

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 30.12.99.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 06.07.01 Bulletin 01/27.

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) : THOMSON-CSF SEXTANT Société anonyme — FR.

72) Inventeur(s) : MORBIEU BERTRAND et LABORIE JEAN JACQUES.

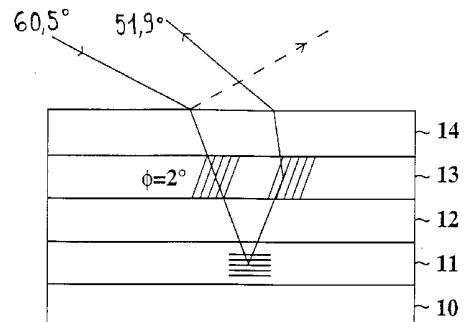
73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : THOMSON CSF.

54) DISPOSITIF DE GENERATION D'IMPULSIONS LASER A TRES FORTE PUISSANCE CRETE, MOYENS DE COMPRESSION ET D'ETIREMENT CORRESPONDANTS.

57) L'invention concerne les générateurs d'impulsions laser de très fortes puissances crête.

Ces générateurs utilisent des réseaux de diffraction pour dévier le faisceau en fonction de la longueur d'onde. L'invention propose un réseau de diffraction particulièrement efficace comportant un réseau holographique en volume (13) sur un support réfléchissant (11). Le réseau holographique en volume a des strates dont l'inclinaison ( $\phi$ ) est telle que le faisceau incident n'est pas diffracté par ce réseau alors que le faisceau réfléchi par le support réfléchissant est diffracté (avec déviation dépendant de la longueur d'onde) en retraversant ce même réseau. Le support réfléchissant peut être réalisé par un miroir diélectrique, ou par un miroir holographique.



**Dispositif de génération d'impulsions laser à très forte puissance crête,  
moyens de compression et d'étirement correspondants**

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

Le domaine de la présente invention est celui de la production d'impulsions laser ultra brèves de très forte énergie. Plus particulièrement, l'invention concerne l'étirement et la compression d'impulsions laser de manière  
5 à obtenir une impulsion de très forte puissance crête.

**2. Description de l'art antérieur**

Dans les domaines de la physique ou de la chimie, de nombreuses analyses et de nombreux traitements nécessitent l'utilisation d'impulsions laser très brèves et de forte énergie. Il est par exemple nécessaire de produire des impulsions laser  
10 très puissantes dans le domaine de la physique des plasmas. Des impulsions de très forte puissance crête sont également très utiles dans le domaine de l'usinage des matériaux, où elles permettent d'obtenir des contours plus nets et précis en réduisant l'échauffement des matériaux usinés. L'invention trouve des applications dans ces différents domaines, et plus généralement dans tous les  
15 domaines dans lesquels il est nécessaire ou souhaitable de disposer d'impulsions de forte puissance crête.

À ce jour, la production d'impulsions laser de très forte puissance crête (Tera ou Péta Watts) utilise la technique CPA (Chirped Pulse Amplification). Cette technique consiste à :

- 20
- étirer une impulsion femtoseconde de basse énergie pour la rendre nanoseconde
  - amplifier son énergie
  - comprimer l'impulsion haute énergie obtenue pour la rendre femtoseconde.

25 On obtient ainsi une impulsion ultra brève de très forte énergie, c'est-à-dire de très forte puissance crête.

On réalise les opérations d'étirement et de compression d'impulsions à

l'aide de réseaux de diffraction, selon un montage préconisé par Treacy (IEEE Journal of Quantum Electronics, vol QE -5 n°9, sept. 1969 p. 454-458). On utilise pour cela la propriété qu'on les réseaux de diffraction de dévier le faisceau d'un angle qui dépend de la longueur d'onde (lorsque la longueur d'onde est très proche du pas géométrique du réseau de diffraction dans la direction suivie par le faisceau). Les impulsions laser ont des composantes de longueurs d'onde variables autour d'une longueur d'onde centrale moyenne. En déviant différemment les différentes longueurs d'onde, on leur fait subir des trajets différents, donc des trajets de durées différentes, tels que l'énergie de l'impulsion soit à la fin concentrée dans une durée très brève pour toutes les longueurs d'onde.

