



(51) Classification internationale des brevets :
G01L 1/24 (2006.01) **B23K 26/06** (2006.01)
G01D 5/353 (2006.01) **G01B 11/16** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2010/000147

(22) Date de dépôt international :
22 février 2010 (22.02.2010)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0900816 23 février 2009 (23.02.2009) FR

(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75016 Paris (FR). **UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE** [FR/FR]; 1, rue Claude Goudimel, F-25000 Besançon (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
PERREUX, Dominique, Michel, Bernard [FR/FR]; 22, clos du Moulin, F-25480 Pirey (FR). **DELOBELLE,**

Benoît, Paul, Guy [FR/FR]; 10, allée des Acacias, F-25480 Pirey (FR).

(74) Mandataires : **CORRET, Hélène** et al.; Cabinet Ores, 36, rue de St Pétersbourg, F-75008 Paris (FR).

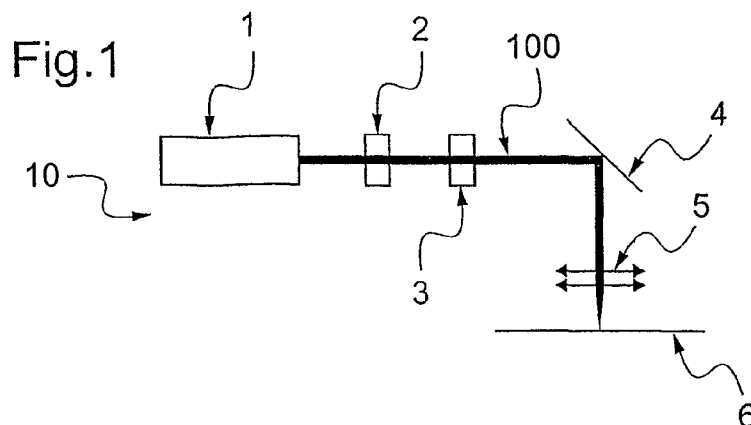
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,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

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD OF PRODUCING A DEFECT ON THE SURFACE OF AN OPTICAL FIBRE

(54) Titre : PROCEDE DE REALISATION D'UN DEFAUT A LA SURFACE D'UNE FIBRE OPTIQUE



(57) Abstract : The invention provides a method of producing a defect on the surface of an optical fibre, to an optical fibre directly obtained by this method, to a fibre-optic sensor comprising at least one such optical fibre and to a device for implementing the method, the method being characterized in that: (a) a maximum deformation of the optical fibre that it is desired to obtain in a region of the optical fibre is defined; (b) the geometry of the defect to be produced is determined from the maximum deformation defined in step (a); (c) a set of physical parameters characterizing a coherent light beam (1) to be emitted by a light amplification means (1) delivering ultrashort pulses depending on the geometry of the defect to be produced, is determined; and (d) the optical fibre is illuminated with a coherent light beam emitted by the ultrashort-pulse light amplification means, the physical parameters of said beam having been determined beforehand in step (c), so as to obtain the defect.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



Publiée :

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

L'invention propose un procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique, une fibre optique directement obtenue par ce procédé, un capteur à fibre optique comprenant au moins une telle fibre optique, ainsi qu'un dispositif de mise en &oeil, -uvre du procédé, le procédé étant caractérisé par le fait que : (a) on définit une déformation maximale de la fibre optique que l'on souhaite obtenir au niveau d'une région de la fibre optique; (b) on détermine la géométrie du défaut à réaliser à partir de la déformation maximale définie à l'étape (a); (c) on détermine un ensemble de paramètres physiques caractérisant un faisceau de lumière (1) cohérente à émettre par un moyen d'amplification de la lumière (1) délivrant des impulsions ultra-brèves, en fonction de la géométrie du défaut à réaliser; (d) on éclaire la fibre optique avec un faisceau de lumière cohérente émis par le moyen d'amplification de la lumière à impulsions ultra-brèves, faisceau dont les paramètres physiques ont été préalablement déterminés à l'étape (c), afin d'obtenir le défaut.

PROCEDE DE RÉALISATION D'UN DÉFAUT A LA SURFACE D'UNE FIBRE OPTIQUE

L'invention concerne le domaine des capteurs à fibre optique
5 pour contrôler la déformation maximale admissible d'une structure telle qu'un
réservoir d'hydrogène, un pont ou autre.

La présente invention se rapporte à un procédé de réalisation
d'un défaut à la surface d'une fibre optique.

La présente invention se rapporte à une fibre optique
10 directement obtenue par ce procédé.

La présente invention se rapporte également à un capteur à
fibre optique comportant une ou plusieurs fibres optiques obtenues par ce
procédé.

La présente invention se rapporte encore à un dispositif de
15 mise en œuvre de ce procédé.

On connaît des capteurs à fibre optique pour contrôler la
déformation d'une structure. Ceux-ci peuvent être des capteurs à fibre optique
à réseaux de Bragg, des capteurs interférométriques à fibre optique ou encore
des capteurs à fibre optique dits à diffusion, de type Brillouin ou Raman.

20 Les capteurs à fibre optique à réseaux de Bragg permettent
des mesures de déformations locales, en continu, d'une structure. Les
capteurs interférométriques à fibre optique ou les capteurs à fibre optique dits
à diffusion permettent, quant à eux, de réaliser une mesure globale de la
déformation d'une structure.

25 Un inconvénient lié à l'utilisation de capteurs à fibre optique
existants est leur coût élevé. Par exemple, un capteur à fibre optique à
réseaux de Bragg permet de suivre l'évolution de la déformation locale d'une
structure. Pour cela, il nécessite évidemment une source de lumière de
longueur d'onde donnée pour alimenter ces réseaux, mais également des
30 moyens de détection adaptés pour analyser le spectre renvoyé par ces
réseaux. Or, le traitement de ce spectre est très coûteux.

Par ailleurs, pour certaines applications, suivre l'évolution en continu de la déformation d'une structure est une information superflue et seule, une information portant sur la déformation maximale de la structure s'avère intéressante.

5 Dans de telles applications, on met ainsi en œuvre un capteur à fibre optique coûteux, dont les possibilités sont surdimensionnées par rapport au besoin.

Il serait donc intéressant d'avoir un capteur à fibre optique plus simple de mise en œuvre et moins coûteux.

10 A cet effet, l'invention propose notamment un procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique.

Plus précisément, l'invention propose un procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique, caractérisé en ce que :

- 15 (a) on définit une déformation maximale associée à la contrainte à la rupture de la fibre optique que l'on souhaite obtenir au niveau d'une région de la fibre optique ;
- (b) on détermine la géométrie du défaut à réaliser à partir de la déformation maximale définie à l'étape (a) ;
- (c) on détermine un ensemble de paramètres physiques caractérisant
20 un faisceau de lumière cohérente à émettre par un moyen d'amplification de la lumière délivrant des impulsions ultra-brèves, en fonction de la géométrie du défaut à réaliser ;
- (d) on éclaire la fibre optique avec un faisceau de lumière cohérente émis par le moyen d'amplification de la lumière à impulsions ultra-
25 brèves, faisceau dont les paramètres physiques ont été préalablement déterminés à l'étape (c), afin d'obtenir le défaut.

On pourra prévoir d'autres caractéristiques techniques du procédé selon l'invention, prises seules ou en combinaison :

- les paramètres physiques caractérisant le faisceau de lumière cohérente
30 comprennent le nombre d'impulsions ultra-brèves délivrées par le moyen d'amplification de la lumière, la fluence du faisceau de lumière cohérente,

l'ouverture numérique et la polarisation dudit faisceau de lumière cohérente ;

- pour réaliser un défaut de section circulaire, on délivre une impulsion ultra-brève unique avec un faisceau de lumière cohérente de polarisation circulaire ;

- pour réaliser un défaut de section elliptique, on effectue :

- o une première impulsion ultra-brève avec un faisceau de lumière cohérente de polarisation circulaire ;

- o un déplacement de la fibre optique par rapport au moyen d'amplification de la lumière ; et

- o une deuxième impulsion, également avec un faisceau de lumière de polarisation circulaire.

