

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
—  
COURBEVOIE  
—

①① N° de publication : **3 026 940**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **14 59624**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **A 61 F 9/008 (2014.01), A 61 F 9/01**

①②

## BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ DISPOSITIF ET PROCEDE POUR LA DECOUPE D'UNE CORNEE OU D'UN CRISTALLIN.

②② Date de dépôt : 08.10.14.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 15.04.16 Bulletin 16/15.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 03.09.21 Bulletin 21/35.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : UNIVERSITE JEAN MONNET —FR  
et CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE -CNRS- — FR.

⑦② Inventeur(s) : BERNARD AURELIEN, MAUCLAIR  
CYRIL, GAIN PHILIPPE et THURET GILLES.

⑦③ Titulaire(s) : UNIVERSITE JEAN MONNET,  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE -CNRS-.

⑦④ Mandataire(s) : LTL SAS.

FR 3 026 940 - B1



**DISPOSITIF ET PROCEDE POUR LA DECOUPE D'UNE CORNEE OU D'UN CRISTALLIN****DOMAINE TECHNIQUE**

5 La présente invention concerne le domaine technique des opérations chirurgicales réalisées au laser femtoseconde, et plus particulièrement celui de la chirurgie ophtalmologique pour notamment des applications de découpes de cornées, ou de cristallins.

L'invention concerne un dispositif et un procédé de découpe d'un tissu humain ou animal,  
10 telle qu'une cornée, ou un cristallin, au moyen d'un laser femtoseconde.

L'invention trouve une application avantageuse, mais non limitative, dans la découpe de greffons de cornées conservés dans des banques de cornées, et dans la découpe cornéenne directement sur le patient pour des opérations de greffes de cornées, telles que trépanations  
15 verticales de différents profils, ou découpes lamellaires parallèles en surface.

Par laser femtoseconde, on entend une source lumineuse, apte à émettre un faisceau L.A.S.E.R. sous forme d'impulsions ultra-courtes, dont la durée est de l'ordre de la  
centaine de femtosecondes.

20

**ART ANTERIEUR**

Il est connu de l'état de la technique de réaliser des opérations chirurgicales de l'œil au moyen d'un laser femtoseconde, telles que des opérations de découpes de cornées ou de  
25 cristallins.

Le laser femtoseconde est donc un instrument apte à réaliser une dissection du tissu cornéen par exemple, en focalisant un faisceau L.A.S.E.R. dans le stroma de la cornée, et en réalisant une succession de petites bulles de cavitation adjacentes, qui forme ensuite une  
30 ligne de découpe.

Plus précisément, lors de la focalisation du faisceau L.A.S.E.R. dans la cornée, un plasma est généré par ionisation non-linéaire lorsque l'intensité du laser dépasse une valeur seuil, nommée seuil de claquage optique. Une bulle de cavitation se forme alors, engendrant une

disruption très localisée des tissus environnant. Ainsi, le volume réellement ablaté par le laser est très faible comparativement à la zone disruptée.

La zone découpée par le laser à chaque impulsion est très petite, de l'ordre du micron ou de la dizaine de micron selon la puissance et la focalisation du faisceau. Ainsi, une découpe lamellaire cornéenne ne peut être obtenue qu'en réalisant une série d'impacts contigus sur toute la surface de la zone à découper.

Le déplacement du faisceau peut alors être réalisé par un dispositif de balayage, composé de miroirs galvanométriques pilotables, et/ou de platines permettant le déplacement d'éléments optiques, tels que des miroirs ou des lentilles. Une autre solution, réservée à la découpe de greffons, consiste à déplacer, non pas le faisceau L.A.S.E.R., mais le greffon lui-même au moyen de platines de déplacement automatisées.

Ces opérations de déplacement du faisceau L.A.S.E.R, ou du greffon lui-même sont longues et fastidieuses. L'opération chirurgicale de découpe est donc lente et plus difficile étant donné le temps allongé pendant lequel le patient peut avoir des mouvements d'œil.