Les réseaux de diffraction utilisés jusqu'à présent sont des réseaux gravés, c'est-à-dire des réseaux comportant en surface des traits gravés à un pas régulier. Cependant, ils ne donnent pas entière satisfaction.

En effet, un inconvénient des réseaux gravés est que leur rendement, de l'ordre de 90 %, ne procure qu'une faible efficacité de compression de l'ordre de 65 %.

Un autre inconvénient de ces réseaux gravés est qu'ils ont une faible tenue au flux laser. À titre d'exemple, pour une impulsion de longueur d'onde 1053 nm et d'une durée de 250 fs, les réseaux gravés en or ont une tenue au flux laser inférieure à 1 J/cm<sup>2</sup>.

En conséquence, les utilisateurs dotés d'installations procurant beaucoup d'énergie ne peuvent, en pratique, bénéficier pleinement de toute la puissance qu'ils seraient en droit d'espérer d'un compresseur et/ou d'un étireur efficaces.

### **3. Objectifs de l'invention**

L'invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients de l'art antérieur.

Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir un dispositif pour étirer et/ou comprimer les impulsions laser qui offre une très grande efficacité d'étirement et/ou de compression.

Un autre objectif de l'invention est d'offrir un dispositif pour étirer et/ou

comprimer les impulsions laser qui présente une tenue au flux améliorée.

#### **4. Présentation de l'invention**

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints selon l'invention à l'aide d'un dispositif de génération d'impulsions laser à très  
5 forte puissance crête comprenant des moyens d'étirement et/ou des moyens de compression desdites impulsions mettant en œuvre au moins un réseau holographique de volume en transmission réalisé sur un support réfléchissant.

On obtient ainsi un dispositif très efficace. En effet, l'efficacité d'un réseau de volume est supérieure à 98 %, ce qui permet d'atteindre une efficacité  
10 de compression sensiblement égale à 92 %, soit un gain de l'ordre de 40 % par rapport aux réseaux gravés. De plus, les matériaux holographiques présentent de bonnes tenues au flux laser, par exemple sensiblement de l'ordre de 2 J/cm<sup>2</sup> et 4 J/cm<sup>2</sup> pour une impulsion de longueur d'onde 1053 nm et de durée 250 femtosecondes.

15 Au lieu d'avoir un réseau gravé en surface et agissant en réflexion directe, on utilise donc selon l'invention un réseau en volume qui reçoit un faisceau incident, le laisse passer vers une couche réfléchissante, et qui reçoit ensuite le faisceau réfléchi pour le diffracter (avec un angle de déviation fonction de la longueur d'onde). On remplace donc la diffraction directe (en transmission ou en  
20 réflexion) par une séquence "transmission sans diffraction-réflexion-transmission avec diffraction", la transmission sans diffraction et la transmission avec diffraction étant réalisées par la même couche contenant un réseau holographique en volume.

Un des avantages de cette structure est, comme on le verra, qu'on peut  
25 faire repartir le faisceau laser dans une direction presque opposée à la direction d'incidence du faisceau, ce qui peut être utile pour réaliser notamment le montage de Treacy.

Selon un aspect avantageux de l'invention, une couche anti-reflet est  
30 disposée à l'interface entre le milieu extérieur et ledit réseau holographique de volume.

La présence de cette couche permet ainsi de réduire les pertes par réflexion à l'interface couche holographique /air, et donc d'accroître l'efficacité de la compression et/ou de l'étirement.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, illustré en figure 1,  
5 ledit réseau de volume en transmission est un réseau à strates inclinées.

On peut ainsi réaliser, par exemple, un réseau en transmission ayant des caractéristiques telles que 100 % de l'onde incidente à  $60,5^\circ$  est transmise par ledit réseau, et 100 % de l'onde précédemment transmise puis réfléchi par ledit support réfléchissant est diffractée par ledit réseau pour sortir en moyenne à  $51,9^\circ$ .