- pour régler la fluence du faisceau de lumière cohérente au niveau de la fibre optique, on modifie soit la puissance du faisceau, soit l'ouverture numérique du faisceau, soit la position respective entre la fibre optique et la zone de focalisation maximum du faisceau ou une combinaison quelconque de ces paramètres ;

- on répète plusieurs fois au moins l'étape (d) le long de la fibre optique.

L'invention propose également une fibre optique comportant une partie centrale en silice, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un défaut à la surface de la silice obtenu par le procédé selon l'invention, de sorte qu'il présente une taille inférieure à $2\mu\text{m}$, par exemple inférieure à $1.5\mu\text{m}$ et de préférence comprise entre 200nm et $1\mu\text{m}$.

La fibre optique pourra en outre comporter au moins l'une des caractéristiques suivantes, prise seule ou en combinaison :

- ledit au moins un défaut présente une profondeur inférieure à $2\mu\text{m}$;
- ledit au moins un défaut présente une profondeur inférieure à 600nm , par exemple entre 10nm et 200nm ;
- ledit au moins un défaut présente au moins une forme cylindrique ou conique de section elliptique ou circulaire ;

- ledit au moins un défaut se présente sous la forme de deux formes coaxiales ;
- il est prévu une pluralité de défauts sur la longueur de la fibre optique.

5 L'invention propose encore un capteur à fibre optique comprenant des moyens d'alimentation d'au moins une fibre optique par un signal optique et des moyens de détection dudit signal en sortie de ladite au moins une fibre optique, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une fibre optique selon l'invention.

10 L'invention propose enfin un dispositif de mise en œuvre du procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique selon l'invention, caractérisé en ce qu'il comprend :

- o un moyen d'amplification d'une lumière cohérente pour délivrer un faisceau de lumière cohérente à impulsions ultra-brèves sur la fibre optique ;
- 15 o des moyens pour régler l'énergie des impulsions délivrées par le moyen d'amplification ;
- o un moyen de focalisation du faisceau sur la fibre optique ;
- o un moyen pour positionner la fibre optique par rapport au faisceau laser.

20 Le dispositif pourra par ailleurs comporter au moins l'une des caractéristiques suivantes, prise seule ou en combinaison :

- le moyen d'amplification de la lumière délivrant des impulsions ultra-brèves est un laser femtoseconde ;
- les moyens pour régler l'énergie des impulsions délivrées par le moyen d'amplification comprennent une cellule de Pockels ;
- 25 - les moyens pour régler l'énergie des impulsions délivrées par le moyen d'amplification comprennent un moyen de gestion des densités optiques ;
- le moyen pour positionner la fibre optique par rapport au faisceau laser comporte une platine susceptible de se déplacer par translation selon les
- 30 trois directions de l'espace, et par rotation pour ajuster la position de la fibre optique par rapport à l'axe du faisceau laser.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention seront énoncés dans la description détaillée ci-après faite en référence aux figures suivantes :

- 5 - la figure 1 représente un schéma de principe d'un dispositif conforme à l'invention ;
- la figure 2 représente la forme du faisceau de lumière cohérente, émis par le dispositif, suivi le long de son parcours vers la fibre optique ;
- la figure 3 représente une orientation possible du banc sur
10 lequel la fibre optique est disposée par rapport au faisceau de lumière cohérente de la figure 2 ;
- la figure 4 représente une autre orientation possible du banc sur lequel la fibre optique est disposée par rapport au faisceau de lumière cohérente de la figure 2;
- 15 - la figure 5 représente la probabilité de rupture de différentes fibres optiques en fonction de la force qui leur est appliquée ;
- la figure 6 est une photographie représentant des défauts réalisés à la surface d'une fibre optique ;
- la figure 7 représente l'évolution de la profondeur d'un
20 défaut réalisé à la surface de la fibre optique en fonction de la fluence du faisceau laser.
- la figure 8 représente l'évolution de la profondeur d'un défaut réalisé à la surface de la fibre optique en fonction de la taille de ce défaut.

25 Pour résoudre le problème posé par l'invention, le Demandeur a en premier lieu envisagé d'accroître le nombre d'impuretés présentes dans le matériau formant la fibre optique (silice essentiellement) et, bien entendu, de maîtriser cet accroissement.

 En effet, c'est le nombre d'impuretés présentes dans la silice
30 qui limite principalement la résistance mécanique des fibres optiques. Seulement, lorsqu'on fabrique une fibre optique, les impuretés sont par

définition des constituants indésirables. On ne maîtrise donc pas à ce jour la quantité d'impuretés présentes dans la fibre.

De plus, à supposer que les techniques futures puissent permettre de contrôler la quantité d'impuretés, afin de maîtriser avec précision la contrainte à la rupture de la fibre optique, une telle possibilité ne serait ouverte qu'aux seuls fabricants de fibres optiques.

Pour ces raisons, le Demandeur a envisagé de réaliser un défaut à la surface de la fibre optique, pour contrôler la contrainte à la rupture de la fibre.

10 Le fonctionnement du capteur qui peut être obtenu avec une ou plusieurs de ces fibres optiques peut être présenté comme suit.

Quand la structure sur laquelle le capteur est monté subit une déformation inférieure à la déformation maximale que la fibre optique atteint lorsqu'elle se rompt, la déformation de la structure est considérée comme normale. Il s'agit du premier état de fonctionnement du capteur à fibre optique.

15 En revanche, dès que la structure subit une déformation dépassant cette déformation maximale, la fibre optique rompt. Elle ne peut alors plus véhiculer un quelconque signal de mesure. L'absence de détection de ce signal au niveau d'un moyen de détection s'interprète comme une déformation anormale de la structure. Il s'agit du deuxième état de fonctionnement du capteur à fibre optique.

Pour cela, on cherche à modifier la contrainte à la rupture de la fibre optique et par suite, la déformation maximale associée à cette contrainte à rupture en réalisant un défaut maîtrisé à la surface de la fibre optique.

25 Une fibre optique présente généralement un cœur de fibre, le plus souvent en silice et dont le diamètre est de quelques dizaines de microns, entouré d'une gaine optique, en silice également, la gaine optique étant elle-même entourée par une gaine de protection, le plus souvent en polymère. Classiquement, une fibre optique avec sa gaine optique présente

30

un diamètre de 125µm, le diamètre total de la fibre avec la gaine de protection atteignant typiquement 250µm.

Aussi, si on souhaite réaliser un défaut à la surface de la fibre pour contrôler sa déformation maximale, il est nécessaire que le défaut
5 présente des dimensions très inférieures à celles de la fibre elle-même. Par là, il faut entendre un défaut dont les dimensions sont comprises entre quelques dizaines de nanomètres et quelques centaines de nanomètres.

Pour obtenir de telles tailles de défauts, le Demandeur s'est intéressé au laser femtoseconde.

10 Un laser femtoseconde est un laser qui délivre des impulsions de l'ordre de la femtoseconde pouvant être qualifiées d'ultra-brèves, et émettant une lumière cohérente de l'infrarouge à l'ultraviolet.

L'impact d'un laser femtoseconde sur une matière cible est radicalement différent de celui réalisé par un laser émettant des impulsions
15 plus longues, par exemple pour des impulsions supérieures à la picoseconde.

En effet, avec un laser femtoseconde, la diffusion de la chaleur au sein de la matière cible est minimisée, voire nulle. La durée d'impulsion et, par suite, l'énergie impliquée ne laissent pas aux transferts thermiques le temps de prendre place. On parle de procédé quasi-
20 athermique. L'étendue de la zone de la matière cible affectée par le faisceau est limitée à la zone de focalisation du faisceau laser. Au contraire, avec des lasers fournissant des impulsions plus longues, l'étendue de la zone de la matière cible affectée par le faisceau comprend la zone de focalisation du laser et une zone affectée par les transferts thermiques.

25 Lorsqu'on délivre un faisceau laser issu d'un laser femtoseconde sur une matière cible, l'énergie du faisceau laser est transférée à la matière cible en arrachant des électrons aux atomes de cette matière. Certains atomes sont ainsi ionisés. Du fait de la brièveté de l'impulsion, les ions formés par l'impact du faisceau laser ne se déplacent pas et les électrons
30 arrachés aux atomes de la matière cible restent dans la zone couverte par les

ions. On assiste alors à une recombinaison de ces électrons avec les ions dans la zone impactée.