En effet, à titre d'exemple, le temps moyen de découpe d'une lamelle de 8 mm de diamètre dans une cornée humaine par un laser femtoseconde de cadence 5 kHz, avec des impacts séparés de 2  $\mu\text{m}$ , est d'une quarantaine de minutes environ.

Pour optimiser le temps de découpe, il est connu d'augmenter la fréquence du laser. Cependant, l'augmentation de la fréquence implique également une augmentation de la vitesse de déplacement du faisceau, au moyen de platines ou de scanners adaptés. Il est également connu d'augmenter l'espacement entre les impacts du laser sur le tissu à découper, mais généralement au détriment de la qualité de la découpe.

La plupart des lasers femtosecondes pour la découpe cornéenne utilisent ainsi de hautes fréquences de travail, notamment supérieures à 100kHz, associées à des systèmes de déplacement du faisceau combinant des scanners et des platines de déplacement, ce qui grève le coût total de l'installation, et donc de l'opération chirurgicale facturée.

Pour remédier à ce problème de rapidité de la découpe L.A.S.E.R., il est aussi connu d'utiliser des miroirs galvanométriques pour augmenter la cadence, la vitesse, et le trajet de déflexion du faisceau L.A.S.E.R..

- 5 Cependant, cette technique ne donne pas entière satisfaction en termes de résultats. La vitesse de la découpe peut être augmentée davantage.

### **EXPOSE DE L'INVENTION**

- 10 Ainsi donc, l'invention tend à proposer un dispositif et un procédé de découpe d'un tissu humain ou animal, telle qu'une cornée, ou un cristallin, qui permettent de réaliser des opérations de coupes rapides et viables.

- Un autre objectif de l'invention est de fournir un tel dispositif et un tel procédé qui soient  
15 de conception simple et peu onéreuse.

- Afin de résoudre les problèmes précités, il a été mis au point, un dispositif de découpe comprenant, d'une manière connue, un laser femtoseconde apte à émettre un faisceau L.A.S.E.R. sous la forme d'impulsions, et des moyens aptes à diriger et focaliser ledit  
20 faisceau sur le tissu pour sa découpe en tant que telle.

- Conformément à l'invention, le dispositif comprend, en outre, des moyens de mise en forme du faisceau L.A.S.E.R., positionnés sur la trajectoire dudit faisceau, et aptes à moduler la répartition d'énergie du faisceau L.A.S.E.R. dans son plan focal, correspondant  
25 au plan de la découpe.

- Ainsi, l'invention permet de modifier le profil d'intensité du faisceau L.A.S.E.R. dans le plan de la découpe, d'une manière à pouvoir améliorer la qualité ou bien la vitesse de la découpe en fonction du profil choisi.

- 30 Le but de la mise en forme est de moduler la répartition finale d'énergie dans le faisceau, afin par exemple d'optimiser une découpe laser.

- Selon une forme de réalisation particulière de l'invention, les moyens de mise en forme  
35 sont aptes à moduler l'amplitude du faisceau L.A.S.E.R..

La mise en forme d'un faisceau laser par modulation d'amplitude consiste à enlever une partie de l'énergie incidente du laser sur les moyens de mise en forme au moyen d'un masque de modulation d'amplitude par absorption de l'énergie non transmise.

- 5 Selon une forme de réalisation particulière de l'invention, les moyens de mise en forme sont aptes à moduler la phase du faisceau L.A.S.E.R..

La modulation optique de phase est réalisée par une approche diffractive au moyen d'un masque de phase. L'énergie du faisceau L.A.S.E.R. incident est conservée après  
10 modulation, et la mise en forme du faisceau est réalisée en agissant sur son front d'onde. La phase d'une onde électromagnétique représente la situation instantanée de l'amplitude d'une onde électromagnétique. La phase dépend aussi bien du temps que de l'espace. Dans le cas de la mise en forme spatiale d'un faisceau L.A.S.E.R., seules les variations dans l'espace de la phase sont considérées.