10 Selon deux variantes avantageuses de ce premier mode de réalisation de l'invention, ledit réseau à strates inclinées est réalisé sur un support réfléchissant qui est un miroir diélectrique ou sur un support réfléchissant qui est un miroir holographique à strates non-inclinées.

Des réseaux de forte efficacité de diffraction et de grande dimension  
15 (diamètre sensiblement égal à 150 mm) ont ainsi été réalisés selon l'invention sur miroir diélectrique.

Selon un second mode de réalisation avantageux de l'invention, illustré en figure 2, ledit réseau de volume en transmission est un réseau à strates perpendiculaires d'une part, et ledit support réfléchissant est un miroir  
20 holographique à strates inclinées, d'autre part.

Avantageusement, ledit support réfléchissant et ledit réseau holographique de volume sont séparés par une couche tampon résistante au flux laser. Cette technique permet ainsi de pallier l'inconvénient de l'art antérieur qui est que les réseaux gravés utilisés jusqu'à présent ont une tenue au flux laser inférieure à  
25  $1\text{J}/\text{cm}^2$  pour une impulsion laser de longueur d'onde sensiblement égale à 1053 nm et de durée de l'ordre de 250 femtosecondes.

Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, ledit réseau de volume est constitué de matériaux holographiques, l'un au moins desdits matériaux appartenant au groupe comprenant :

30 - gélatine bichromatée,

- photopolymère,
- matériau réalisé par un procédé sol-gel.

En effet, des essais de tenue au flux laser en régime femtoseconde ont montré un bon comportement des matériaux holographiques précités (par exemple, 4 à 5 J/cm<sup>2</sup> pour la gélatine bichromatée et 2 J/cm<sup>2</sup> avec un photopolymère).

L'invention concerne également les étireurs et les compresseurs mis en œuvre dans de tels dispositifs, en tant que tels.

### **5. Liste des figures**

10 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

15 - la figure 1 présente un premier mode de réalisation de l'invention, mettant en œuvre un réseau à strates inclinées sur un miroir diélectrique ou holographique.

20 - la figure 2 illustre un second mode de réalisation de l'invention mettant en œuvre un réseau à strates perpendiculaires sur un miroir holographique à strates inclinées et remplissant une fonction optique similaire à celle du dispositif de la figure 1.

### **6. Description d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention**

Le principe général de l'invention repose sur l'utilisation de réseaux holographiques de volume pour réaliser des compresseurs et/ou des étireurs d'impulsion laser. Ces étireurs et ces compresseurs permettent de réaliser des dispositifs de génération d'impulsions laser haute puissance. Un tel dispositif comprend un étireur d'impulsions, un amplificateur de l'impulsion étirée et un compresseur de l'impulsion amplifiée. Un réseau de volume est constitué d'une couche épaisse (plusieurs dizaines de microns) d'un matériau holographique dans lequel sont inscrites des strates de pas  $\Lambda$  inclinées d'un angle  $\phi$  par rapport à la normale au support de la couche.

25

30

On décrit par la suite un réseau (pour un compresseur ou un étireur) selon l'invention (selon le montage préconisé par Treacy, deux réseaux sont utilisés pour réaliser un compresseur).

On présente, en relation avec la figure 1, un mode de réalisation d'un système de diffraction pour un laser néodyme de longueur d'onde moyenne 1053 nm et de durée d'impulsion 250 femtosecondes.

Ce composant fonctionne pour une polarisation dite parallèle, telle que le champ électrique est dans le plan d'incidence défini par la normale au composant et le vecteur réseau. L'angle d'incidence est au voisinage de l'angle de Brewster.

Le composant comprend un support 10 qui peut être en verre, par exemple de type BK7. Ledit support 10 est revêtu d'un miroir 11 adapté aux conditions suivantes :

- la longueur d'onde émise par le laser est sensiblement égale à 1053 nm,
- le champ électrique incident présente une polarisation parallèle,
- et l'angle d'incidence de l'impulsion laser considérée est sensiblement égal à  $60,5^\circ$  par rapport à la normale aux couches du composant.