Selon le niveau d'énergie impliqué, la recombinaison peut avoir lieu en phase solide ou en phase gazeuse. Autrement dit, en fonction de l'énergie impliquée, le faisceau laser peut soit altérer la matière cible en provoquant une modification de sa structure (phase solide) ou en sublimant cette matière cible (phase gazeuse).

Si le niveau d'énergie impliqué est suffisant pour obtenir une sublimation, alors on parle d'ablation de la matière cible.

L'utilisation d'un laser femtoseconde pour effectuer l'ablation d'un cristal de SiO_2 est par exemple présenté dans le document « Femtosecond laser ablation of crystals SiO_2 and YAG », Shizhen Xu & al., Optics Communication 274 (2007), pp. 163-166.

Toutefois, les études connues ne visent pas la réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique pour contrôler la déformation maximale associée à la contrainte à la rupture et par suite, réaliser un capteur à fibre optique.

A cet effet, le dispositif selon l'invention comporte au moins un moyen d'amplification de la lumière délivrant des impulsions ultra-brèves, ce moyen étant susceptible d'émettre un faisceau de lumière cohérente.

Dans la suite de la description, le moyen d'amplification de la lumière délivrant des impulsions ultra-brèves est un laser femtoseconde.

On comprendra cependant, à la lecture de la description qui suit, que le laser femtoseconde n'est qu'un exemple de réalisation. Un moyen d'amplification d'une lumière cohérente hors des domaines couverts de l'infrarouge jusqu'à l'ultraviolet et/ou délivrant des impulsions plus courtes que la femtoseconde pourrait être envisagé.

Avec un niveau d'énergie relativement faible, l'impact créé par le faisceau laser permet de modifier la contrainte à la rupture de la fibre optique, en réalisant une zone en phase solide présentant une structure distincte de la structure du reste de la fibre.

Avec une énergie plus importante, le faisceau laser permet de modifier la contrainte à la rupture de la fibre optique, en réalisant un défaut à la surface de la fibre optique. En effet, dans ce cas, la matière cible absorbe l'énergie du faisceau laser, puis la matière sublimée est expulsée pour former le défaut. Il y a ablation de la fibre optique. De préférence, mais non exclusivement, l'invention met en œuvre ce type de défaut.

Le dispositif selon l'invention vise à réaliser un défaut à la surface de la silice de la fibre, à savoir à la surface de l'ensemble formé par le cœur de fibre et sa gaine optique. Le faisceau laser passe donc à travers la gaine de protection entourant l'ensemble formé par le cœur de fibre et sa gaine optique et ne vise pas à créer un défaut dans cette gaine de protection. Ceci n'aurait que peu de conséquences sur l'évolution de la contrainte à la rupture de la fibre, et rendrait par ailleurs la fibre optique inutilisable, la gaine de protection visant principalement à protéger la silice.

Par la suite, on parlera plus généralement de la réalisation d'un défaut à la surface de la fibre optique, mais il s'agira d'un défaut réalisé à la surface de la silice de la fibre, c'est-à-dire à la surface de la gaine optique.

Le dispositif 10 selon l'invention est représenté schématiquement sur la figure 1.

Il comprend notamment un moyen d'amplification de la lumière susceptible d'émettre un faisceau de lumière cohérente qui est plus précisément un laser femtoseconde 1. Il comprend également selon le sens de parcours de la lumière, une cellule de Pockels 2, un moyen de gestion des densités optiques 3, un miroir défecteur 4, un moyen de focalisation 5 du faisceau et un banc 6 sur lequel la fibre optique est montée.

Pour les applications prévues dans le cadre de l'invention, on a envisagé par exemple un laser femtoseconde 1 délivrant des impulsions de 120fs à un taux de répétition de 5kHz.

La cellule de Pockels 2 et le moyen de gestion des densités optiques 3 permettent de modifier la puissance du faisceau laser émis par le laser femtoseconde 1.

Le moyen de gestion des densités optiques 3 est par exemple formé par deux roues coaxiales, chacune de ces roues comportant plusieurs orifices munis de « filtres » présentant des densités optiques distinctes et qui peuvent être mis sur la trajectoire du faisceau laser.

5 L'association de telles roues est connue de l'homme du métier pour former un moyen de gestion des densités optiques.

La première roue, située en amont par rapport au parcours de la lumière, comprend par exemple une position sans densité et des positions avec des densités 1, 2, 3, 4 etc. La deuxième roue, en aval de la première
10 roue par rapport au parcours de la lumière, comprend par exemple une position sans densité, et des positions avec des densités de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, etc. L'association des deux roues permet ainsi d'avoir des filtres dont les densités optiques couvrent une gamme de nombres comportant au moins 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, etc..., 1, 2, 3, 4, etc...

15 Le miroir défecteur 4 vise simplement à renvoyer le faisceau en direction du banc 6. On pourrait prévoir un arrangement du dispositif ne nécessitant pas ce miroir défecteur 4.

L'influence du moyen de focalisation 5 sur le faisceau laser est représentée sur les figures 2 à 4, plus précisément sur la figure 2.

20 Sur cette figure 2, on observe le faisceau laser 100 en amont du système de focalisation 5, qui est sensiblement cylindrique. En aval du système de focalisation 5, le faisceau laser 101 converge jusqu'à une zone de focalisation maximale 110 au-delà de laquelle le faisceau laser 102 diverge.

Entre le système de focalisation 5 et la zone de focalisation
25 maximale 110, on a représenté deux régions sur la figure 2. La première région R1 est une région du faisceau prise entre le système de focalisation 5 et la zone de focalisation maximale 110. La deuxième région R2 est une région du faisceau prise au niveau de la zone de focalisation maximale 110.

Entre ces deux régions, l'énergie du faisceau laser est la
30 même, mais la fluence diffère. La fluence est définie par le rapport entre l'énergie du faisceau sur la surface d'éclairement dudit faisceau.

En effet, la surface d'éclairement de la région R1 est plus grande que la surface d'éclairement de la région R2. Il s'ensuit que la fluence du faisceau laser de la région R1 est plus faible que la fluence de la région R2.

5 Ainsi, pour une puissance du faisceau laser donnée, si la fibre optique sur laquelle on cherche à obtenir un défaut est placée au niveau de la région R1, alors la taille du défaut est plus petite que la taille du défaut qui serait obtenue si la fibre optique en question était disposée au niveau de la région R2.

10 Il est à noter que si la fluence est inférieure à une fluence critique, alors il n'y a pas d'ablation de la fibre optique, mais seulement une modification de ses propriétés optiques. Par exemple, on peut constater sur la figure 7 qui sera décrite de façon plus détaillée par la suite que la fluence critique est d'environ 1.5 J/cm². En effet, en dessous de cette valeur, la
15 profondeur h_{1Max} du défaut est nulle : cela signifie qu'il n'y a pas d'ablation de la silice.

La forme du faisceau laser décrite ci-dessus est liée à l'Ouverture Numérique ON (ou NA pour « Numerical Aperture » selon la terminologie anglo-saxonne) du moyen de focalisation 5. On parle également
20 d'ouverture numérique du faisceau.

L'ouverture numérique ON du faisceau laser est définie par la relation :

$$ON = n \sin u$$

25 où :

n est l'indice de réfraction du milieu dans lequel se propage le faisceau laser,
u est l'angle formé entre l'axe 103 du faisceau laser et la limite externe dudit faisceau, entre le moyen de focalisation 5 et la zone de focalisation maximale
110.

30 Dans le cadre de l'invention, le milieu dans lequel se propage le faisceau laser est de l'air dont l'indice de réfraction est de l'ordre de l'unité.

Ainsi, pour un moyen de focalisation 5 présentant une ouverture numérique $ON = 0.8$, l'angle u est d'environ 53° et pour un autre moyen de focalisation 5 présentant une ouverture numérique $ON = 0.4$, l'angle u est d'environ 23.6° .