15

Le front d'onde est défini comme la surface des points d'un faisceau possédant une phase équivalente. La modification de la phase spatiale d'un faisceau passe donc par la modification de son front d'onde.

- 20 Selon une forme de réalisation particulière de l'invention, les moyens de mise en forme se présentent sous la forme d'un modulateur spatial de lumière à cristaux liquides.

Un tel modulateur, généralement connu sous le sigle SLM, de l'acronyme anglais « Spatial Light Modulator », est constitué d'une couche de cristaux liquides à orientation contrôlée  
25 permettant de façonner d'une manière dynamique le front d'onde, et donc la phase du faisceau L.A.S.E.R..

Plus précisément, un SLM est un élément d'optique diffractive modulant la phase à l'aide de cristaux liquides. Ce système exploite le principe d'anisotropie des cristaux liquides,  
30 c'est-à-dire la modification de l'indice des cristaux liquides, en fonction de leur orientation spatiale.

L'orientation des cristaux liquide peut être réalisée à l'aide d'un champ électrique. Ainsi, en modifiant localement l'indice des cristaux liquides, il est possible de modifier le front

d'onde du faisceau laser. Ce système peut posséder une très forte résolution, compatible avec une mise en forme complexe de faisceaux.

Le masque de phase, c'est-à-dire la carte représentant comment la phase du faisceau doit être modifiée pour obtenir une répartition d'amplitude donnée, est généralement calculée par un algorithme itératif basé sur la transformée de Fourier, ou sur divers algorithmes d'optimisation, tels que des algorithmes génétiques, ou le recuit simulé...

Le SLM permet donc de façonner d'une manière dynamique le front d'onde du faisceau L.A.S.E.R.. Cette modulation permet la mise en forme du faisceau de découpe d'une manière dynamique et reconfigurable.

Selon une autre forme de réalisation de l'invention, les moyens de mise en forme se présentent sous la forme de miroirs déformables.

15

Les miroirs déformables sont composés de multiples surfaces réfléchissantes, pouvant être décalées afin d'augmenter ou réduire localement le trajet du faisceau laser. Cette modification de la longueur du trajet entraîne un décalage local de la phase du faisceau, et entraîne donc une modification du front d'onde. Les miroirs déformables possèdent un temps de réponse très rapide.

Selon une forme de réalisation particulière, l'énergie du faisceau L.A.S.E.R. est répartie en une pluralité de faisceaux L.A.S.E.R., chacun apte à réaliser une découpe du tissu.

25 La mise en forme permet, à partir d'un unique faisceau gaussien, de répartir son énergie en plusieurs spots, limités en taille et en nombre par la résolution des moyens de mise en forme, et par la puissance du faisceau. Le nombre de faisceaux diminue ainsi d'autant de fois le temps nécessaire à l'opération de découpe chirurgicale. En plus d'une diminution du temps de découpe, la présente invention permet d'autres améliorations, telles qu'une  
30 meilleure qualité de surface après découpe ou une diminution de la mortalité endothéliale. Il est bien évident que la présente invention peut être combinée avec les techniques actuelles consistant au déplacement rapide du faisceau, et à une haute fréquence de découpe pour augmenter davantage la vitesse de découpe.

Ainsi, la modulation reconfigurable du front d'onde du L.A.S.E.R. femtoseconde permet de générer de multiples points de découpes simultanés ayant chacun une position contrôlée sur une surface ou dans un volume de la cornée.

- 5 Cette technique permet de réaliser l'opération de découpe d'une manière plus rapide et plus efficace car elle met en œuvre plusieurs spots L.A.S.E.R. réalisant chacun une découpe et selon un profil contrôlé.

De préférence, la forme de chaque point est également modulable. Cette technique se  
10 couple parfaitement aux techniques existantes de scanners et/ou de déplacement de platines.

De préférence, les différents faisceaux sont régulièrement espacés sur les deux dimensions du plan focal de manière à former un quadrillage de spots L.A.S.E.R.

15

Ainsi, un seul balayage de la pluralité de faisceaux L.A.S.E.R. remplace une multitude de balayages d'un seul faisceau.