Le miroir 11 est, dans cet exemple, un miroir multidiélectrique. Selon un mode de réalisation de l'invention, il peut être composé d'un empilement de paires de couches  $\text{SiO}_2 - \text{HfO}_2$ . Par exemple, la couche externe peut être une couche de  $\text{SiO}_2$ . Le miroir 11 est revêtu d'une couche tampon 12 résistante au flux laser. Ladite couche tampon 12 peut être constituée d'un matériau transparent tel que  $\text{SiO}_2$  par exemple, de préférence déposé par un procédé sol-gel. Elle présente avantageusement un indice de réfraction voisin de celui du matériau holographique 13 et une épaisseur telle que, pour la longueur de l'impulsion laser considérée, le dit réseau holographique ainsi constitué n'est plus le siège d'interférences entre l'onde incidente et l'onde réfléchie. Ladite couche tampon 12 est ensuite recouverte d'une couche d'un matériau holographique 13, qui

constitue un réseau holographique de volume. Selon le mode de réalisation illustré sur la figure 1, le matériau 13 utilisé est un matériau photopolymère dans lequel sont inscrites des strates de pas  $\Lambda$  (quelques centaines de nanomètres) inclinées par rapport à la normale au support d'un angle  $\phi$  sensiblement égal à  $2^\circ$ . Selon  
5 l'angle d'incidence  $\alpha$  du faisceau laser par rapport à ces strates, le faisceau voit dans sa direction de propagation des strates écartées d'un pas  $\Lambda/\cos\alpha$ . Il existe un angle critique d'incidence du faisceau laser par rapport aux strates, pour lequel le faisceau laser voit des strates régulièrement réparties à un pas qui est égal à la  
10 longueur d'onde (ou multiple ou sous-multiple de la longueur d'onde). Pour cet angle critique  $\alpha_{cr}$  le réseau est fortement diffractif et renvoie le faisceau à un angle qui dépend de la longueur d'onde. Dès qu'on s'écarte de cet angle, même de 1 ou  $2^\circ$ , le réseau n'est plus diffractif et est traversé sans modification par le faisceau laser.

Une couche anti-reflet 14 peut être disposée à l'interface entre le milieu  
15 extérieur et ledit réseau holographique de volume en polarisation perpendiculaire, de manière à minimiser les pertes par réflexion. Elle n'est pas nécessaire en polarisation parallèle.

On donne maintenant un exemple de valeurs numériques pour ce mode de réalisation :

- 20 - l'épaisseur du miroir 11 est approximativement égale à 10 microns,
- la couche tampon 12 a une épaisseur de 25 microns,
- la couche de matériau holographique 13 a une modulation d'indice de 0,04 et une épaisseur de 27,5 microns.

25 Selon le mode de réalisation présenté sur la figure 1, l'onde incidente subit successivement les effets suivants :

- transmission au travers de l'interface entre l'air et la couche antireflet 14. Les pertes par réflexion sont minimisées compte tenu de l'état de la polarisation et de l'angle d'incidence ;
- 30 - transmission à travers la couche anti-reflet jusqu'à l'interface

avec la couche holographique. L'angle d'incidence du faisceau par rapport aux strates du réseau de la couche holographique est suffisamment écarté de l'angle critique  $\alpha_{cr}$  pour que la couche holographique reste complètement transparente pour le faisceau. L'écart est dû à l'angle  $\phi$  (angle d'inclinaison des strates du réseau) et est d'environ  $2^\circ$  ;

5

- transmission à travers la couche holographique. Dans ces conditions d'incidence, l'onde n'est pas diffractée ; pour simplifier, on a supposé que l'indice optique de la couche holographique est le même que celui de la couche anti-reflet, de la couche tampon, et de la couche réfléchissante ;

10

- traversée de la couche tampon ;
- réflexion sur le miroir diélectrique ;
- traversée de la couche tampon ;
- retour du faisceau vers le réseau holographique de la

15

couche 13 : mais cette fois l'angle d'incidence sur les strates est différent et est très proche de l'angle critique ; il y a diffraction avec une très forte efficacité par le réseau holographique, et modification de l'angle de sortie en fonction de la longueur d'onde. Le faisceau est alors dévié en fonction de sa longueur d'onde conformément à la loi des réseaux ;

20

- transmission au travers de l'interface couche holographique – air. Les pertes par réflexion sont minimisées compte tenu de l'état de polarisation et des angles autour de  $60^\circ$ .