Enfin, le dispositif 10 comprend un banc 6 pour positionner la
5 fibre optique. Le banc 6 comporte des moyens pour ajuster cette position, et éventuellement, des moyens pour déplacer la fibre à une vitesse relative contrôlée par rapport au faisceau laser, ou plus généralement par rapport au laser 1 lui-même.

Les moyens d'ajustement sont formés d'une platine
10 susceptible de se déplacer en translation selon les trois directions X, Y, Z de l'espace, mais également de tourner par rapport à l'axe 103 du faisceau laser, en particulier afin de s'assurer que la fibre optique soit perpendiculaire à l'axe du faisceau.

On pourra se référer aux figures 3 et 4 qui montrent
15 différentes positions du banc 6 sur lequel la fibre optique est disposée, le banc 6 étant assimilable sur ces figures à la platine. La figure 3 montre une position dans laquelle la fibre optique, qui s'étend dans le plan du banc 6, n'est pas perpendiculaire à l'axe 103 du faisceau laser (θ non nul sur la figure 3). Au contraire, la figure 4 montre une position dans laquelle la fibre optique est
.. 20 perpendiculaire à l'axe 103 du faisceau laser ($\theta = 0^\circ$ sur la figure 4).

La platine comporte une rainure dans laquelle est logée la fibre optique. La rainure permet ainsi le maintien de la fibre optique sur la platine.

Bien entendu, d'autres moyens pourraient être utilisés pour
25 assurer le maintien et l'ajustement de la position de la fibre optique.

Les moyens d'ajustement permettent de régler avec une très grande précision la position relative de la fibre optique par rapport au laser 1. Cette précision est assurément inférieure à 100nm, et le plus souvent de l'ordre de 10nm.

Les dimensions des défauts obtenus avec ce laser sont comprises entre quelques dizaines de nanomètres et quelques centaines de nanomètres.

Par exemple, la profondeur du défaut peut être comprise entre
5 10nm et 200nm. Son diamètre peut être compris entre 200nm et 1µm. La précision obtenue sur les dimensions de ces défauts est nanométrique, à savoir généralement comprise dans une gamme de ± 20 nm.

Le laser femtoseconde permet donc d'avoir accès à des dimensions de défaut compatibles avec les dimensions d'une fibre optique,
10 dont le diamètre est typiquement de l'ordre de quelques dizaines de microns.

Il est alors envisageable de réaliser un défaut permettant de diminuer, par rapport à une fibre optique sans défaut, la contrainte à la rupture d'une fibre optique avec une grande précision.

Le tableau 1 ci-dessous précise quelques valeurs
15 envisageables pour la profondeur et la largeur des défauts susceptibles d'être réalisés à la surface d'une fibre optique.

Ces résultats sont obtenus pour une ouverture numérique de 0.8. Il est à noter qu'en modifiant l'ouverture numérique, les valeurs fournies dans le tableau 1 changent mais les ordres de grandeur restent comparables.

20

Profondeur (nm)	Largeur (nm)
50	250
120	310
180	400

Tableau 1

L'Homme du Métier comprendra que toutes les valeurs intermédiaires sont envisageables.

25 Du tableau 1, il ressort d'une part, que le défaut est toujours plus large que profond et d'autre part, que la profondeur du défaut augmente avec sa largeur.

Par ailleurs, la largeur du défaut sera généralement inférieure à 1.5µm pour une profondeur inférieure à 600nm. Il est bien entendu possible de réaliser des défauts de taille plus importante, mais cela aurait pour conséquence de fragiliser de manière trop importante la fibre optique.

5 Cependant, dans certains cas, il a été constaté que la largeur du défaut, tout comme sa profondeur, pouvait atteindre 2µm sans fragiliser de manière trop importante la fibre optique.

Afin de contrôler la déformation maximale associée à la contrainte à la rupture d'une fibre optique comportant un défaut de surface, on
10 établit un lien entre cette déformation maximale et la géométrie du défaut.

Par géométrie du défaut, on entend la forme de sa section (circulaire, elliptique, etc...), sa largeur et/ou sa longueur, et sa profondeur.

Les notions de largeur et/ou profondeur du défaut peuvent être rassemblées, en fonction de la forme de la section du défaut, sous la
15 notion de taille du défaut.

La taille du défaut peut être définie comme suit :

- si le défaut est circulaire, la taille du défaut correspond à son diamètre ;
- si le défaut est elliptique, la taille du défaut peut être assimilée au grand axe de l'ellipse ;
- 20 - si le défaut est rectangulaire, la taille du défaut est définie par sa longueur.

De manière plus générale, la taille du défaut est définie par la plus grande longueur du défaut, ce défaut présentant également une profondeur.

25 La contrainte σ subie par la fibre optique est reliée à sa déformation ε par la relation :

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1)$$

où :

30 E est le module d'Young de la fibre optique.

Par ailleurs, pour un défaut de géométrie elliptique, il est généralement admis que la relation entre la contrainte à la rupture σ_{rupture} de la fibre optique et la géométrie du défaut est donnée par la relation :

$$\sigma_{\text{rupture}} = \frac{K_{ic}}{Y \cdot \sqrt{C}} \quad (2)$$

où :

K_{ic} est une constante dépendant de la nature du matériau formant la fibre optique,

10 C est la taille du défaut,

Y est un paramètre de géométrie du défaut.

La constante K_{ic} et le paramètre de géométrie du défaut Y sont des données bien connues de l'Homme du Métier. On rappelle par ailleurs qu'un défaut circulaire n'est qu'un cas particulier de défaut elliptique.

15 Pour obtenir la déformation maximale associée à la contrainte à la rupture de la fibre optique, il suffit alors d'intégrer la relation (1) dans la relation (2).

On a rassemblé dans le tableau 2 ci-dessous, à titre indicatif, quelques ordres de grandeur de la contrainte à la rupture d'une fibre optique et de sa déformation maximale associée, en fonction de la profondeur du défaut.

Les résultats présentés dans ce tableau sont des résultats issus de calculs basés sur les équations précédentes.

25 Le défaut considéré est de géométrie elliptique, pour lequel on a : $K_{ic} = 0.789 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ et $Y = 1.24$.

Contrainte à la rupture de la fibre optique (GPa)	Déformation maximale (%)	Profondeur du défaut (nm)
5.4	7.4	14
5	6.85	16
4	5.5	25
3	4.1	45
2.5	3.4	65
2	2.74	100
1.5	2.05	180
1	1.37	405

Tableau 2

Dans la mesure où la profondeur du défaut augmente avec la taille du défaut, le tableau 2 pourrait indifféremment fournir l'évolution de la contrainte à la rupture de la fibre optique en fonction de la taille du défaut.

De ces calculs, donnés à titre indicatif, il ressort que la déformation maximale associée à la contrainte à la rupture diminue en fonction de la profondeur du défaut et par suite, en fonction de la taille du défaut.

Si une valeur de la déformation maximale que l'on souhaite obtenir au niveau d'une région de la fibre n'est pas mentionnée dans ce tableau, on peut effectuer une interpolation entre les valeurs du tableau les plus proches de la déformation maximale souhaitée. On peut également refaire un calcul préalablement à l'étape de réalisation du défaut proprement dite. On peut ainsi accéder à toutes les valeurs possibles de la déformation maximale souhaitée.

Outre ces données issues d'une simulation par éléments finis, la figure 5 fournit des données expérimentales sur la faisabilité de la réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique en vue d'en diminuer la contrainte à la rupture.

Les essais réalisés concernent trois fibres optiques, dont une fibre optique de référence non endommagée. Les deux autres fibres optiques ont été endommagées avec des faisceaux de fluence distincts, et pour une même ouverture numérique ON du faisceau de 0.4.

5 On constate que, pour une même probabilité de rupture, la force nécessaire à la rupture diminue avec l'augmentation de la taille du défaut, cette dernière étant d'autant plus importante que la fluence du faisceau est élevée.

Par exemple, pour une probabilité de rupture de 90%, une
10 fibre optique de référence non endommagée présente une contrainte à rupture de 49N, alors qu'une fibre optique endommagée avec un faisceau de fluence 2.4J/cm² présente une contrainte à rupture de 38N, et une fibre optique endommagée avec un faisceau de fluence plus important, c'est-à-dire une taille de défaut plus élevée, présente une contrainte à rupture de 25N.