L'invention vise également à fournir un procédé de découpe d'un tissu humain ou animal,  
20 telle qu'une cornée, ou un cristallin, au moyen d'un laser femtoseconde apte à émettre un faisceau L.A.S.E.R. sous la forme d'impulsions, focalisé sur le tissu pour sa découpe en tant que telle.

Selon l'invention, et conformément à ce qui précède, le procédé consiste à répartir  
25 l'énergie du faisceau L.A.S.E.R. dans son plan focal, en une pluralité de faisceaux L.A.S.E.R., chacun apte à réaliser une découpe du tissu.

Ainsi, le procédé permet une découpe rapide et viable.

### 30 **BREVE DESCRIPTION DES DESSINS**

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est réalisée ci-après, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux figures annexées, dans lesquelles :

35

- la figure 1 est une représentation schématique d'un montage du dispositif de découpe selon l'invention ;
- la figure 2 est une représentation schématique d'une mise en forme possible du faisceau L.A.S.E.R. du dispositif de découpe selon l'invention ;
- 5 - la figure 3 est une représentation illustrant un masque de phase permettant d'obtenir la répartition d'énergie telle qu'elle apparaît à la figure 2 ;
- la figure 4 est une représentation illustrant un greffon cornéen avant l'opération de découpe ;
- la figure 5 est une représentation similaire à celle de la figure, 4, le greffon cornéen  
10 étant représenté après avoir été aplani ;
- la figure 6 est une représentation similaire à celle de la figure 5, illustrant le greffon cornéen après une première découpe laser effectuée.

#### **EXPOSE DETAILLE DE L'INVENTION**

15

L'invention concerne un dispositif de découpe (1) d'un tissu humain au moyen d'un laser femtoseconde (2). Dans la suite de la description, l'invention sera décrite, à titre d'exemple, pour la découpe d'une cornée (3) d'un œil humain ou animal.

20 En référence à la figure 1 illustrant le montage d'un tel dispositif de découpe (1), celui-ci comprend un laser femtoseconde (2) apte à émettre un faisceau L.A.S.E.R. sous la forme d'impulsions. A titre d'exemple, le laser émet une lumière de 780 nm de longueur d'onde, sous la forme d'impulsions de 150 femtosecondes. Le laser possède une puissance de 2W et une fréquence de 5 kHz.

25

Le faisceau L.A.S.E.R. (4) émis par le laser (2) est dirigé et focalisé vers la cornée à découper par l'intermédiaire d'une pluralité d'éléments optiques. Plus précisément, un premier miroir (5) réfléchit le faisceau L.A.S.E.R. (4) issu directement du laser (2), et le renvoie vers une lame demi-onde (6) bien connue de l'état de la technique afin de créer un  
30 déphasage de 180°, c'est-à-dire un retard d'une moitié de longueur d'onde. L'onde sortante d'une telle lame (6) présente une polarisation symétrique de l'onde entrante par rapport à l'axe optique.

Le faisceau L.A.S.E.R. (4) issu de la lame demi-onde (6) traverse ensuite un cube  
35 polarisant (7) aussi connu de l'état de la technique, permettant de séparer la polarisation

aléatoire du faisceau L.A.S.E.R. (4) en deux composantes de polarisation orthogonales et linéaires. L'une des composantes est réfléchiée à  $90^\circ$ , tandis que l'autre composante est transmise. La composante de polarisation transmise est alors réfléchiée sur un second miroir (8) jusqu'à des moyens de mise en forme (9).

5

Les moyens de mise en forme sont, selon le mode de réalisation illustré, un modulateur spatial de lumière à cristaux liquides, connu sous le sigle SLM, de l'acronyme anglais « Spatial Light Modulator ».

10 Le SLM (9) permet de moduler la répartition finale d'énergie du faisceau L.A.S.E.R. (4), notamment dans le plan focal correspondant au plan de découpe de la cornée. Le SLM (9) est un dispositif bien connu de l'état de la technique, il est constitué d'une couche de cristaux liquides à orientation contrôlée permettant de façonner d'une manière dynamique le front d'onde, et donc la phase du faisceau L.A.S.E.R. (4).