Ainsi, pour un faisceau d'entrée incident à  $60,5^\circ$  , le faisceau de sortie ressort à une incidence de  $51,9^\circ$  pour la longueur d'onde moyenne de 1053nm, l'incidence de sortie variant avec la longueur d'onde.

25

On présente maintenant, en relation avec la figure 2, un deuxième mode de réalisation d'un réseau de volume pour un laser néodyme de longueur d'onde moyenne 1053 nm et de durée d'impulsion 250 femtosecondes.

Le composant présenté en figure 2 comprend un support 20 recouvert d'un miroir holographique 21 à strates faiblement inclinées par rapport à la couche

30

( $\phi=89^\circ$  par rapport à la normale à la couche). Une couche tampon 22, résistante au flux laser, et présentant des caractéristiques semblables à celles décrites dans le premier mode de réalisation, recouvre le miroir holographique 21. Un matériau holographique 23 est déposé sur la couche 22 de manière à constituer un réseau  
5 holographique à strates perpendiculaires à la couche ( $\phi=0^\circ$ ). L'angle d'incidence est sensiblement égal à  $60,5^\circ$ , et l'angle diffracté est sensiblement égal à  $51,9^\circ$  pour la longueur d'onde moyenne de 1053 nm.

Une couche anti-reflet 24 peut également être prévue.

Le matériau holographique utilisé pour le réseau holographique de volume  
10 peut être de la gélatine bichromatée, qui présente une tenue au flux laser accrue, un photopolymère, ou un matériau sol-gel.

## REVENDEICATIONS

1. Dispositif de génération d'impulsions laser à très forte puissance crête, comprenant des moyens d'étirement et/ou des moyens de compression desdites  
5 impulsions, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un réseau holographique de volume en transmission réalisé sur un support réfléchissant.
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le réseau holographique de volume en transmission est constitué par des strates dont l'angle d'inclinaison est choisi de telle sorte qu'un faisceau laser incident traverse ce  
10 réseau sans diffraction, se réfléchisse sur le support réfléchissant, et retraverse le réseau avec diffraction.
3. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'une couche anti-reflet est disposée à l'interface entre le milieu extérieur et ledit réseau holographique de volume.
- 15 4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit réseau de volume en transmission est un réseau à strates inclinées, d'une part, et que ledit support réfléchissant est un miroir holographique à strates non-inclinées, d'autre part.
5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en  
20 ce que ledit réseau de volume en transmission est un réseau à strates inclinées, d'une part, et que ledit support réfléchissant est un miroir diélectrique, d'autre part.
6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit réseau de volume en transmission est un réseau à strates  
25 perpendiculaires, d'une part, et que ledit support réfléchissant est un miroir holographique à strates inclinées, d'autre part.
7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit support réfléchissant et ledit réseau holographique de volume sont séparés par une couche tampon résistante au flux laser.

8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ledit réseau de volume est constitué de matériaux holographiques, l'un au moins desdits matériaux appartenant au groupe comprenant :
- gélatine bichromatée
  - 5 - photopolymère
  - matériau sol-gel.
9. Moyens de compression pour un dispositif de génération d'impulsions laser à très forte puissance crête selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'ils mettent en œuvre au moins un réseau holographique de
- 10 volume en transmission sur un support réfléchissant.
10. Moyens d'étirement pour un dispositif de génération d'impulsions laser à très forte puissance crête selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'ils mettent en œuvre au moins un réseau holographique de volume sur un support réfléchissant.