15 Le procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique selon l'invention comporte alors les étapes consistant à définir lors d'une étape (a) une déformation maximale de la fibre optique que l'on souhaite obtenir au niveau d'une région de la fibre optique, puis, lors d'une étape (b), à déterminer la géométrie du défaut à réaliser à partir de la
20 déformation maximale préalablement définie à l'étape (a).

L'étape (b) s'effectue par exemple, dans le cas d'une géométrie elliptique, à l'aide des relations (1) et (2) et s'appuie plus généralement sur des données connues de l'Homme du Métier. On peut également établir à nouveau ces données par des simulations par éléments
25 finis si l'on souhaite être plus précis.

Ensuite, il convient lors d'une étape (c) de déterminer un ensemble de paramètres physiques caractérisant le faisceau de lumière cohérente, en fonction de la géométrie du défaut à réaliser.

Le Demandeur a effectué de nombreux tests paramétriques
30 pour connaître les paramètres physiques du faisceau laser influant sur la géométrie du défaut à réaliser sur la fibre optique.

Pour une longueur d'onde donnée du faisceau laser, fixée à 800nm, il a ainsi pu être mis en évidence que les paramètres physiques suivants : nombre d'impulsions, fluence du faisceau laser, ouverture numérique ON et polarisation de ce faisceau influent sur la géométrie du défaut.

Des conclusions similaires ont été obtenues pour des longueurs d'onde de 400nm et 266nm.

Pour une énergie d'impulsion donnée, le nombre d'impulsions permet en effet de régler l'énergie d'impulsion totale qui est appliquée à la fibre optique.

La fluence du faisceau intègre quant à elle deux paramètres : l'énergie d'impulsion et la surface d'éclairement du faisceau.

L'énergie d'impulsion dépend de la puissance du laser 1, mais aussi du réglage de la cellule de Pockels 2 et de celui des densités optiques 3.

La puissance du faisceau laser dépend notamment de la longueur d'onde de celui-ci. En effet, l'énergie d'impulsion est proportionnelle à la fréquence de l'onde émise par le laser (relation de Planck).

Par ailleurs, pour une énergie d'impulsion donnée, la surface d'éclairement du faisceau dépend de divers paramètres.

Par exemple, et comme mentionné plus haut, la différence de positionnement de la zone de focalisation maximum du faisceau (région dénommée R2 sur la figure 2) par rapport à la surface de la fibre optique influe sur la surface de la fibre optique effectivement éclairée.

Incidemment, l'ouverture numérique du faisceau est également un paramètre qui influe sur la forme du faisceau laser et par suite, sur la surface d'éclairement de ce faisceau.

L'ouverture numérique du faisceau et par suite, l'angle d'ouverture du défaut à réaliser sur la fibre optique, cet angle d'ouverture étant relié à l'ouverture numérique du faisceau, sont des paramètres qui influent sur la géométrie du défaut.

Enfin, la polarisation du faisceau influe sur la géométrie du défaut. En effet, on a pu constater qu'une polarisation circulaire permet d'obtenir une géométrie de défaut également circulaire. On a également pu constater qu'une polarisation elliptique permet d'obtenir une géométrie de défaut qui est également elliptique.

On note donc que les paramètres concernant le nombre d'impulsions, la fluence du faisceau laser et la polarisation de ce faisceau sont des paramètres indépendants.

L'ouverture numérique du faisceau peut être choisie de façon indépendante, par exemple par le choix d'un système de focalisation 5 adapté. En conséquence, aucun des paramètres concernant le nombre d'impulsions, la fluence du faisceau laser ou la polarisation dudit faisceau n'influe sur l'ouverture numérique du faisceau.

En revanche, l'ouverture numérique du faisceau peut modifier sa fluence. Par exemple, la zone de focalisation maximale 110 du faisceau et par suite, la fluence du faisceau laser sur cette zone n'est pas la même si l'on modifie l'ouverture numérique du faisceau, toutes choses égales par ailleurs.

Sur le plan expérimental, un défaut peut être de géométrie cylindrique dans la profondeur de la fibre, avec une section circulaire ou elliptique. Le défaut peut également présenter une forme conique dans la 20 profondeur de la fibre avec une section circulaire ou elliptique.

Nous donnons ci-dessous quelques exemples de défauts réalisés à la surface de la fibre optique avec le dispositif selon l'invention.

Les paramètres testés sont ainsi le nombre d'impulsions, la fluence du faisceau, et la polarisation du faisceau.

Pour obtenir un défaut de géométrie circulaire à la surface de la fibre optique, on a pu constater qu'il était préférable d'employer une seule impulsion, avec un faisceau laser dont la polarisation est circulaire.

La figure 6 montre notamment un défaut 7, en vue de dessus, obtenu avec une impulsion unique d'un faisceau laser de polarisation circulaire réalisé sur la surface d'une fibre optique 9.

Pour obtenir un défaut de géométrie elliptique à la surface de la fibre optique, on a pu constater qu'il était préférable d'effectuer une première impulsion avec un faisceau de polarisation circulaire, puis de déplacer la fibre optique par rapport au laser, et enfin d'effectuer une
5 deuxième impulsion, également avec un faisceau de polarisation circulaire.

La figure 6 montre un défaut 8, en vue de dessus, obtenu avec deux impulsions successives et décalées d'un faisceau laser de polarisation circulaire réalisé sur la surface de la fibre optique 9. Dans ce cas, le défaut 8 présente deux formes coaxiales. Chaque forme peut être de
10 géométrie cylindrique dans la profondeur de la fibre, avec une section circulaire ou elliptique. Chaque forme peut également présenter une forme conique dans la profondeur de la fibre avec une section circulaire ou elliptique.

En variante, on a utilisé une seule impulsion en donnant une
15 polarisation elliptique au faisceau. Toutefois, cette solution s'est avérée moins efficace pour l'ablation de la fibre optique.

Pour obtenir une forme rectangulaire, on pourrait ainsi envisager de régler le faisceau avec une polarisation circulaire du faisceau, d'effectuer une première impulsion, puis de déplacer la fibre optique en
20 continu par rapport au laser pendant que ce dernier délivre une succession d'impulsions.

Par ailleurs, si l'on souhaite augmenter la profondeur du défaut, on a pu montrer qu'il fallait augmenter la fluence du faisceau laser, par exemple par l'intermédiaire de l'énergie d'impulsion.

25 Ce phénomène est par exemple illustré sur la figure 7.

La figure 7 représente en effet l'évolution de la profondeur maximale h_{1Max} du défaut en fonction de la fluence F du faisceau laser. Pour ces tests, on a fixé la surface d'éclairement du faisceau et l'ouverture numérique du faisceau a été fixée à 0.8 ou 0.4. On a également émis une
30 impulsion unique pour chaque point de mesure. La polarisation du faisceau est circulaire pour chaque point de mesure.

La figure 7 montre également que la profondeur maximale h_{1Max} du défaut, pour une fluence donnée minimale, diffère selon que l'ouverture numérique est de 0.4 ou de 0.8.

Ceci n'est pas sans incidence sur la géométrie elle-même du défaut puisqu'on a pu mettre en évidence que la profondeur du défaut varie en fonction de la taille du défaut, selon une loi de puissance.

Ce phénomène est illustré sur la figure 8.

La figure 8 représente en effet l'évolution de la profondeur h_1 d'un défaut en fonction de sa taille L_1 . Pour ces tests, on a fixé la surface d'éclairement du faisceau et l'ouverture numérique du faisceau a été fixée à 0.4. On a également émis une impulsion unique pour chaque point de mesure. La polarisation du faisceau est circulaire pour chaque point de mesure.

Une fois que les paramètres physiques caractérisant le faisceau ont été déterminés à l'étape (c), selon les modalités présentées ci-dessus, on éclaire la fibre optique, lors d'une étape (d), avec le faisceau de lumière cohérente afin d'obtenir le défaut.