15

Le SLM (9) exploite le principe d'anisotropie des cristaux liquides, c'est-à-dire la modification de l'indice des cristaux liquides, en fonction de leur orientation spatiale. L'orientation des cristaux liquide peut être réalisée à l'aide d'un champ électrique. Ainsi, la modification de l'indice des cristaux liquides modifie le front d'onde du faisceau

20 L.A.S.E.R. (4).

D'une manière connue, le SLM (9) met en œuvre un masque de phase (10), c'est-à-dire une carte déterminant comment la phase du faisceau (4) doit être modifiée pour obtenir une répartition d'amplitude donnée. Le masque de phase (10) est généralement calculé par un

25 algorithme itératif basé sur la transformée de Fourier, ou sur divers algorithmes d'optimisation, tels que des algorithmes génétiques, ou le recuit simulé.

Le SLM (9) permet donc de façonner d'une manière dynamique le front d'onde du faisceau L.A.S.E.R. (4). Cette modulation permet la mise en forme du faisceau (4) de découpe

30 d'une manière dynamique et reconfigurable.

Le SLM (9) permet, à partir d'un unique faisceau L.A.S.E.R. (4) gaussien, et au moyen du masque de phase (10) tel que représenté sur la figure 3, de répartir son énergie en plusieurs faisceaux (4). L'ensemble des faisceaux (4) est ensuite dirigé vers une succession de

35 miroirs (11) et de lentilles optiques (12), agencés pour diriger et focaliser lesdits faisceaux

(4) sur la surface de la cornée (3) à découper. Une pluralité de spots L.A.S.E.R. (13) est alors focalisée sur la cornée (3), chaque spot (13) étant apte à réaliser une opération de découpe de la cornée (3). En référence à la figure 2, les différents spots L.A.S.E.R. (13) obtenus sont, par exemple, régulièrement espacés sur les deux dimensions du plan focal du faisceau L.A.S.E.R. (4), de manière à former un quadrillage de spots L.A.S.E.R. (13). A titre d'exemple, la mise en forme du faisceau L.A.S.E.R. (4) peut comprendre trois lignes de 7 spots (13), espacés les uns des autres de 45  $\mu\text{m}$  selon les deux dimensions dudit plan focal correspondant au plan de la découpe.

10 Le nombre de faisceaux (4) diminue ainsi d'autant de fois le temps nécessaire à l'opération de découpe chirurgicale. En plus d'une diminution du temps de découpe de la cornée (3), la présente invention permet d'autres améliorations, telles qu'une meilleure qualité de surface après découpe ou une diminution de la mortalité endothéliale. Il est bien évident que la présente invention peut être combinée avec les techniques actuelles consistant au  
15 déplacement rapide du ou des faisceaux (4), et à une haute fréquence de découpe pour augmenter davantage la vitesse de découpe.

La modulation reconfigurable du front d'onde du L.A.S.E.R. femtoseconde permet de générer de multiples points de coupes simultanés ayant chacun une position contrôlée  
20 sur une surface ou dans un volume de la cornée (3).

Ainsi, il ressort de ce qui précède que l'invention permet donc de réaliser une opération de découpe chirurgicale d'une cornée, d'une manière rapide et efficace car elle met en œuvre plusieurs spots L.A.S.E.R. (13) réalisant chacun une découpe et selon un profil contrôlé.  
25

Le SLM (9) peut également être configuré pour mettre en forme le front d'onde du faisceau L.A.S.E.R. (4) de toute autre manière. Par exemple, le spot L.A.S.E.R. obtenu pour réaliser la découpe de la cornée peut présenter une forme géométrique quelconque, autre que circulaire. Ceci peut présenter certains avantages en fonction de l'application  
30 considérée, comme une augmentation de la vitesse et/ou de la qualité de la découpe.