1/1

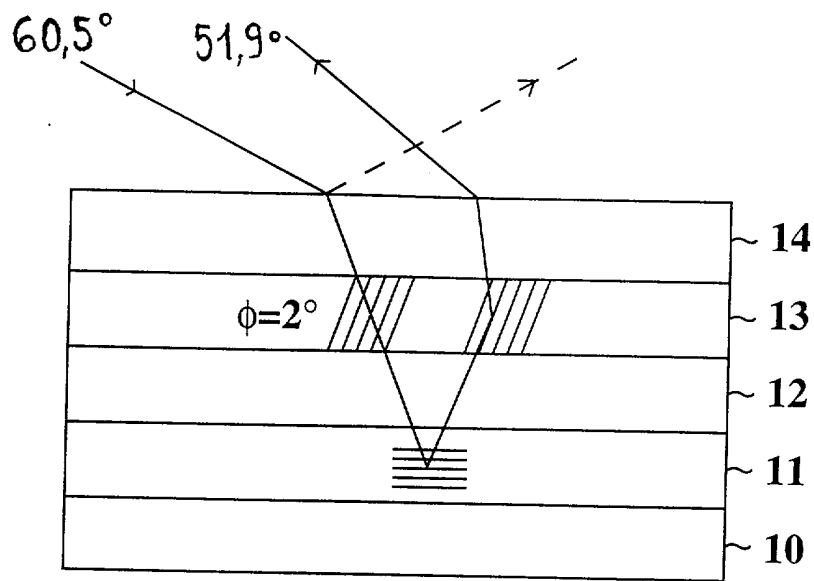


Fig. 1

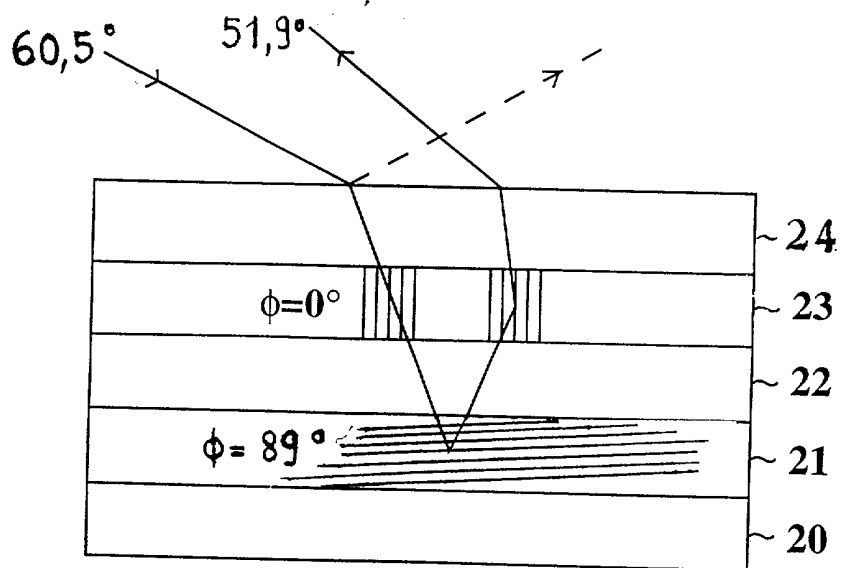


Fig. 2



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	TSUNG-YUAN YANG ET AL: "Femtosecond laser pulse compression using volume phase transmission holograms" APPLIED OPTICS, 1 JULY 1985, USA, vol. 24, no. 13, pages 2021-2023, XP002145940 ISSN: 0003-6935 * le document en entier *	1,9,10	
A	LOISEAUX B ET AL: "CHARACTERIZATION OF PERPENDICULAR CHIRPED PHASE VOLUME GRATING PAIRS FOR LASER PULSE STRETCHING" OPTICS LETTERS, US, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, vol. 21, no. 11, 1 juin 1996 (1996-06-01), pages 806-808, XP000594889 ISSN: 0146-9592 * le document en entier *	1,8-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (int.CL.7)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
1 septembre 2000		Hervé, D	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
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		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	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)