE-LOCKING IN A Q-SWITCHED ND3+: DOPED SILICAFIBRE LASER" OPTICS AND LASER TECHNOLOGY, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS BV., AMSTERDAM, NL, vol. 28, no. 3, 1 avril 1996 (1996-04-01), pages 223-227, XP000589190 ISSN: 0030-3992 * abrégé; figure 1 *	7	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
12 décembre 2005		Marani, R	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0551114 FA 669228**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 12-12-2005

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0272912 A	29-06-1988	DE 3751360 D1	27-07-1995
		DE 3751360 T2	25-01-1996
		JP 2729621 B2	18-03-1998
		JP 63168063 A	12-07-1988
		US 4761786 A	02-08-1988