Les tests effectués ont par ailleurs montré que la reproductibilité des caractéristiques d'un défaut à l'autre est meilleure lorsque le défaut présente une section circulaire (le défaut est donc de forme cylindrique ou conique à section circulaire). Cette solution est donc préférentielle par rapport à des défauts de forme rectangulaire. Ceci est intéressant dans la mesure où une même fibre optique sera généralement munie de plusieurs défauts sur sa longueur.

Il est ainsi envisageable de répéter au moins l'étape (d) d'éclairage de la fibre optique plusieurs fois le long de cette fibre. Pour cela, on déplace la fibre optique par rapport au laser femtoseconde entre chaque étape d'éclairage de la fibre.

Il est également envisageable de répéter l'ensemble des étapes du procédé pour réaliser des défauts de dimensions et/ou de formes différentes le long d'une même fibre.

Cela présente un intérêt si l'on souhaite réaliser un capteur à fibre optique particulièrement bien adapté à la mesure de la déformation d'une structure de géométrie particulière.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique,
5 caractérisé en ce que :
(a) on définit une déformation maximale associée à la contrainte à la rupture de la fibre optique que l'on souhaite obtenir au niveau d'une région de la fibre optique ;
(b) on détermine la géométrie du défaut à réaliser à partir de la
10 déformation maximale définie à l'étape (a) ;
(c) on détermine un ensemble de paramètres physiques caractérisant un faisceau de lumière cohérente à émettre par un moyen d'amplification de la lumière délivrant des impulsions ultra-brèves, en fonction de la géométrie du défaut à réaliser ;
15 (d) on éclaire la fibre optique avec un faisceau de lumière cohérente émis par le moyen d'amplification de la lumière à impulsions ultra-brèves, faisceau dont les paramètres physiques ont été préalablement déterminés à l'étape (c), afin d'obtenir le défaut.
- 20 2. Procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique selon la revendication 1, dans lequel les paramètres physiques caractérisant le faisceau de lumière cohérente comprennent le nombre d'impulsions ultra-brèves délivrées par le moyen d'amplification de la lumière, la fluence du faisceau de lumière cohérente, l'ouverture
25 numérique et la polarisation dudit faisceau de lumière cohérente.
3. Procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique selon la revendication précédente, dans lequel, pour réaliser un défaut de section circulaire, on délivre une impulsion ultra-brève unique avec
30 un faisceau de lumière cohérente de polarisation circulaire.

4. Procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel, pour réaliser un défaut de section elliptique, on effectue :
- une première impulsion ultra-brève avec un faisceau de lumière cohérente de polarisation circulaire ;
 - un déplacement de la fibre optique par rapport au moyen d'amplification de la lumière ; et
 - une deuxième impulsion, également avec un faisceau de lumière de polarisation circulaire.
5. Procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique selon l'une des revendications 2 à 4, dans lequel, pour régler la fluence du faisceau de lumière cohérente au niveau de la fibre optique, on modifie soit la puissance du faisceau, soit l'ouverture numérique du faisceau, soit la position respective entre la fibre optique et la zone de focalisation maximum du faisceau ou une combinaison quelconque de ces paramètres.
6. Procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel on répète plusieurs fois au moins l'étape (d) le long de la fibre optique.
7. Fibre optique comportant une partie centrale en silice, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un défaut à la surface de la silice obtenu par le procédé selon l'une des revendications précédentes, de sorte qu'il présente une taille inférieure à $2\mu\text{m}$, par exemple inférieure à $1.5\mu\text{m}$ et de préférence comprise entre 200nm et $1\mu\text{m}$.
8. Fibre optique selon la revendication précédente, dans laquelle ledit au moins un défaut présente une profondeur inférieure à $2\mu\text{m}$.

9. Fibre optique selon l'une des revendications 7 ou 8, dans laquelle ledit au moins un défaut présente une profondeur inférieure à 600nm, par exemple entre 10nm et 200nm.
- 5 10. Fibre optique selon l'une des revendications 7 à 9, dans lequel ledit au moins un défaut présente au moins une forme cylindrique ou conique de section elliptique ou circulaire.
- 10 11. Fibre optique selon la revendication précédente, dans lequel ledit au moins un défaut se présente sous la forme de deux formes coaxiales.
12. Fibre optique selon l'une des revendications 7 à 11 comportant une pluralité de défauts sur sa longueur.
- 15 13. Capteur à fibre optique comprenant des moyens d'alimentation d'au moins une fibre optique par un signal optique et des moyens de détection dudit signal en sortie de ladite au moins une fibre optique, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une fibre optique selon l'une des revendications 7 à 12.
- 20 14. Dispositif de mise en œuvre du procédé de réalisation d'un défaut à la surface d'une fibre optique selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend :
- 25 • un moyen d'amplification (1) d'une lumière cohérente pour délivrer un faisceau de lumière cohérente à impulsions ultra-brèves sur la fibre optique ;
 - des moyens (2, 3) pour régler l'énergie des impulsions délivrées par le moyen d'amplification (1) ;
 - un moyen de focalisation (5) du faisceau sur la fibre optique ;
 - 30 • un moyen (6) pour positionner la fibre optique par rapport au faisceau laser.

15. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel le moyen d'amplification (1) de la lumière délivrant des impulsions ultra-brèves est un laser femtoseconde.
- 5
16. Dispositif selon l'une des revendications 14 ou 15, dans lequel les moyens (2, 3) pour régler l'énergie des impulsions délivrées par le moyen d'amplification (1) comprennent une cellule de Pockels (2).
- 10
17. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 16, dans lequel les moyens (2, 3) pour régler l'énergie des impulsions délivrées par le moyen d'amplification (1) comprennent un moyen de gestion des densités optiques (3).
- 15
18. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 17, dans lequel le moyen (6) pour positionner la fibre optique par rapport au faisceau laser comporte une platine susceptible de se déplacer par translation selon les trois directions de l'espace, et par rotation pour ajuster la position de la fibre optique par rapport à l'axe (103) du faisceau laser.

1/3

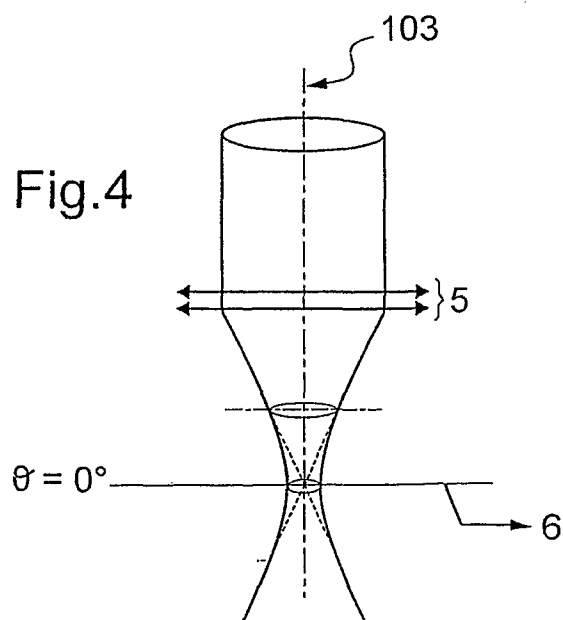
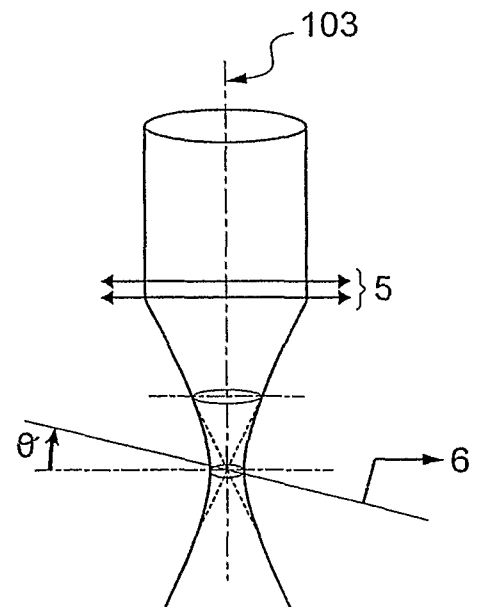
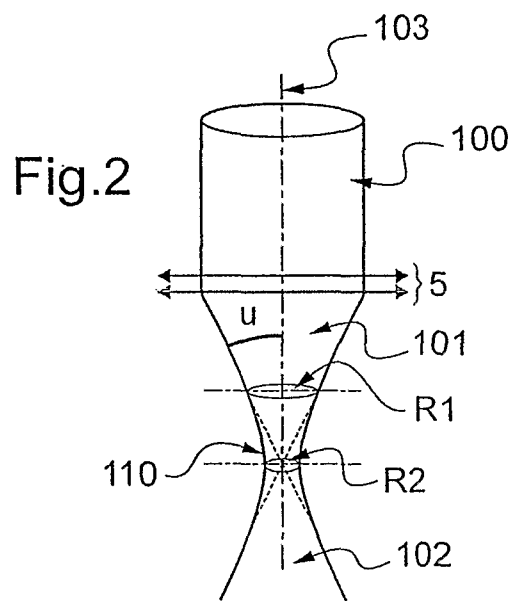
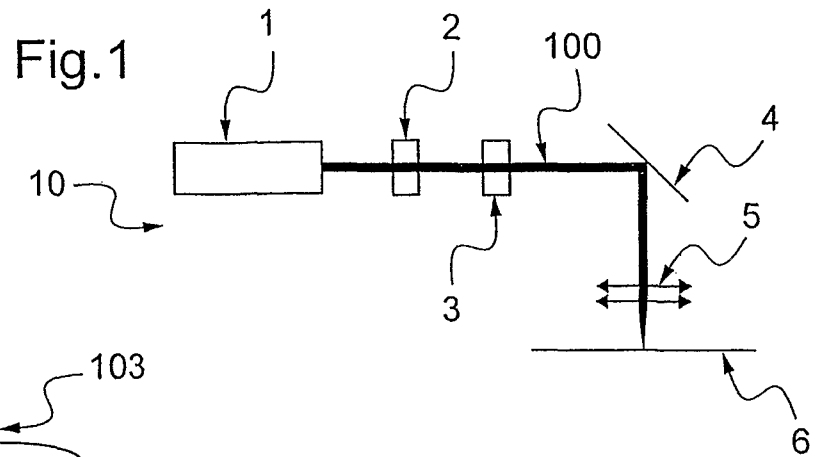