Avantageusement, et en référence aux figures 4 et 5, la surface de la cornée (3) à découper est aplaniée par l'intermédiaire d'une lamelle d'aplanissement (14) bien connue de l'état de la technique. Cette lamelle (14) permet un aplanissement de la courbure cornéenne,  
35 simplifiant le trajet de découpe des spots L.A.S.E.R. (13) et améliorant ainsi la vitesse de

découpe. La lamelle (14) sert également de référence pour le positionnement selon un axe Z des spots L.A.S.E.R. (13), c'est-à-dire selon un axe orthogonal au plan de la découpe. De cette manière, la lamelle d'aplanissement (14) permet une meilleure précision de découpe des greffons. Chaque spot (13) réalise une pluralité d'impacts sur la cornée, vaporisant le  
5 tissu de ladite cornée de manière à former une ligne de découpe (23).

Enfin, afin de permettre un positionnement précis de la cornée (3) à découper, l'installation comprend un montage confocal de visualisation (15). Ce montage (15) permet l'obtention d'une précision de positionnement proche du micromètre de la cornée selon l'axe Z. Ce  
10 montage (15) comprend, en référence à la figure 1, un miroir dichroïque (16) apte à réfléchir, diriger et focaliser une partie de l'intensité du faisceau (4) mis en forme, à savoir de la pluralité de faisceaux (4) issue du SLM (9), vers la surface de la cornée (3) à découper. L'autre partie de l'intensité du faisceau (4) mis en forme est dirigée vers un agencement comprenant des miroirs (17), une lentille (18), et un second miroir dichroïque  
15 (19), agencés, d'une part, pour diriger une partie de l'intensité du faisceau (4) issu du miroir dichroïque (16) vers un capteur CCD (20) et, d'autre part, pour diriger un second faisceau L.A.S.E.R. (21), issu d'une seconde source de lumière (22) vers le miroir dichroïque (16) et la surface de la cornée (3) à découper. Ce montage (15) ne fait pas partie de l'invention et ne sera pas décrit plus en détail.

20

L'invention a été décrite pour des opérations de découpes d'une cornée (3) dans le domaine de la chirurgie ophtalmologique, mais il est évident qu'elle peut être utilisée pour d'autre type d'opération en chirurgie ophtalmologique sans sortir du cadre de l'invention. Par exemple, l'invention trouve une application dans la chirurgie réfractive coréenne, tel  
25 que le traitement des amétropies, notamment myopie, hypermétropie, astigmatisme, dans le traitement de la perte d'accommodation, notamment la presbytie. L'invention trouve également une application dans le traitement de la cataracte avec incision de la cornée (3), découpe de la capsule antérieure du cristallin, et fragmentation du cristallin. Enfin, d'une manière plus générale, l'invention concerne toutes les applications cliniques ou  
30 expérimentales sur la cornée (3) ou le cristallin d'un œil humain ou animal.

D'une manière encore plus générale, l'invention concerne le domaine large de la chirurgie au L.A.S.E.R. et trouve une application avantageuse lorsqu'il s'agit de découper et plus particulièrement vaporiser des tissus mous humains ou animaux, à teneur en eau élevée.