Fig.3

2/3

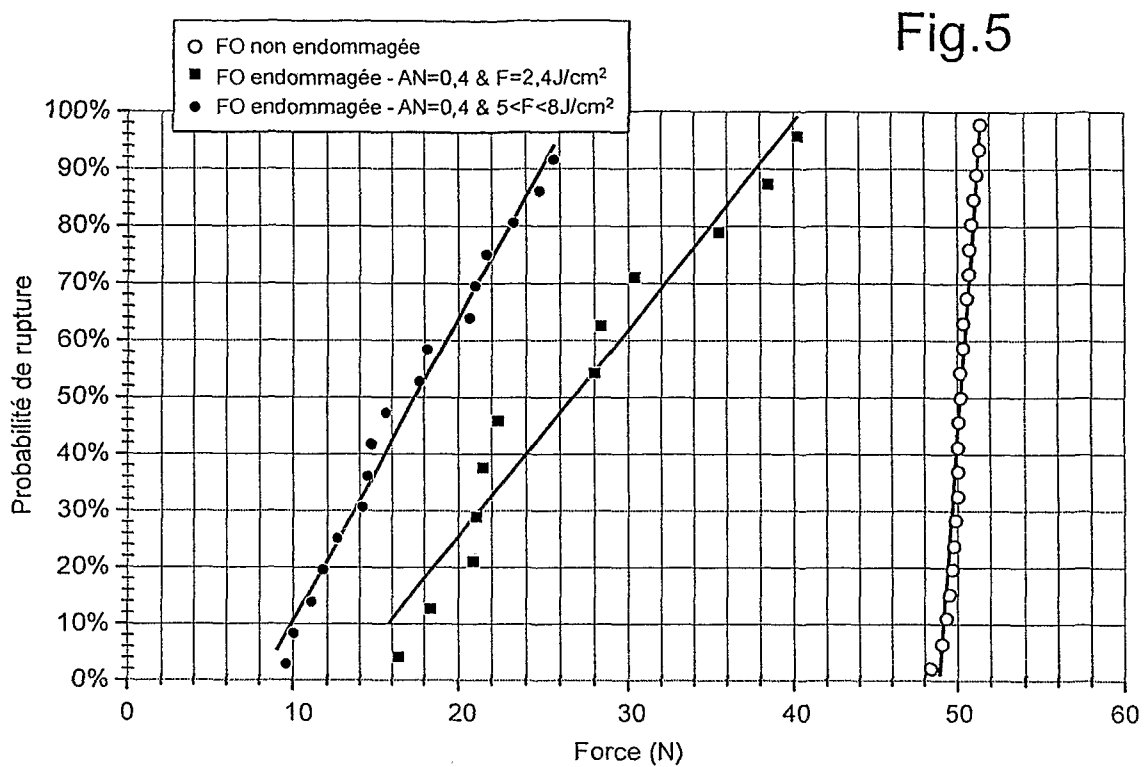
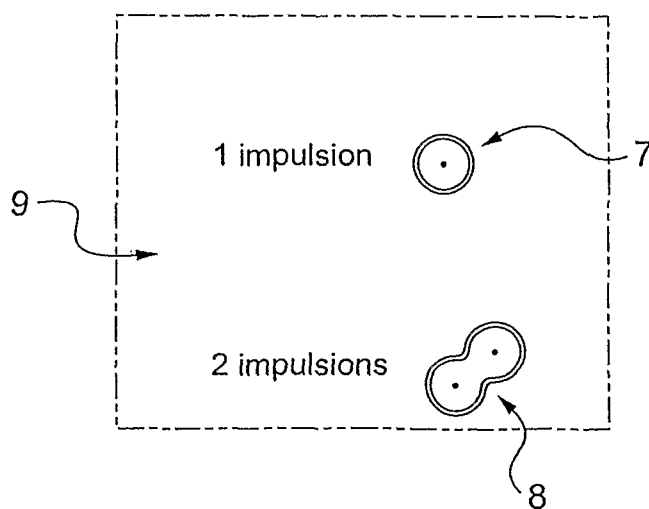