35

## REVENDEICATIONS

1. Dispositif de découpe (1) d'un tissu humain ou animal, telle qu'une cornée (3), ou un cristallin, ledit dispositif (1) comprenant, un laser femtoseconde (2) apte à émettre un faisceau L.A.S.E.R. (4) sous la forme d'impulsions, et des moyens aptes à diriger et focaliser ledit faisceau (4) sur le tissu pour sa découpe en tant que telle, ledit dispositif (1) étant *caractérisé* en ce qu'il comprend un modulateur spatial de lumière à cristaux liquides pour la mise en forme du faisceau L.A.S.E.R. (4), positionnés sur la trajectoire dudit faisceau (4), et aptes à moduler la répartition d'énergie du faisceau L.A.S.E.R. (4) en plusieurs spots L.A.S.E.R. (13) dans son plan focal, correspondant au plan de la découpe.
2. Dispositif de découpe (1) selon la revendication 1, *caractérisé* en ce que la modulation de répartition d'énergie du faisceau L.A.S.E.R. (4) consiste en une modulation de l'amplitude du faisceau L.A.S.E.R. (4).
3. Dispositif de découpe (1) selon la revendication 1, *caractérisé* en ce que la modulation de répartition d'énergie du faisceau L.A.S.E.R. (4) consiste en une modulation de la phase du faisceau L.A.S.E.R. (4).
4. Dispositif de découpe (1) selon l'une quelconques des revendications 1 à 3, *caractérisé* en ce que la répartition d'énergie du faisceau L.A.S.E.R. (4) consiste en une répartition de l'énergie en une pluralité de spots L.A.S.E.R. (13), chacun apte à réaliser une découpe du tissu.
5. Dispositif selon la revendication 4, *caractérisé* en ce que la répartition d'énergie du faisceau L.A.S.E.R. (4) consiste en une répartition de l'énergie en différents spots L.A.S.E.R. (13) régulièrement espacés sur les deux dimensions du plan focal de manière à former un quadrillage de spots L.A.S.E.R. (13).