Fig.6



3/3

Fig.7

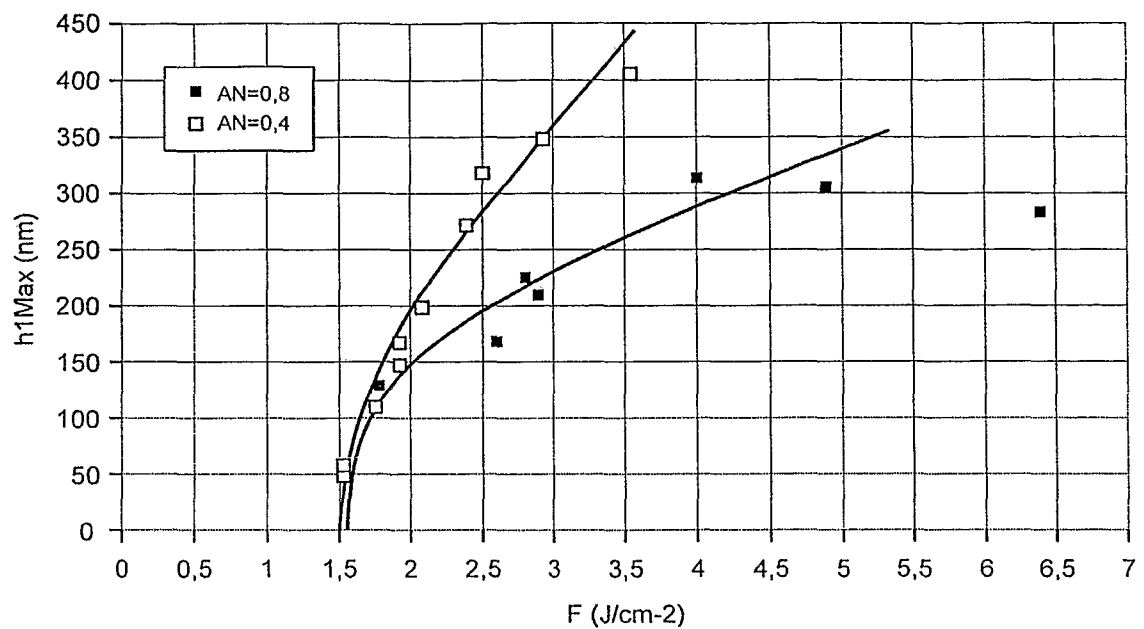
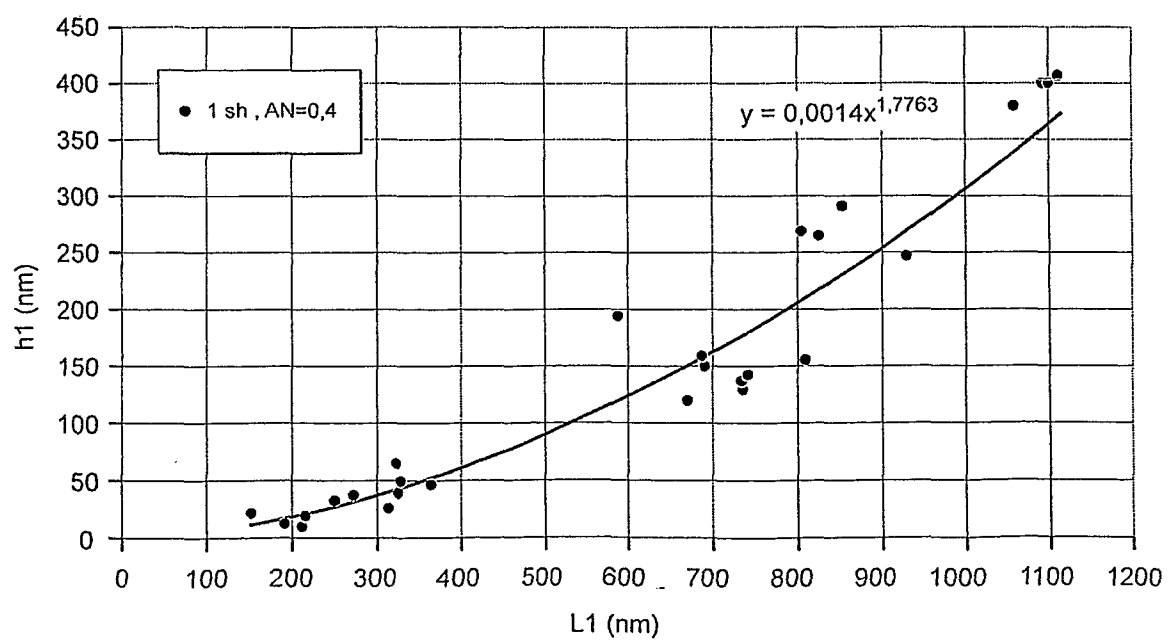


Fig.8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2010/000147

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01L1/24 G01D5/353 B23K26/06 G01B11/16
ADD.

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)

G01L G01D B23K G01B

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2006 048635 A1 (SIEMENS AG [DE] CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 17 April 2008 (2008-04-17) abstract paragraphs [0020] - [0024] figure 8	7-18
Y	US 2008/067158 A1 (LEVESQUE MARC [CA]) 20 March 2008 (2008-03-20) abstract paragraphs [0006], [0007], [0013], [0014], [0042] - [0044] figure 6	7-18
	----- -/--	

☒ 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.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 May 2010

Date of mailing of the international search report

31/05/2010

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Moroz, Alexander

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2010/000147

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2006 006556 A1 (SIEMENS AG [DE]) 23 August 2007 (2007-08-23) paragraphs [0008], [0009], [0018], [0037] - [0042], [0045] figures 3-11 -----	1-18
A	XU ET AL: "Femtosecond laser ablation of crystals SiO ₂ and YAG" OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, vol. 274, no. 1, 10 April 2007 (2007-04-10), pages 163-166, XP022025769 ISSN: 0030-4018 cited in the application the whole document -----	1-18
X	EP 1 717 612 A1 (HARRIS CORP [US]) 2 November 2006 (2006-11-02) paragraphs [0002], [0055] - [0063] figures 6,8,17,18 -----	7-18
X	US 6 801 550 B1 (SNELL KEVIN J [US] ET AL) 5 October 2004 (2004-10-05) abstract column 9, line 55 - line 58 figures 7-9 -----	7-13
A	EP 0 736 784 A2 (NORTHERN TELECOM LTD [CA] NORTEL NETWORKS LTD [CA]) 9 October 1996 (1996-10-09) abstract column 4, line 15 - line 32 column 5, line 17 - line 28 column 6, line 48 - line 50 figures 1,3,4,7 -----	1-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2010/000147

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102006048635 A1	17-04-2008	NONE	
US 2008067158 A1	20-03-2008	CA 2560238 A1	20-03-2008
DE 102006006556 A1	23-08-2007	NONE	
EP 1717612 A1	02-11-2006	CA 2542230 A1	26-10-2006
		JP 2006309234 A	09-11-2006
		US 2006239633 A1	26-10-2006
US 6801550 B1	05-10-2004	AT 445247 T	15-10-2009
		EP 1636883 A2	22-03-2006
		WO 2005002005 A2	06-01-2005
EP 0736784 A2	09-10-1996	DE 69622778 D1	12-09-2002
		DE 69622778 T2	28-11-2002
		GB 2299683 A	09-10-1996
		US 5708740 A	13-01-1998

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2010/000147

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. G01L1/24 G01D5/353 B23K26/06 G01B11/16
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

G01L G01D B23K G01B

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	DE 10 2006 048635 A1 (SIEMENS AG [DE] CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 17 avril 2008 (2008-04-17) abrégé alinéas [0020] - [0024] figure 8	7-18
Y	US 2008/067158 A1 (LEVESQUE MARC [CA]) 20 mars 2008 (2008-03-20) abrégé alinéas [0006], [0007], [0013], [0014], [0042] - [0044] figure 6	7-18

☒ 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

20 mai 2010

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

31/05/2010

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Moroz, Alexander

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2010/000147

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DE 10 2006 006556 A1 (SIEMENS AG [DE]) 23 août 2007 (2007-08-23) alinéas [0008], [0009], [0018], [0037] - [0042], [0045] figures 3-11 -----	1-18
A	XU ET AL: "Femtosecond laser ablation of crystals SiO ₂ and YAG" OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, vol. 274, no. 1, 10 avril 2007 (2007-04-10), pages 163-166, XP022025769 ISSN: 0030-4018 cité dans la demande le document en entier -----	1-18
X	EP 1 717 612 A1 (HARRIS CORP [US]) 2 novembre 2006 (2006-11-02) alinéas [0002], [0055] - [0063] figures 6,8,17,18 -----	7-18
X	US 6 801 550 B1 (SNELL KEVIN J [US] ET AL) 5 octobre 2004 (2004-10-05) abrégé colonne 9, ligne 55 - ligne 58 figures 7-9 -----	7-13
A	EP 0 736 784 A2 (NORTHERN TELECOM LTD [CA] NORTEL NETWORKS LTD [CA]) 9 octobre 1996 (1996-10-09) abrégé colonne 4, ligne 15 - ligne 32 colonne 5, ligne 17 - ligne 28 colonne 6, ligne 48 - ligne 50 figures 1,3,4,7 -----	1-18

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2010/000147

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102006048635 A1	17-04-2008	AUCUN	
US 2008067158 A1	20-03-2008	CA 2560238 A1	20-03-2008
DE 102006006556 A1	23-08-2007	AUCUN	
EP 1717612 A1	02-11-2006	CA 2542230 A1	26-10-2006
		JP 2006309234 A	09-11-2006
		US 2006239633 A1	26-10-2006
US 6801550 B1	05-10-2004	AT 445247 T	15-10-2009
		EP 1636883 A2	22-03-2006
		WO 2005002005 A2	06-01-2005
EP 0736784 A2	09-10-1996	DE 69622778 D1	12-09-2002
		DE 69622778 T2	28-11-2002
		GB 2299683 A	09-10-1996
		US 5708740 A	13-01-1998