1/2

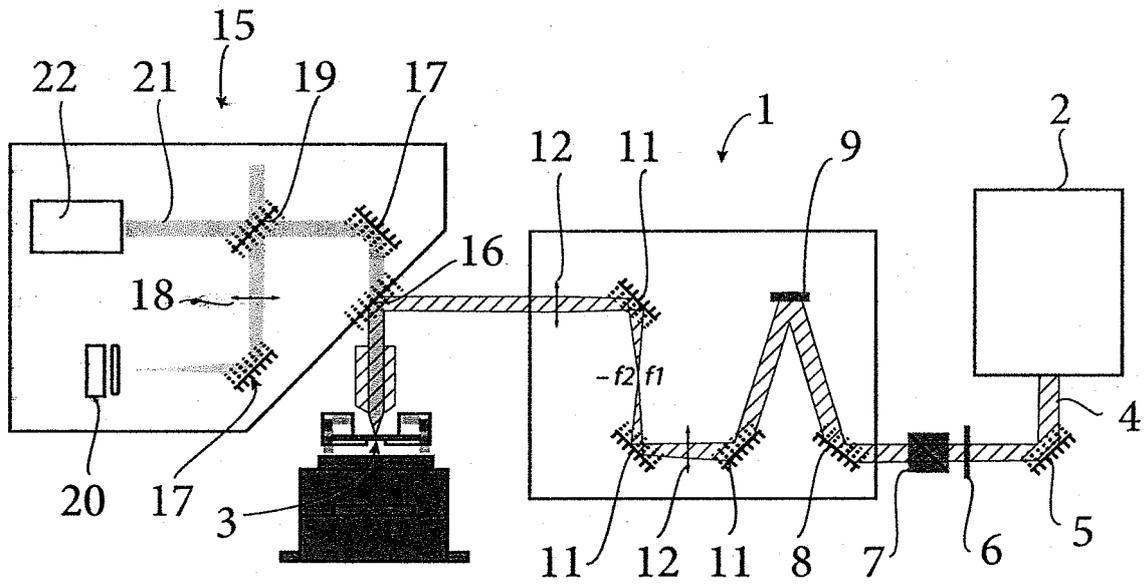


Fig. 1

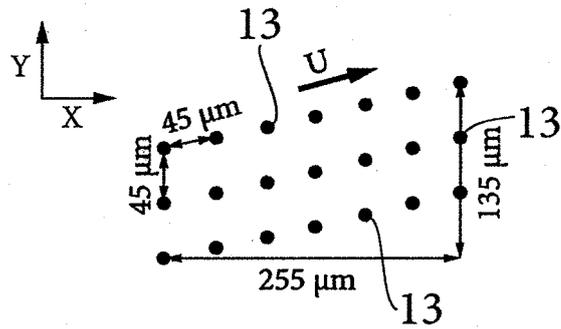


Fig. 2

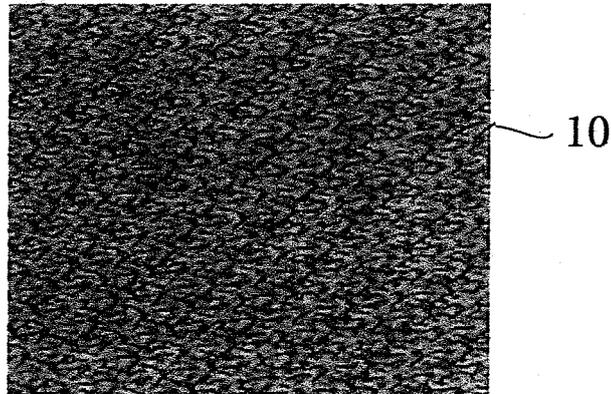
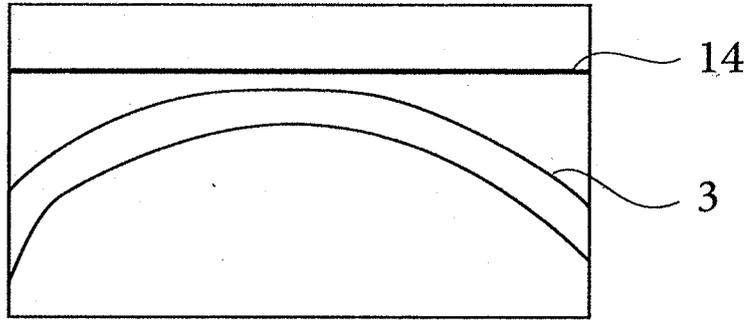
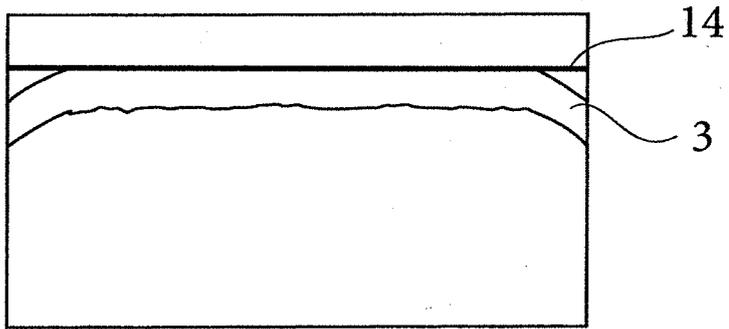


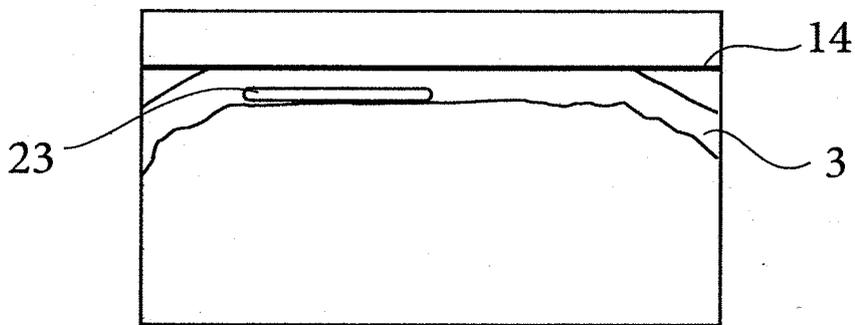
Fig. 3



**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN  
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 2010/133246 A1 (BOR ZSOLT [US] ET AL) 3 juin 2010 (2010-06-03)

US 2012/271286 A1 (CURATU GEORGE C [US] ET AL) 25 octobre 2012 (2012-10-25)

EP 1 279 386 A1 (20 10 PERFECT VISION OPTISCHE [DE]) 29 janvier 2003 (2003-01-29)

DE 10 2007 019812 A1 (ZEISS CARL MEDITEC AG [DE]) 30 octobre 2008 (2008-10-30)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN  
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND  
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT