

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION BELGE

(41) Date de publication : 29/01/2019

(21) Numéro de demande : BE2017/5455

(22) Date de dépôt : 27/06/2017

(62) Divisée de la demande de base :

(62) Date de dépôt demande de base :

(51) Classification internationale : B23K 26/06, B23K 26/08, B23K 26/402, G02B 5/122, G02B 26/10, B23K 26/364, B23K 101/38, B23K 103/08, B23K 103/18, B23K 103/00, B23K 103/04

(30) Données de priorité :

(71) Demandeur(s) :

LASER ENGINEERING APPLICATIONS S.A. en abrégé LASEA S.A.
4031, ANGLEUR
Belgique

(72) Inventeur(s) :

MARTIN Paul-Etienne
33000 BORDEAUX
France

HENROTTIN Anne
4990 LIERNEUX
Belgique

ESTIVAL Sébastien
33400 TALENCE
France

KUPISIEWICZ Axel Stefan M
4122 NEUPRÉ
Belgique

RAMOS de CAMPOS Jose-Antonio
4031 ANGLEUR
Belgique

(54) MÉTHODE POUR STRUCTURER UN SUBSTRAT

Méthode pour structurer un substrat

Domaine technique

[0001] Selon un premier aspect, l'invention concerne une méthode de structuration d'un substrat. L'invention concerne aussi une méthode
5 d'assemblage de deux matériaux différents, un ensemble comprenant un dispositif pour structurer un substrat et ledit substrat, un système d'assemblage de deux matériaux différents, et un substrat structuré selon la méthode de structuration du premier aspect de l'invention.

Art antérieur

10 [0002] Il est connu de structurer un substrat afin d'en modifier les propriétés de surface et notamment dans le but de réaliser un assemblage avec un deuxième matériau. Une modification de surface consiste par exemple à augmenter la surface de contact entre un substrat et un deuxième matériau. L'augmentation de la surface de contact nécessite par
15 exemple une structuration de la surface du substrat avec des moyens mécaniques, chimiques et ou optiques.

[0003] La structuration de la surface d'un substrat en vue de sa mise en contact avec un deuxième matériau est alors utilisée pour améliorer les performances mécaniques de l'assemblage.

20 [0004] Une limitation de l'augmentation de la surface de contact entre un substrat et un deuxième matériau sans ajout de matière intermédiaire est d'augmenter uniquement le nombre de liaisons interatomiques ou intermoléculaires. Dans le cas d'un substrat et d'un deuxième matériau formant des liaisons interatomiques ou intermoléculaires faibles, une
25 augmentation de la surface de contact entre un substrat et un deuxième matériau ne permet pas en général d'obtenir un bon assemblage.

Résumé de l'invention

- [0005] Selon un premier aspect, un des buts de l'invention est de proposer une méthode de structuration d'une surface d'un substrat, le substrat pouvant par la suite être assemblé par sa surface structurée à un
- 5 deuxième matériau, l'ensemble présentant de meilleures propriétés mécaniques d'adhésion et notamment un meilleur ancrage mécanique du deuxième matériau dans les structures formées en surface. À cet effet, l'invention propose selon un premier aspect, une méthode de structuration d'un substrat ayant une surface supérieure, ladite méthode comprenant les
- 10 étapes suivantes :
- a) fournir un dispositif comprenant :
 - une source lumineuse pour générer un faisceau lumineux entrant de structuration apte à usiner la surface supérieure du substrat ;
 - un système optique pour obtenir, à partir dudit faisceau lumineux
 - 15 entrant, un faisceau lumineux sortant spatialement décalé par rapport audit faisceau lumineux entrant, ledit système optique étant apte à modifier le décalage spatial entre ledit faisceau lumineux entrant et ledit faisceau lumineux sortant ;
 - des moyens de focalisation pour focaliser ledit faisceau lumineux
 - 20 sortant ;
 - un porte substrat ;
 - un dispositif de déplacement pour générer un mouvement relatif entre ledit faisceau lumineux sortant et ledit porte substrat ;
 - b) fournir et poser ledit substrat sur ledit porte substrat de sorte à
 - 25 présenter vers lesdits moyens de focalisation sa surface supérieure caractérisée par une normale ;
 - c) générer avec la source lumineuse le faisceau lumineux entrant ;
 - d) générer à partir du faisceau lumineux entrant lors de son
 - 30 passage dans le système optique, puis au travers des moyens de focalisation, un faisceau lumineux sortant focalisé décrivant

avec la normale de la surface supérieure du substrat au niveau d'un point de focalisation du faisceau lumineux sortant un angle d'attaque supérieur à 1°, de préférence supérieur à 3°, pour tout décalage spatial entre faisceau lumineux sortant et faisceau lumineux entrant imposé par le système optique ;

5 e) initier un mouvement relatif entre le porte substrat supportant le substrat et le faisceau lumineux sortant focalisé afin de graver un motif à partir de la surface supérieure du substrat, le motif formé comprenant une cavité dans le substrat débouchant par une

10 ouverture au niveau de la surface supérieure du substrat.

[0006] La méthode de l'invention permet de créer un motif dont la ou les cavités présentent une conicité négative à partir de la surface supérieure vers l'intérieur du substrat. Même si le terme de 'conicité négative' peut être compris par un homme du métier, il est décrit plus tard,

15 notamment lors de la discussion des figures. Un tel profil du motif structuré et plus particulièrement de sa ou ses cavités permet d'obtenir un ensemble 'substrat structuré + deuxième matériau' qui présente une meilleure adhésion en favorisant notamment l'ancrage mécanique du deuxième matériau dans la ou les cavités.

20 **[0007]** De préférence, le dispositif utilisé par la méthode de l'invention permet de réaliser des trous (ou cavités) traversants et/ou non traversants. De préférence, la source lumineuse génère un faisceau lumineux entrant de structuration pulsé. De préférence, les pulses du faisceau lumineux entrant de structuration ont une durée de moins de 1000ns, plus

25 préférentiellement comprise entre 10^{-15} s et 10^{-6} s, encore plus préférentiellement entre 10^{-14} s et 10^{-8} s. Par exemple, le faisceau lumineux entrant de structuration est apte graver des trous et des rainures, traversant ou non traversant. De préférence la surface supérieure est essentiellement plane. De préférence, le faisceau lumineux sortant focalisé est apte à

30 graver la surface supérieure du substrat.

- [0008]** Dans le cas d'une méthode de structuration ou d'usinage avec des impulsions ultracourtes et un faisceau lumineux sortant arrivant sur la surface du substrat avec un angle du faisceau lumineux sortant focalisé et une normale de la surface supérieure du substrat nul, alors la structuration
5 ou l'usinage réalisé présente nécessairement un diamètre entrant plus grand que le diamètre plus en profondeur dans l'épaisseur du substrat. Cette caractéristique de forme de structuration ou d'usinage est inhérente à la méthode de structuration ou d'usinage avec des impulsions ultracourtes et un angle de faisceau lumineux sortant nul avec la surface du substrat
10 ainsi qu'au profil d'intensité du faisceau laser utilisé. L'avantage du dispositif utilisé par la méthode de l'invention pour structurer un substrat par rapport à une méthode de structuration ou d'usinage avec des impulsions ultracourtes et un angle de faisceau lumineux sortant nul avec la surface du substrat est de permettre au faisceau lumineux sortant d'arriver sur la
15 surface du substrat avec un angle contrôlé entre le faisceau lumineux sortant focalisé et une normale de la surface supérieure du substrat afin de former des structures en surface du substrat ayant de préférence une conicité négative et permettre ainsi de favoriser l'ancrage d'un deuxième matériau dans celles-ci.
- 20 **[0009]** Le dispositif utilisé par la méthode de l'invention permet notamment d'usiner des matériaux en contrôlant l'angle de structuration ou angle de gravure afin d'obtenir des angles de gravure contrôlés en fonction du matériau et du laser utilisé par exemple. Le dispositif utilisé par la méthode de l'invention permet par exemple d'obtenir des faces de gravure
25 perpendiculaires avec la surface du substrat usiné. Ce dispositif permet d'obtenir des faces de gravure ayant un angle choisi par rapport à la surface du substrat. Une face de gravure ou de structuration est la face formée lors de l'usinage pour graver un substrat. De préférence, l'angle de la gravure ou de la structuration a une conicité négative lorsque la
30 structuration ou l'usinage permet d'enlever de la matière en dessous de la

surface par laquelle la pièce est usinée et pas uniquement à l'aplomb de l'endroit par lequel la pièce est usinée ou structurée.

[0010] De préférence, l'angle d'attaque supérieur à 1° et plus préférentiellement supérieur à 3° , est vrai pour tout décalage spatial du faisceau lumineux sortant par rapport au faisceau lumineux entrant imposé par le système optique.

[0011] Les lasers sont de préférence définis par un faisceau de type gaussien. Un faisceau gaussien est particulièrement adapté à l'usinage de matériaux. Un faisceau gaussien dans un milieu homogène est un faisceau lumineux qui possède une distribution gaussienne de l'intensité perpendiculairement à sa direction de propagation. Dans le cas d'un faisceau laser gaussien, l'intensité du faisceau est plus importante au centre du faisceau laser que sur ses bords.

[0012] Lors du passage d'un faisceau laser présentant un profil d'intensité gaussien à travers des moyens de focalisation, par exemple une lentille de focalisation ou un objectif télécentrique, le faisceau laser est de préférence focalisé en une tâche focale ou tâche de focalisation, c'est-à-dire un endroit où la densité du faisceau laser est la plus importante. Une tâche de focalisation est préférentiellement désignée par un point de focalisation.

[0013] La méthode de l'invention permet d'obtenir un substrat structuré avec une conicité négative pour réaliser un assemblage avec un deuxième matériau, l'assemblage ainsi obtenu présentant de meilleures propriétés mécaniques qu'avec un substrat non structuré. La structuration du substrat avec une conicité négative permet d'améliorer les propriétés mécaniques de l'assemblage, de préférence en traction, arrachement, cisaillement et pelage.

[0014] L'avantage de la méthode de l'invention est de pouvoir usiner ou structurer de grandes surfaces, de l'ordre de plusieurs mm^2 à plusieurs

dizaines de cm^2 , avec une largeur de structuration de par exemple $100 \mu\text{m}$ avec une répétition tous les $200 \mu\text{m}$. En contrôlant l'angle d'attaque et ou le positionnement du substrat par rapport au faisceau lumineux sortant focalisé, l'ensemble selon l'invention permet de réaliser une structuration de la surface, un trou, une gravure ou une découpe du substrat avec une conicité contrôlée : positive, nulle ou avec une conicité négative.

[0015] De préférence, la cavité comprend :

- au niveau de son ouverture sur la surface supérieure du substrat, une première et une deuxième extrémités définies dans un plan essentiellement perpendiculaire à la surface supérieure du substrat,
- une largeur d'ouverture définie par une distance entre la première et deuxième extrémités de l'ouverture,

la largeur d'ouverture étant strictement inférieure à une largeur maximale de cavité, définie essentiellement parallèlement à la largeur d'ouverture dans l'épaisseur du substrat.

[0016] De préférence, l'extension de l'ouverture mesurée essentiellement perpendiculairement à l'épaisseur augmente quand on s'éloigne de la surface supérieure vers l'intérieur du substrat.

[0017] De préférence, la cavité est caractérisée par un angle de conicité négative compris entre 0° et 7° , plus préférentiellement entre $0,01^\circ$ et 5° , l'angle de conicité négative étant défini entre la normale à la surface supérieure du substrat et une droite passant par la première extrémité de la largeur d'ouverture.

[0018] De préférence, la surface supérieure du substrat est gravée de manière non-traversante.

[0019] Selon un mode de réalisation préféré, le système optique comprend :

- un miroir :

- ayant une surface de réflexion essentiellement plane définie par une normale pour obtenir un premier faisceau lumineux réfléchi issu d'un premier faisceau lumineux incident provenant dudit faisceau lumineux entrant,
- 5 ○ mobile ;
- des moyens d'entraînement pour déplacer le miroir mobile ;
- un système de redirection :
 - positionné par rapport au miroir pour obtenir à partir du premier faisceau lumineux réfléchi, un deuxième faisceau
 - 10 lumineux incident au miroir, pour obtenir le faisceau lumineux sortant à partir d'une réflexion du deuxième faisceau lumineux incident sur le miroir mobile.

[0020] Par exemple un avantage de ce mode de réalisation du dispositif utilisé dans la méthode de l'invention est de permettre l'usinage
15 ou la structuration selon une ou deux dimensions afin d'obtenir une structuration selon une ligne, par exemple pour graver une structure décrivant un angle particulier avec la surface du substrat. Un autre avantage de ce mode de réalisation du dispositif utilisé par la méthode de l'invention est de pouvoir prendre en compte ou de corriger la non-
20 homogénéité du profil d'intensité du faisceau laser utilisé.

[0021] Dans un autre mode de réalisation préféré, la cavité comprend :

- au niveau de son ouverture sur la surface supérieure du substrat, une première et une deuxième extrémités définies dans un plan essentiellement perpendiculaire à la surface supérieure du
- 25 substrat,
- une largeur d'ouverture définie par une distance entre la première et deuxième extrémités de l'ouverture,
- une largeur de cavité définie essentiellement parallèlement à la largeur d'ouverture qui est essentiellement décroissante à partir
- 30 de la surface supérieure le long de l'épaisseur du substrat.

- [0022] Par exemple des cavités ayant une largeur de cavité définie essentiellement parallèlement à la largeur d'ouverture qui est essentiellement décroissante à partir de la surface supérieure le long de l'épaisseur du substrat sont obtenues grâce à un décalage du faisceau lumineux sortant en amont des moyens de focalisation selon un seul axe ou selon deux axes. Par exemple ces cavités peuvent être obtenues avec un miroir fixe et un système de déflexion permettant de décaler le faisceau lumineux sortant en amont des moyens de focalisation selon un axe ou deux axes. Ces cavités ou rainures étant obtenu avec un angle d'attaque du faisceau laser focalisé fixe par rapport à la normale au substrat. Dans ce mode de réalisation de l'invention, une orientation du miroir permet de de changer l'orientation de la rainure. Dans ce mode de réalisation, les rainures peuvent être formées avec une précession du faisceau lumineux sortant par rapport à la surface du substrat ou sans précession.
- [0023] Selon un autre mode de réalisation préféré le système optique comprend :
- un miroir :
 - o ayant une surface de réflexion essentiellement plane définie par une normale pour obtenir un premier faisceau lumineux réfléchi issu d'un premier faisceau lumineux incident provenant du faisceau lumineux entrant,
 - o mobile tel que sa normale soit apte à décrire une trajectoire dans un espace tridimensionnel ;
- le système optique étant configuré de sorte que le premier faisceau lumineux incident et la normale du miroir sont séparés par un angle compris entre 0° et 15° pour toutes les positions et orientations possibles du miroir mobile, de préférence entre $0,01^\circ$ et 10° et encore plus préférentiellement entre 3° et 8° ;
- des moyens d'entraînement pour déplacer le miroir mobile ;
 - un système de rétro-réflexion ;

- 5
- positionné par rapport au miroir pour obtenir à partir du premier faisceau lumineux réfléchi, un deuxième faisceau lumineux incident au miroir pour toutes les positions et orientations du miroir, pour obtenir le faisceau lumineux sortant à partir d'une réflexion du deuxième faisceau lumineux incident sur le miroir mobile, et
 - apte à fournir le deuxième faisceau lumineux incident sur le miroir, parallèle au premier faisceau lumineux réfléchi pour toutes les positions et orientations possibles du
- 10 miroir (19) mobile.
- [0024]** De préférence, le système optique est configuré de sorte que le premier faisceau lumineux incident et la normale du miroir sont séparés par un angle compris entre $0,01^\circ$ et 10° , pour toutes les positions et orientations possibles du miroir mobile, préférentiellement entre $0,1^\circ$ et 8°
- 15 et encore plus préférentiellement entre 3° et 8° .
- [0025]** De préférence, le miroir mobile est configuré pour décrire une rotation de 360° autour d'un axe de rotation sécant à la normale du miroir mobile, et en ce que les moyens d'entraînement sont configurés pour permettre au miroir mobile d'effectuer une rotation autour de l'axe de
- 20 rotation.
- [0026]** De préférence, le système de rétro-réflexion est mobile en translation par rapport au miroir.
- [0027]** De préférence, le système optique est configuré pour obtenir en amont des moyens de focalisation et pour toutes les positions et
- 25 orientations possibles du miroir mobile, un faisceau lumineux sortant apte à décrire dans un plan perpendiculaire à sa direction de propagation principale un cercle ayant un diamètre inférieur à 30 mm ou une ellipse dont le plus grand axe est inférieur à 30 mm, plus préférentiellement inférieur à 25 mm et encore plus préférentiellement, inférieur à 20 mm, ou
- 30 une ellipse dont le plus grand axe est inférieur à 30 mm, plus

préférentiellement inférieur à 25 mm et encore plus préférentiellement, inférieur à 20 mm.

[0028] Le plus grand axe de l'ellipse peut aussi être appelé le plus long diamètre de l'ellipse ou encore le plus grand diamètre.

5 **[0029]** De préférence, une modification de la distance entre le système de rétro-réflexion et le miroir est apte à induire une modification dudit diamètre ou dudit plus grand axe.

[0030] De préférence, la variation du diamètre ou du plus grand axe est apte à induire une variation de l'angle compris entre le faisceau lumineux
10 sortant en aval des moyens de focalisation et une normale de la surface supérieure du substrat.

[0031] De préférence, le dispositif comprend en outre un système de déflexion positionné entre le système optique et les moyens de focalisation pour décaler le faisceau lumineux sortant. Par exemple un système de
15 déflexion est un scanner, par exemple un scanner galvanométrique. Préférentiellement, le système de déflexion est positionné en amont des moyens de focalisation.

[0032] De préférence, les moyens de focalisation comprennent un objectif télécentrique.

20 **[0033]** L'avantage d'utiliser un objectif télécentrique pour focaliser le faisceau lumineux sortant est de permettre une structuration ou un usinage avec angle d'attaque du faisceau lumineux sortant focalisé constant pour des variations d'orientation du faisceau lumineux sortant en amont de l'objectif télécentrique. De préférence un objectif télécentrique est utilisé
25 avec un système de déflexion afin de permettre une modification de la position du faisceau lumineux sortant sans pour autant modifier son angle d'attaque.

[0034] De préférence, les moyens de focalisation sont configurés pour focaliser le faisceau lumineux sortant sur la surface supérieure du substrat.

- [0035]** De préférence, les moyens de focalisation sont configurés pour focaliser le faisceau lumineux sortant dans un plan de focalisation pour toutes les positions et orientations possibles du miroir mobile.
- [0036]** De préférence, le dispositif comprend en outre un collimateur de faisceau positionné entre la source lumineuse et le système optique, configuré pour être traversé par le faisceau lumineux entrant et pour modifier la convergence du faisceau lumineux entrant, de sorte que la distance entre les moyens de focalisation et le point de focalisation du faisceau lumineux sortant est apte à être modifiée.
- 5
- [0037]** De préférence, le système optique est configuré de sorte qu'une projection du faisceau lumineux sortant, dans un plan de focalisation et pour toutes les positions et orientations possibles du miroir mobile, a un contour extérieur essentiellement circulaire.
- [0038]** Par exemple, l'intégration du faisceau lumineux sortant en aval du moyen de focalisation lors de sa précession décrit la forme d'un cône avec un angle d'attaque par rapport à la surface du substrat à structurer, usiner ou graver. Par exemple, la précession du faisceau lumineux sortant décrit un déplacement sensiblement circulaire sur le substrat à structurer, usiner ou graver.
- 15
- [0039]** De préférence, l'angle d'attaque est compris entre 1° et 15°, de préférence compris entre 2° et 5°, de manière encore préférée entre 3° et 4°, pour tout décalage spatial entre faisceau lumineux sortant et faisceau lumineux entrant imposé par le système optique.
- 20
- [0040]** De préférence, le système optique est apte à induire un mouvement de précession du faisceau lumineux sortant focalisé par rapport à la surface supérieure dudit substrat.
- 25
- [0041]** De préférence, les moyens d'entraînement du miroir mobile sont aptes à imposer une vitesse de rotation du miroir comprise entre 1000 et 200000 tours par minute, plus préférentiellement entre 5000 et 100000
- 30
- tours par minutes et encore plus préférentiellement entre 10000 et 50000

tours par minutes et la vitesse de déplacement relatif du substrat par rapport au faisceau lumineux sortant focalisé est comprise entre 500 mm/s et 0.1 mm/s, plus préférentiellement, entre 200 mm/s et 0,5 mm/s et encore plus préférentiellement entre 100 mm/s et 1mm/s.

- 5 **[0042]** Par exemple, le diamètre du faisceau focalisé au point de focalisation est inférieur ou égal à la largeur d'ouverture de la cavité.

[0043] Selon un deuxième aspect, l'invention propose une méthode d'assemblage d'un substrat avec une pièce et comprenant les étapes suivantes :

- 10 - structurer une surface supérieure du substrat à l'aide d'une méthode selon le premier aspect de l'invention, pour générer une première partie de surface supérieure structurée du substrat comprenant un motif ;
- 15 - fournir la pièce dont une surface présente une deuxième partie de surface comprenant un matériau fusible ayant un point de fusion plus bas que le point de fusion de la première partie de surface supérieure structurée du substrat ;
- disposer la première partie de surface supérieure structurée du substrat en contact avec la deuxième partie de surface de la pièce ;
- 20 - appliquer une pression de façon à maintenir le contact entre la première partie de surface supérieure structurée du substrat et la deuxième partie de surface de la pièce ;
- fournir un dispositif de chauffage pour créer une augmentation de température dans le matériau fusible suffisante pour le faire fondre ; et
- 25 - chauffer, grâce au dispositif de chauffage, le matériau fusible de manière à atteindre dans le matériau fusible, une température suffisante pour en faire fondre au moins une partie dans le motif de la première partie de surface supérieure structurée du substrat.

[0044] Les différentes variantes et avantages décrits pour la méthode selon le premier aspect de l'invention s'appliquent à la méthode d'assemblage selon le deuxième aspect, mutadis mutandis.

[0045] De préférence, le dispositif de chauffage est un laser apte à
5 produire un faisceau laser capable de chauffer par irradiation la première partie de surface supérieure structurée du substrat et la pièce est au moins partiellement transparente au faisceau laser. Par exemple le dispositif de chauffage est un laser de soudage. Un meilleur assemblage sera obtenu en adaptant la longueur du faisceau laser avec un maximum du spectre
10 d'absorption du matériau à chauffer. De préférence, la pièce comprend un polymère ou du verre. De préférence, le matériau fusible de la pièce pénètre dans le motif de la première partie de surface supérieure structurée du substrat par la surface supérieure du substrat.

[0046] De préférence, le matériau fusible de la pièce comprend des
15 monomères et / ou des chaînes de polymères, plus préférentiellement un polymère thermoplastique et encore plus préférentiellement un polymère thermoplastique élastomère. De préférence, le matériau fusible a au moins une température de transition et préférentiellement, cette au moins une température de transition est une température de transition vitreuse. Par
20 exemple, le matériau fusible est chauffé au-delà de sa température de transition vitreuse. Préférentiellement, ladite au moins une température de transition est une température de fusion. Par exemple, le matériau fusible est chauffé au-delà de sa température de fusion.

[0047] Selon un troisième aspect, un des buts de l'invention est de
25 fournir un ensemble comprenant un substrat et un dispositif pour structurer ledit substrat qui peut par la suite être assemblé avec un deuxième matériau et dont l'assemblage avec ce deuxième matériau présente une force d'adhésion ou résistance mécanique plus importante. Une meilleure résistance mécanique étant obtenue grâce à l'angle décrit par les
30 structures à conicité négative formées et la surface du substrat. Les

structures à conicité négative formées à la surface du substrat permettent une meilleure adhésion du deuxième matériau avec le substrat en favorisant notamment l'ancrage mécanique du deuxième matériau dans les structures à conicité négative. A cet effet, l'invention propose, selon ce

5 troisième aspect, un ensemble comprenant un substrat ayant une surface supérieure et un dispositif pour structurer ledit substrat, ledit dispositif comprenant :

- une source lumineuse pour générer un faisceau lumineux entrant de structuration apte à usiner la surface supérieure du substrat ;
- 10 - un système optique pour obtenir, à partir du faisceau lumineux entrant, un faisceau lumineux sortant spatialement décalé par rapport au faisceau lumineux entrant, le système optique étant apte à modifier le décalage spatial entre le faisceau lumineux entrant et le faisceau lumineux sortant ;
- 15 - des moyens de focalisation pour focaliser le faisceau lumineux sortant ;
- un porte substrat ;
- un dispositif de déplacement pour générer un mouvement relatif entre le faisceau lumineux sortant et le porte substrat ;
- 20 le substrat étant posé sur le porte substrat de sorte à présenter vers les moyens de focalisation sa surface supérieure caractérisée par une normale,
- le dispositif étant configuré de sorte que le faisceau lumineux sortant focalisé et la normale de la surface supérieure du substrat au niveau
- 25 d'un point de focalisation du faisceau lumineux sortant sont séparés par un angle d'attaque supérieur à 1° , de préférence supérieur à 3° , pour tout décalage spatial entre faisceau lumineux sortant et faisceau lumineux entrant imposé par le système optique.

[0048] Les différentes variantes et avantages décrits pour les méthodes selon les premier et deuxième aspects de l'invention s'appliquent à l'ensemble selon le troisième aspect, mutadis mutandis.

[0049] De préférence, le dispositif est configuré de sorte que ledit faisceau lumineux sortant focalisé et une normale de ladite surface supérieure dudit substrat au niveau d'un point de focalisation dudit faisceau lumineux sortant sont séparés par un angle d'attaque compris entre 1° et 15°, de préférence compris entre 2° et 5°, de manière encore préférée entre 3° et 4°, pour tout décalage spatial entre faisceau lumineux sortant et faisceau lumineux entrant imposé par ledit système optique.

[0050] L'avantage du dispositif compris dans l'invention est de permettre la focalisation d'un faisceau laser avec un angle d'attaque contrôlé dans deux dimensions. Le dispositif de l'invention permet également l'usinage ou la structuration selon une dimension pour une structuration selon une ligne et permet également la formation de trous circulaires ou de motifs plus complexes avec un angle d'attaque du faisceau lumineux de sortie constant.

[0051] L'avantage du dispositif compris dans l'invention et plus particulièrement du système optique est d'être relativement léger et peu encombrant. De plus le décalage latéral en amont du moyen de focalisation et donc l'angle d'attaque sur le substrat peuvent être contrôlés facilement par le positionnement relatif du miroir avec le système de rétro réflexion.

[0052] Un faisceau laser pour la structuration ou l'usinage est de préférence considéré comme ayant un profil d'intensité gaussien. Un faisceau laser focalisé dans un plan signifie que pour plusieurs positions du faisceau laser, la tâche de focalisation est comprise dans ledit plan. De préférence, une tâche de focalisation d'un faisceau laser focalisé comprend une profondeur de champ. Pour plusieurs positions du faisceau laser dans un plan, la tâche de focalisation est comprise dans ledit plan c'est-à-dire

qu'une position de la tâche de focalisation située dans la profondeur de champ de la tâche de focalisation est comprise dans ledit plan.

[0053] De préférence, le plan de focalisation est parallèle à la surface supérieure du substrat. Préférentiellement, le plan de focalisation est confondu avec la surface supérieure du substrat. De préférence, les moyens de focalisation comprennent un axe optique. De préférence, les moyens de focalisations sont une lentille convergente.

[0054] De préférence, le dispositif de déplacement permet de générer un mouvement linéaire à une vitesse jusqu'à 100 mm/s, plus préférentiellement à une vitesse jusqu'à 50 mm/s et encore plus préférentiellement à une vitesse jusqu'à 25 mm/s.

[0055] Selon un quatrième aspect, l'invention propose un système pour l'assemblage d'un substrat avec une pièce comprenant un matériau fusible ayant un point de fusion plus bas que le point de fusion du substrat, le système comprenant :

- un ensemble selon le troisième aspect de l'invention pour structurer une surface supérieure du substrat ;
- un moyen de mise en contact de la pièce avec la surface supérieure du substrat ;
- un moyen de mise en compression ;
- un dispositif de chauffage capable de créer une augmentation de température suffisante dans le matériau fusible pour en faire fondre au moins une partie.

[0056] Les différentes variantes et avantages décrits pour les méthodes selon les premier et deuxième aspects de l'invention et pour l'ensemble selon le troisième aspect de l'invention s'appliquent au système selon le quatrième aspect, mutadis mutandis.

[0057] Selon un cinquième aspect, l'invention propose un substrat ayant une structuration de sa surface supérieure avec une conicité négative obtenu selon la méthode de structuration du premier aspect de l'invention.

[0058] Les différentes variantes et avantages décrits pour les méthodes selon les premier et deuxième aspects de l'invention et pour l'ensemble et le système selon les troisième et quatrième aspect de l'invention s'appliquent au substrat selon le cinquième aspect, mutadis mutandis.

[0059] Selon un sixième aspect, l'invention propose un guide d'onde formé dans le substrat selon le cinquième aspect de l'invention, la structuration à conicité négative comprenant un deuxième matériau, ledit deuxième matériau ayant un indice de réfraction supérieur à l'indice de réfraction dudit substrat, ledit deuxième matériau étant un matériau polymère et plus préférentiellement du poly(méthacrylate de méthyl).

[0060] Les différentes variantes et avantages décrits pour les méthodes selon les premier et deuxième aspects de l'invention et pour l'ensemble et le système selon les troisième et quatrième aspect de l'invention ainsi que pour le substrat selon le cinquième aspect s'appliquent au guide d'onde selon le sixième aspect, mutadis mutandis.

[0061] Selon un septième aspect, l'invention propose un circuit électrique comprenant un substrat selon le cinquième aspect de l'invention, la structuration a conicité négative comprend un matériau conducteur et le substrat comprend un matériau isolant électriquement. De préférence, le matériau conducteur a un coefficient d'absorption optique plus important que celui du substrat dans une plage de longueur d'onde comprise entre 200 nm et 12000 nm. De préférence, le substrat est un substrat flexible. De préférence, le matériau conducteur comprend de l'étain.

[0062] Les différentes variantes et avantages décrits pour les méthodes selon les premier et deuxième aspects de l'invention et pour l'ensemble et le système selon les troisième et quatrième aspect de l'invention ainsi que

pour le substrat selon le cinquième aspect s'appliquent au circuit électrique selon le septième aspect, mutadis mutandis.

Brève description des figures

- [0063] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention
- 5 apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit pour la compréhension de laquelle on se reportera aux figures annexées parmi lesquelles :
- la figure 1 illustre un mode de réalisation d'un dispositif pour structurer un substrat selon l'invention,
 - 10 - la figure 2 illustre un mode de réalisation du système optique compris dans le dispositif pour structurer un substrat selon l'invention,
 - les figures 3a, 3b et 3c illustrent les étapes permettant la structuration d'un substrat avec une conicité négative selon la méthode du premier aspect de l'invention,
 - 15 - la figure 4 illustre un mode de réalisation d'un substrat obtenu par une méthode selon une réalisation possible de l'invention,
 - la figure 5 illustre un mode de réalisation d'un substrat obtenu par une méthode de structuration selon l'invention ;
 - la figure 6 illustre un mode de réalisation d'un substrat obtenu par
 - 20 une méthode de structuration selon l'invention.

Exemples de modes de réalisation de l'invention

- [0064] La présente invention est décrite avec des réalisations particulières et des références à des figures mais l'invention n'est pas limitée par celles-ci. Les dessins ou figures décrits ne sont que
- 25 schématiques et ne sont pas limitants. Dans le contexte du présent document, les termes « premier » et « deuxième » servent uniquement à différencier les différents éléments et n'impliquent pas d'ordre entre ces éléments. Sur les figures, les éléments identiques ou analogues peuvent porter les mêmes références.

[0065] La méthode de structuration selon le premier aspect de l'invention permet de structurer et ou d'usiner une surface d'un substrat 11 avec un faisceau lumineux 7 ayant un angle d'attaque 107 par rapport à une normale 106 à la surface du substrat 11 de préférence supérieure à 1°.

5 Différents systèmes optiques 2 pourraient être utilisés pour différents modes de réalisation permettant de faire varier l'angle d'attaque 107 du faisceau lumineux 7 par rapport à une normale 106 à la surface supérieure 16 du substrat 11. Par exemple un ou plusieurs modes de réalisation permettent d'obtenir un faisceau lumineux sortant 7 décalé par rapport au

10 faisceau lumineux entrant 1 avec un système optique 2 utilisant un miroir 19 mobile. Par exemple un miroir 19 mobile ayant une normale 26 est apte à décrire une trajectoire dans un espace bidimensionnel ou tridimensionnel. Par exemple un mode de réalisation de l'invention permet grâce au dispositif de déplacement 60 d'imposer au substrat 11, un angle d'attaque

15 107 par le déplacement du substrat par rapport au faisceau lumineux sortant 7 focalisé. Par exemple, un autre mode de réalisation permet d'imposer un angle d'attaque 107 supérieur à 1° par un décalage du faisceau lumineux sortant 7 par rapport au faisceau lumineux entrant 1 grâce au système optique 2 et par le déplacement du substrat 11 par le

20 système de déplacement 60 par rapport au faisceau lumineux sortant 7.

[0066] La figure 1 montre le schéma d'un mode de réalisation possible du dispositif 100 de structuration de l'invention. Le dispositif 100 de structuration comprend une source lumineuse 33 qui est de préférence un source laser et encore plus préférentiellement une source laser pulsée qui

25 permet de produire un faisceau lumineux entrant 1. Le dispositif 100 de structuration comprend un système optique 2 qui permet d'obtenir à partir du faisceau lumineux entrant 1, un faisceau lumineux sortant 7 qui est spatialement décalé par rapport audit faisceau lumineux entrant 1. Tel qu'il est montré sur la figure 1, le faisceau lumineux sortant est focalisé sur un

30 substrat 11 en passant au travers d'un moyen de focalisation 9, une lentille

convergente par exemple. Une lentille convergente est par exemple de type biconvexe symétrique, biconvexe asymétrique, plan-convexe ou encore ménisque convergent. Une lentille convergente est de préférence sphérique. Le dispositif 100 comprend également des moyens de déplacement 60 pour déplacer le substrat 11. Le substrat 11 est positionné sur un dispositif de déplacement 60 permettant le positionnement du substrat 11 relativement par rapport au faisceau lumineux sortant 7. Le système optique 2 permet d'induire au faisceau lumineux sortant 7 un mouvement de rotation avant de passer à travers le moyen de focalisation 9. Ainsi le faisceau lumineux sortant 7 avant de passer au travers du moyen de focalisation 9 est toujours parallèle à lui-même quelle que soit sa position lors de son mouvement de rotation. En effet le système optique permet le décalage latéral du faisceau lumineux sortant 7 tel qu'il est toujours parallèle à lui-même. En considérant un plan au niveau de l'entrée du faisceau lumineux sortant 7 perpendiculaire au faisceau lumineux sortant 7, la projection du faisceau lumineux sortant 7 sur ce plan lors de son mouvement de rotation décrit de préférence un cercle. Le faisceau lumineux sortant 7 décrit un mouvement de précession après avoir traversé le moyen de focalisation 9. Le faisceau lumineux sortant 7 est focalisé en un point, en une tâche ou en une petite surface sur le substrat 11 à usiner ou à structurer.

[0067] Sur la figure 1, le mouvement de rotation imposé par le système optique 2 au faisceau lumineux sortant 7 se produit autour d'un axe 106 préférentiellement appelé axe de précession. L'axe autour duquel se produit le mouvement de précession du faisceau lumineux sortant 7 est de préférence aligné avec l'axe optique 106 du moyen de focalisation 9. Ainsi le faisceau lumineux sortant 7 est focalisé en un point, en une tâche ou en une petite surface centré sur l'axe optique 106 du moyen de focalisation 9. La focalisation du faisceau lumineux sortant 7 par le moyen de focalisation 9 se fait en un point, une tâche ou une petite surface de focalisation situé à

une distance sur l'axe optique 106 du moyen de focalisation 9 constitué d'une lentille convergente correspondant au foyer image de la lentille convergente. Par exemple pour réaliser une structuration de la surface supérieure 16 d'un substrat 11, la lentille convergente est positionnée afin
5 que son foyer image soit au niveau de la surface supérieure 16 du substrat 11. En fonction de la profondeur de la structuration ou de l'usinage désiré, le foyer image de la lentille convergente (du moyen de focalisation) peut être déplacé plus en profondeur sous la surface supérieure 16 du substrat 11. Par exemple, dans le cas d'une structuration traversant le substrat 11
10 ou d'une gravure, le foyer image du moyen de focalisation 9 est déplacé dans la profondeur du substrat 11. Le bon positionnement du foyer image du moyen de focalisation 9 permet d'obtenir une structuration ou une gravure ayant des bords bien droits et bien net, c'est-à-dire sans zones de refondues par exemple.

15 **[0068]** Par exemple une lentille convergente comprise dans un moyen de focalisation 9 a une distance focale comprise entre 10 mm et 160 mm, plus préférentiellement entre 20 mm et 100 mm. Par exemple la lentille convergente peut être échangée afin qu'elle est une distance focale de 80 mm, de 50 mm ou de 30 mm. Par exemple un objectif télécentrique
20 compris dans les moyens de focalisation 9 a une distance focale comprise entre 10 mm et 160 mm, plus préférentiellement entre 20 mm et 100 mm. Par exemple l'objectif télécentrique est utilisé lorsqu'un moyen de déflexion est positionné entre le système optique 2 et les moyens de focalisation 9.

[0069] Pour une distance focale de la lentille convergente du moyen de
25 focalisation 9 donnée, l'amplitude du décalage latéral du faisceau lumineux sortant 7 avant de passer au travers du moyen de focalisation 9 permet de modifier l'angle d'attaque 107 du faisceau lumineux sortant 7 avec une normale 106 de la surface supérieure 16 du substrat 11. Dans ces conditions, une augmentation de l'amplitude de décalage latéral engendre
30 une valeur d'angle d'attaque 107 plus importante. L'angle d'attaque 107 a

de préférence un angle d'attaque 107 compris entre 3° et 10°. En fonction de l'angle d'attaque désiré et en fonction de la précision de la structuration ou de l'usinage désiré, la distance focale de la lentille convergente peut être adaptée. Une lentille convergente avec une distance focale de 80 mm

5 permet par exemple un angle d'attaque 107 maximal d'environ 5° et permet de réaliser pour une position du substrat 11 une structuration ou un trou ayant une dimension maximale de 1000 μm et une dimension minimale de 90 μm . Une lentille convergente avec une distance focale de 50 mm permet

10 par exemple un angle d'attaque 107 maximal d'environ 7° et permet de réaliser pour une position du substrat 11 une structuration ou un trou ayant une dimension maximale de 500 μm et une dimension minimale de 60 μm . Une lentille convergente avec une distance focale de 30 mm permet par

15 exemple un angle d'attaque 107 maximal d'environ 10° et permet de réaliser pour une position du substrat 11 une structuration ou un trou ayant une dimension maximale de 200 μm et une dimension minimale de 40 μm . Le choix du moyen de focalisation et dans le cas d'une lentille convergente, de sa distance focale permet de modifier l'angle d'attaque 107 du faisceau lumineux sortant 7 avec une normale 106 issue de la surface supérieure 16 du substrat 11.

20 **[0070]** Les moyens de déplacement 60 sont par exemple des moyens de déplacement à commande numérique pilotés par ordinateur. Les moyens de déplacement 60 permettent par exemple d'effectuer des translation selon 5 axes. Dans la configuration d'un système optique 2 à miroir 19 mobile en rotation, il est possible de définir une rotation du miroir

25 continue avec une position angulaire du miroir indépendante de la position du substrat à usiner ou à structurer. Il est également possible d'imposer une position angulaire du miroir 19 en fonction de la position du substrat à usiner ou à structurer afin de pouvoir usiner ou structurer le substrat 11 avec un angle d'incidence 107 pour une certaine position du substrat 11.

30 Un porte substrat 59 est positionné sur les moyens de déplacement 60. Le

porte substrat 59 permet un bon maintien du substrat par rapport aux moyens de déplacement 60. Le porte substrat 59 permet une bonne transmission des mouvements de translation induit par les moyens de déplacement 60 au substrat 11.

5 **[0071]** La source lumineuse 33 est de préférence une source lumineuse monochromatique de type laser pouvant avoir des longueurs d'ondes de 258 nm, 266 nm, 343 nm, 355 nm, 515 nm, 532 nm, 1030 nm et 1064 nm. Le dispositif 100 selon l'invention permet l'utilisation des longueurs d'ondes citées ci-dessus sans pour autant être limité à d'autres
10 longueurs d'ondes dans l'intervalle 250 nm à 1100 nm.

[0072] La figure 2 montre un exemple de mode de réalisation du dispositif 100 et en particulier du système optique 2 et du dispositif de déplacement 60. Dans le mode de réalisation du système optique présenté en figure 2, le faisceau lumineux entrant 1 est un faisceau lumineux
15 généré par la source lumineuse 33 et voyageant de préférence à l'extérieur du système optique 2 avant d'y pénétrer alors que le faisceau lumineux incident 4 voyage uniquement à l'intérieur du système optique 2. Le faisceau lumineux incident 4 peut être obtenu par la déflexion du faisceau lumineux entrant 1 ou sans déflexion du faisceau lumineux entrant 1. Dans
20 le mode de réalisation de la figure 2, le faisceau lumineux entrant 1 et le faisceau lumineux incident 4 sont sur la même trajectoire linéaire. Le système optique 2 comprend un miroir 19 qui permet d'obtenir un premier faisceau lumineux réfléchi 23 par la réflexion du faisceau lumineux incident 4. Le système optique 2 comprend également un système de rétro-
25 réflexion 21 qui permet de rediriger le premier faisceau lumineux réfléchi 23 sur le miroir 19. En d'autres termes, le deuxième faisceau lumineux incident 8 en direction du miroir 19 est obtenu par le passage du premier faisceau lumineux réfléchi 23 dans le système de rétro réflexion 21. Le deuxième faisceau lumineux incident 8 est alors réfléchi par le miroir 19 et forme un
30 faisceau lumineux sortant 7. Le système optique 2 est configuré de telle

sorte que le faisceau lumineux sortant 7 peut être spatialement décalé par rapport au faisceau lumineux entrant 1 tout en restant parallèle à la direction du faisceau lumineux entrant 1 en amont du moyen de focalisation 9. Dans l'exemple montré par la figure 2, le faisceau lumineux entrant 1 et le faisceau lumineux sortant 7 sont décalés de façon transversale. En figure 5 2, le miroir 19 peut effectuer une rotation complète autour d'une axe de rotation 5 et des moyens d'entraînement 6 permettent de mettre le miroir 19 en rotation autour de son axe de rotation 5. Le système optique 2 du dispositif 100 est configuré de sorte le premier faisceau lumineux incident 4 et la normale 26 au miroir 19 sont séparés par un angle 15 compris entre 0° 10 et 15° pour toutes les positions et orientation possibles du miroir 19 mobile. Cet angle 15 n'est pas montré à l'échelle sur la figure 2 pour des raisons de clarté de la figure. Le système optique 2 est configuré de sorte qu'une modification de position entre le miroir 19 et le système de rétro réflexion 21 15 permet d'induire une variation du décalage entre les faisceaux lumineux entrant 1 et sortant 7. Le système optique est par exemple monté sur une platine de déplacement. Dans le mode de réalisation montré à la figure 2, en fonction de la position angulaire du miroir 19 mobile, le faisceau lumineux sortant 7 va suivre une trajectoire différente. De préférence 20 chacune des trajectoire du faisceau lumineux sortant 7 obtenue pour chacune des positions angulaires du miroir 19 mobile sont parallèles. Le système optique 2 comprend également un ou des moyens de focalisation 9 pour focaliser le faisceau lumineux sortant 7 sur le substrat 11. Le mouvement de rotation du faisceau lumineux sortant 7 engendré par la 25 rotation du miroir 19 en amont du moyen de focalisation 9, permet de produire le mouvement de précession du faisceau lumineux sortant 7 en aval du moyen de focalisation 9. Le mouvement de précession du faisceau lumineux sortant 7 est de préférence produit en un point, une tâche ou une petite surface sur un substrat 11 destiné à être structuré ou usiné. Le 30 mouvement de précession est illustré sur les figures 2, 3a, 3b et 3c par des

flèches décrivant une portion de cercle. Enfin le dispositif comprend des moyens de déplacement 60 permettant de déplacer le substrat 11 relativement par rapport au faisceau lumineux sortant 7. Les moyens de déplacement 60 permettent par exemple de déplacer le substrat selon les directions 101, 102 et 103. Les directions 101, 102 et 103 définissant de préférence un système de coordonnées cartésiennes en trois dimensions.

5 [0073] En plus des moyens d'entraînement 6 permettant la mise en rotation du miroir 19 mobile, des moyens pour imposer un mouvement de translation du miroir 19 mobile et ou des moyens permettant de modifier l'inclinaison du miroir 19 mobile peuvent être présents (miroir 19 inclinable selon deux ou plus directions non parallèles et des moyens d'entraînement apte à modifier l'inclinaison du miroir 19, ces moyens d'entraînement étant par exemple un système piézoélectrique). L'intérêt de combiner un mouvement de translation et un mouvement de rotation du miroir 19 est de
10 générer par le mouvement relatif de rotation entre le miroir 19 et le système de rétro réflexion 21, une précession du faisceau lumineux sortant 7 en aval du moyen de focalisation 9, et, par le mouvement de translation relative entre le miroir 19 et le système de rétro réflexion 21, de modifier l'angle d'attaque 107 avec le substrat 11. Des exemples de moyens
15 d'entraînement sont des moteurs électriques, des moteurs brushless.

[0074] Le système de rétro réflexion 21 compris dans le système optique 2 comprend par exemple un prisme de Dove et un prisme isocèle à angle droit. Un autre mode de réalisation d'un système de rétro réflexion comprend par exemple un prisme de Dove, un prisme isocèle à angle-droit,
20 une lame demi-onde, un prisme en toit et un miroir semi-réfléchissant polarisant.

[0075] Les figures 3a, 3b et 3c montrent le faisceau lumineux sortant 7 issu du système optique 2 dans trois positions différentes lors de son mouvement de précession en aval du moyen de focalisation 9. Les figures
30 3a, 3b et 3c montrent système optique 2 permettant de générer un faisceau

lumineux sortant 7 qui est, en amont du moyen de focalisation 9 décalé dans l'espace autour du centre optique 106 du moyen de focalisation 9. Le moyen de focalisation 9 étant par exemple une lentille convergente. En amont de la lentille convergente, la figure 3a montre un faisceau lumineux sortant 7 décalé à gauche du centre optique de la lentille convergente, la figure 3b montre un faisceau lumineux sortant 7 décalé en avant ou en arrière du centre optique 106 de la lentille convergente et la figure 3c montre un faisceau lumineux sortant 7 décalé à droite du centre optique 106. De préférence, le décalage en avant ou en arrière par rapport au centre optique 106 illustré par la figure 3b correspond à la même distance que le décalage à gauche ou à droite du centre optique 106 des figures 3a et 3c. De préférence, la projection décrite par le faisceau lumineux sortant 7 sur la surface amont de la lentille convergente 9 est un cercle. De préférence le centre du cercle décrit par le faisceau lumineux sortant 7 sur la surface amont de la lentille convergente 9 est confondu avec le centre optique de la lentille convergente 9.

[0076] Les figures 3a, 3b et 3c montrent que la position du faisceau lumineux sortant 7 sur la lentille convergente permet de modifier l'angle d'attaque 107 du faisceau lumineux sortant 7 avec une normale 106 à la surface supérieure 16 du substrat 11. L'angle d'attaque 107 du faisceau lumineux sortant 7 est contrôlé grâce au choix de la lentille convergente et au décalage latéral du faisceau lumineux sortant par rapport au centre optique de la lentille convergente. Le mouvement de rotation du faisceau lumineux sortant 7 en amont de la lentille permet de créer un mouvement de précession en aval de la lentille convergente 9 qui présente un angle d'attaque qui peut être choisi. En fonction de l'angle d'attaque 107 choisi, le substrat 11 est structuré ou usiné avec une conicité contrôlée. Le contrôle de l'angle d'attaque 107 permet par exemple de compenser la distribution en énergie du faisceau laser afin d'obtenir une structuration ou un usinage avec une conicité nulle. Le contrôle de l'angle d'attaque 107 permet par

exemple de compenser la distribution en énergie du faisceau laser afin d'obtenir une structuration ou un usinage avec une conicité négative.

[0077] Les figures 3a, 3b et 3c montrent des positions du faisceau lumineux sortant 7 focalisé permettant la formation d'une structuration, d'un trou ou d'un usinage à conicité négative. La conicité négative est par exemple caractérisée par un angle de conicité négative 108 décrit par une normale 106 à la surface supérieure 16 du substrat 11 et un bord de la structuration ou de la partie usinée par le faisceau lumineux sortant 7 focalisé. Par exemple lors de la structuration ou de l'usinage d'un substrat, la position de la lentille convergente 9 est modifiée par rapport à la surface supérieure 16 du substrat afin de modifier la position du foyer image de la lentille et ainsi de modifier le point, la tâche ou la petite surface de focalisation du faisceau lumineux sortant 7. La profondeur de structuration est par exemple définie de manière non-exhaustive par la vitesse de la précession, par l'intervalle entre chaque pulse lumineux, par la quantité d'énergie de chaque pulse lumineux, par la longueur d'onde du faisceau lumineux, par le coefficient d'absorption du substrat, par les propriétés physiques du substrat...

[0078] La figure 4 montre un substrat structuré selon un mode de réalisation selon un second aspect de l'invention. La figure 4 montre deux structures ou motifs 17 parallèles en forme de rainures 17 formés selon la méthode de l'invention. Ces rainures 17 sont formées selon la méthode et notamment en effectuant les étapes suivantes : a) fournir le dispositif 100 ; b) fournir le substrat 11 de sorte qu'il puisse être translaté par le dispositif de déplacement 60 par rapport au faisceau lumineux sortant 7 focalisé ; c) générer avec la source lumineuse 33 le faisceau lumineux entrant 1 apte à graver le substrat 11 à partir de sa surface supérieure 16 ; d) générer à partir du faisceau lumineux entrant 1 lors de son passage dans le système optique 2 puis au travers des moyens de focalisation 9, un faisceau lumineux sortant 7 focalisé décrivant un mouvement de précession par

rapport à la surface supérieure 16 du substrat 11 ; e) déplacer le substrat 11 relativement par rapport au faisceau lumineux sortant 7 focalisé décrivant un mouvement de précession au moyen du dispositif de déplacement 60 afin de graver un motif 17 et plus particulièrement des rainures 17 à partir de la surface supérieure 16 dudit substrat 11, les rainures 17 formées comprenant une cavité 3 débouchant par une ouverture 4 à la surface supérieure 16 du substrat 11.

[0079] Sur les figures 4 et 5, les motifs ou rainures formées 17 comprennent chacune une cavité 3 ainsi que des parois latérales 8, la cavité 3 décrite dans un plan essentiellement perpendiculaire à la surface supérieure 16, comprend au niveau de son ouverture 4 sur la surface supérieure 16 du substrat 11, une première 51 et une deuxième 52 extrémités définies par une intersection entre la surface supérieure 16 et les parois latérales 8. Il est possible de définir une largeur d'ouverture 5 par la distance entre la première 51 et la deuxième 52 extrémités de l'ouverture 4. Une largeur maximale 6 de la cavité 3 est parallèle à la surface supérieure 16 du substrat 11 de sorte que la largeur maximale 6 de la cavité 3 définit une première 61 et une deuxième 62 extrémité de la largeur maximale 6 avec les parois latérales 8 de la cavité 3. Un profondeur maximale 7 de la cavité 3 peut également être décrite comme étant la profondeur de la rainure 17 ou de la structuration 17 par rapport à la surface supérieure 16 du substrat 11. Sur les figures 4 et 5, la largeur d'ouverture 5 de la cavité 3 est strictement plus petite que la largeur maximale 6 de la cavité 3. La cavité 3 est représentée sur la figure 4 tel une rainure 17 ou une structuration de surface. Les rainures ou structurations ayant une largeur d'ouverture 5 de la cavité 3 plus petite que la largeur maximale 6 ou largeur sous la surface sont dites rainures ou structuration à conicité négative.

[0080] L'angle de conicité négative 108 décrit entre une paroi 8 de la rainure 17 et une normale 106 à la surface supérieure 16 du substrat 11

permet de définir la structuration de surface. Il est également possible d'obtenir une conicité de rainure nulle lorsque l'angle 108 est égal ou très proche de zéro. Une conicité positive peut également être obtenue par le dispositif et la méthode de l'invention.

5 [0081] La largeur 5 de l'ouverture 4 de la structuration est de préférence comprise entre 1 mm et 10 μm , plus préférentiellement comprise entre 500 μm et 30 μm et plus préférentiellement comprise entre 150 μm et 50 μm . La largeur maximale 6 de la structuration est de préférence comprise entre 1,1 mm et 15 μm , plus préférentiellement
10 comprise entre 550 μm et 45 μm et plus préférentiellement comprise entre 200 μm et 60 μm .

[0082] Les rainures ont une profondeur 7 pouvant être de l'ordre de 1 μm à 2 mm, plus préférentiellement, de 5 à 500 μm et encore plus préférentiellement, de 10 à 200 μm . Les inventeurs ont trouvé que ce
15 dernier intervalle de profondeur 7 est optimal pour l'adhésion du substrat 11 structuré avec un deuxième matériaux. Une profondeur 7 comprise entre 50 μm et 150 μm est particulièrement préférée.

[0083] La figure 6 montre un exemple de rainures formées pour un mode de réalisation particulier de l'invention. La figure 6 montre dans un
20 plan essentiellement perpendiculaire à la surface supérieure 16 du substrat 11, des rainures formées et comprenant une cavité 3. Ces rainures formées ont une largeur pouvant varier mais présentent un angle de conicité 108 par rapport à une normale 106 à la surface supérieure 16 du substrat 11 non nul. Dans un autre mode de réalisation, ces rainures ont
25 une largeur constante dans l'épaisseur du substrat et présentent un angle de conicité 108 par rapport à une normale 106 à la surface supérieure 16 du substrat 11 non nul. Ces rainures en biais par rapport à une normale 106 présentent, dans la direction de la normale 106, une partie de la cavité 3 située sous la surface supérieure 16 du substrat et une partie de la cavité
30 située sous l'ouverture 4. Plusieurs rainures formées en biais par rapport à

la surface supérieure 16 avec une largeur 5 dans l'épaisseur peuvent être formées telles qu'illustrées en Figure 6, c'est-à-dire en présentant une symétrie l'une par rapport à l'autre dans un plan de coupe. Par exemple, pour une pluralité de rainures, une rainure sur deux présentent une même orientation dans un plan de coupe. La formation de ces rainures en biais nécessite par exemple un système optique 2 nécessitant un miroir 19 mobile et un système de redirection pouvant être un simple miroir. Ces rainures permettent par exemple d'obtenir des propriétés d'assemblage avec un deuxième matériau comparables à celles obtenues avec les rainures montrées en Figure 4. En effet, les rainures présentées en Figure 6 peuvent être vues comme une décomposition de la propriété d'ancrage mécanique des rainures présentées en Figure 4. L'ancrage mécanique d'un deuxième matériau étant créé par le deuxième matériau présent sous la surface du substrat et pas seulement sous l'ouverture 4. Ainsi les rainures en biais telles que présentées en Figure 6 permettent, pour autant qu'elle soit suffisamment rapprochées, d'obtenir un effet d'ancrage mécanique d'un deuxième matériau proche de celui créé par les rainures en Figure 4. L'angle des parois 8 des rainures en biais avec une normale 106 est de préférence non nul et plus préférentiellement compris entre 0° et 30° et encore plus préférentiellement compris entre 1° et 20°. Par exemple les rainures en biais ont une largeur d'ouverture 5 pouvant varier le long de ces rainures et présenter un profil conique. La formation de deux cavités 3 ou plus à la surface supérieure 16 d'un substrat 11 permet la création de structures afin d'obtenir un bon ancrage mécanique d'un deuxième matériau et d'obtenir une rupture cohésive dans le deuxième matériau lors d'un essai mécanique.

[0084] En introduisant un deuxième matériau dans les rainures du substrat structuré, il est possible de réaliser un guide d'onde. Le deuxième matériau est alors inséré dans la structuration à conicité négative par la surface supérieure du substrat. De préférence, le deuxième matériau est un

polymère qui est polymérisé à l'intérieur de la structuration à conicité négative. Le deuxième matériau a un indice de réfraction supérieur à l'indice de réfraction du substrat. Le deuxième matériau comprend un matériau polymère et ou plus préférentiellement du poly(méthacrylate de méthyl). Un substrat comprenant un métal, un verre, une céramique ou un matériau polymère peuvent par exemple être utilisé en combinaison du deuxième matériau. La structuration à conicité négative comprenant un deuxième matériau permet le transport d'une onde électromagnétique de manière contrôlé, c'est-à-dire longitudinalement à la structuration. La structuration est par exemple en ligne droite ou décrivant une courbe ou les deux. Le couplage optique du guide d'onde avec un autre dispositif optique peut se faire sur une des faces latérales du substrat. La structuration à conicité négative, remplie d'un deuxième matériau permet la propagation d'ondes par réflexions multiples (sur les interfaces entre le substrat 11 et le deuxième matériau et sur les surfaces entre le deuxième matériau et l'air) à la manière d'une fibre optique.

[0085] Un circuit électrique comprenant un substrat 11 selon le troisième aspect de l'invention est formé en insérant dans la structuration à conicité négative un matériau conducteur. Le matériau conducteur a par exemple un coefficient d'absorption plus important que le coefficient d'absorption du substrat 11 dans la plage de longueur d'onde 200 nm – 2000 nm. Le matériau conducteur est par exemple de l'étain qui possède alors un point de fusion plus bas que celui du substrat 11. Le substrat est un matériau ayant une grande résistance électrique. Le matériau conducteur est par exemple fondu et coulé à l'intérieur de la structuration à conicité négative afin de remplir au moins partiellement la structuration à conicité négative. De préférence le substrat 11 est isolant électriquement, c'est-à-dire qu'il permet d'isoler électriquement des éléments conducteurs d'électricité les uns des autres. Par exemple le matériau conducteur dans un état visqueux est introduit par capillarité. Le substrat 11 est par exemple

un matériau transparent de type Poly(téréphtalate d'éthylène) (PET) ou Poly(naphtalate d'éthylène) (PEN) pour ses propriétés isolante et de flexibilité mécanique. Un matériau flexible est un matériau qui peut être enroulé autour d'un support cylindrique avec un diamètre minimal de 1 cm.

5 Un matériau flexible peut être utilisé dans un procédé de dépôt rouleau à rouleau en continu. Par exemple le substrat est en bakélite. Par exemple des connexions électriques peuvent être réalisées en apposant un composant à raccorder électriquement en contact avec le matériau conducteur par l'ouverture 4 de la conicité négative et en chauffant
10 localement à l'aide d'un laser de chauffage le matériau conducteur à l'emplacement désiré. Le laser de chauffage est par exemple transmis à travers le substrat transparent. Le matériau conducteur comprend de préférence un métal, de l'étain ou des particules métalliques.

[0086] La présente invention a été décrite en relation avec des modes
15 de réalisations spécifiques, qui ont une valeur purement illustrative et ne doivent pas être considérés comme limitatifs. D'une manière générale, la présente invention n'est pas limitée aux exemples illustrés et/ou décrits ci-dessus. L'usage des verbes « comprendre », « inclure », « comporter », ou toute autre variante, ainsi que leurs conjugaisons, ne peut en aucune façon
20 exclure la présence d'éléments autres que ceux mentionnés. L'usage de l'article indéfini « un », « une », ou de l'article défini « le », « la » ou « l' », pour introduire un élément n'exclut pas la présence d'une pluralité de ces éléments. Les numéros de référence dans les revendications ne limitent pas leur portée.

25 **[0087]** La présente invention peut également être décrite comme suit. Méthode pour structurer un substrat 11 et comprenant les étapes de : - fournir un dispositif 100 comprenant une source lumineuse 33, un système optique 2 pour obtenir, un faisceau lumineux sortant 7 spatialement décalé par rapport au faisceau lumineux entrant 1, et apte à modifier ce décalage
30 spatial, des moyens de focalisation 9 pour focaliser le faisceau lumineux

sortant 7, un porte substrat 59, un dispositif de déplacement 60 pour générer un mouvement 41 entre le faisceau lumineux sortant 7 et le substrat 11 ; - fournir et poser le substrat 11 sur le porte substrat 59 ; - graver le substrat avec le faisceau lumineux sortant 7 focalisé ayant un angle d'attaque 107 supérieur à 1° pour tout décalage spatial entre faisceau lumineux sortant 7 et faisceau lumineux entrant 1 imposé par le système optique 2.

Revendications

1. Méthode de structuration d'un substrat (11) ayant une surface supérieure (16), ladite méthode comprenant les étapes suivantes :
 - a) fournir un dispositif (100) comprenant :
 - 5 - une source lumineuse (33) pour générer un faisceau lumineux entrant (1) de structuration apte à usiner ladite surface supérieure (16) dudit substrat (11) ;
 - 10 - un système optique (2) pour obtenir, à partir dudit faisceau lumineux entrant (1), un faisceau lumineux sortant (7) spatialement décalé par rapport audit faisceau lumineux entrant (1), ledit système optique (2) étant apte à modifier le décalage spatial entre ledit faisceau lumineux entrant (1) et ledit faisceau lumineux sortant (7) ;
 - 15 - des moyens de focalisation (9) pour focaliser ledit faisceau lumineux sortant (7) ;
 - un porte substrat (59) ;
 - un dispositif de déplacement (60) pour générer un mouvement (41) relatif entre ledit faisceau lumineux sortant (7) et ledit porte substrat (59) ;
 - 20 b) fournir et poser ledit substrat (11) sur ledit porte substrat (59) de sorte à présenter vers lesdits moyens de focalisation (9) sa surface supérieure (16) caractérisée par une normale (106) ;
 - c) générer avec la source lumineuse (33) le faisceau lumineux entrant (1) ;
 - 25 d) générer à partir du faisceau lumineux entrant (1) lors de son passage dans le système optique (2), puis au travers des moyens de focalisation (9), un faisceau lumineux sortant (7) focalisé décrivant avec ladite normale (106) de ladite surface supérieure (16) dudit substrat (11) au niveau d'un point de focalisation dudit faisceau lumineux sortant (7) un angle
 - 30

d'attaque (107) supérieur à 1° , de préférence supérieur à 3° , pour tout décalage spatial entre faisceau lumineux sortant (7) et faisceau lumineux entrant (1) imposé par ledit système optique (2);

- 5 e) initier un mouvement relatif entre ledit porte substrat (59) supportant ledit substrat (11) et ledit faisceau lumineux sortant (7) focalisé afin de graver un motif (17) à partir de la surface supérieure (16) dudit substrat (11), ledit motif (17) formé
- 10 comprenant une cavité (3) dans le substrat (11) débouchant par une ouverture (4) au niveau de la surface supérieure (16) du substrat (11).

2. Méthode selon la revendication précédente caractérisée en ce que ladite cavité (3) comprend :

- 15 - au niveau de son ouverture (4) sur ladite surface supérieure (16) dudit substrat (11), une première (51) et une deuxième (52) extrémités définies dans un plan essentiellement perpendiculaire à ladite surface supérieure (16) du substrat (11),
- 20 - une largeur d'ouverture (5) définie par une distance entre ladite première (51) et deuxième (52) extrémités de ladite ouverture (4),
- ladite largeur d'ouverture (5) étant strictement inférieure à une largeur maximale (6) de cavité (3), définie essentiellement
- 25 parallèlement à ladite largeur d'ouverture (5) dans l'épaisseur du substrat (11).

3. Méthode selon la revendication précédente caractérisée en ce que ladite cavité (3) est caractérisée par un angle de conicité négative (108) compris entre 0° et 7° , de préférence entre $0,01^\circ$ et 5° , ledit angle de

30 conicité négative (108) étant défini entre la normale (106) à la surface

supérieure (16) du substrat (11) et une droite passant par ladite première extrémité (51) de ladite largeur d'ouverture (5).

4. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes
5 caractérisé en ce que ladite surface supérieure (16) dudit substrat (11) est gravée de manière non-traversante.
5. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce que ledit système optique (2) comprend :
- 10 - un miroir (19) :
- o ayant une surface de réflexion essentiellement plane définie par une normale (26) pour obtenir un premier faisceau lumineux réfléchi (23) issu d'un premier faisceau lumineux incident (4) provenant dudit faisceau lumineux entrant (1),
 - 15 o mobile ;
- des moyens d'entraînement (6) pour déplacer ledit miroir (19) mobile ;
- un système de redirection :
- 20 o positionné par rapport audit miroir (19) pour obtenir à partir dudit premier faisceau lumineux réfléchi (23), un deuxième faisceau lumineux incident (8) audit miroir (19), pour obtenir ledit faisceau lumineux sortant (7) à partir d'une réflexion dudit deuxième faisceau lumineux incident
- 25 (8) sur ledit miroir (19) mobile.
6. Méthode selon la revendication 1 caractérisée en ce que ladite cavité (3) comprend :
- au niveau de son ouverture (4) sur ladite surface supérieure (16)
30 dudit substrat (11), une première (51) et une deuxième (52)

extrémités définies dans un plan essentiellement perpendiculaire à ladite surface supérieure (16) du substrat (11),

- 5
- une largeur d'ouverture (5) définie par une distance entre ladite première (51) et deuxième (52) extrémités de ladite ouverture (4),
 - une largeur de cavité (3) définie essentiellement parallèlement à ladite largeur d'ouverture (5) qui est essentiellement décroissante à partir de la surface supérieure (16) le long de l'épaisseur du substrat (11).

10

7. Méthode selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 caractérisée en ce que ledit système optique (2) comprend :

- un miroir (19) :
 - 15 o ayant une surface de réflexion essentiellement plane définie par une normale (26) pour obtenir un premier faisceau lumineux réfléchi (23) issu d'un premier faisceau lumineux incident (4) provenant dudit faisceau lumineux entrant (1),
 - 20 o mobile tel que sa normale (26) soit apte à décrire une trajectoire dans un espace tridimensionnel ;
- ledit système optique (2) étant configuré de sorte que ledit premier faisceau lumineux incident (4) et ladite normale (26) dudit miroir (19) sont séparés par un angle (15) compris entre 0° et 15° pour toutes les positions et orientations possibles dudit
- 25 miroir (19) mobile, de préférence entre 0,01° et 10° et encore plus préférentiellement entre 3° et 8° ;
- des moyens d'entraînement (6) pour déplacer ledit miroir (19) mobile ;
 - un système de rétro-réflexion (21) :

- positionné par rapport audit miroir (19) pour obtenir à partir dudit premier faisceau lumineux réfléchi (23), un deuxième faisceau lumineux incident (8) audit miroir (19) pour toutes les positions et orientations dudit miroir (19),
5 pour obtenir ledit faisceau lumineux sortant (7) à partir d'une réflexion dudit deuxième faisceau lumineux incident (8) sur ledit miroir (19) mobile, et
 - apte à fournir ledit deuxième faisceau lumineux incident (8) sur ledit miroir (19), parallèle audit premier faisceau
10 lumineux réfléchi (23) pour toutes les positions et orientations possibles dudit miroir (19) mobile.
8. Méthode selon la revendication précédente caractérisée en ce que le
15 système optique (2) est configuré de sorte que le premier faisceau lumineux incident (4) et ladite normale (26) dudit miroir (19) sont séparés par un angle (15) compris entre $0,01^\circ$ et 10° , pour toutes les positions et orientations possibles dudit miroir mobile (19), préférentiellement entre $0,1^\circ$ et 8° et encore plus préférentiellement entre 3° et 8° .
- 20
9. Méthode selon l'une quelconque des deux revendications précédentes caractérisée en ce que le miroir (19) mobile est configuré pour décrire une rotation de 360° autour d'un axe de rotation (5) sécant à la normale (26) du miroir (19) mobile, et en ce que les moyens d'entraînement (6)
25 sont configurés pour permettre au miroir (19) mobile d'effectuer une rotation autour dudit axe de rotation (5).
10. Méthode selon l'une quelconque des trois revendications précédentes caractérisée en ce que le système de rétro-réflexion (21) est mobile en
30 translation par rapport au miroir (19).

11. Méthode selon l'une quelconque des quatre revendications précédentes caractérisée en ce que le système optique (2) est configuré pour obtenir en amont des moyens de focalisation (9) et pour toutes les positions et orientations possibles du miroir mobile (19), un faisceau lumineux sortant (7) apte à décrire dans un plan perpendiculaire à sa direction de propagation principale un cercle ayant un diamètre inférieur à 30 mm ou une ellipse dont le plus grand axe est inférieur à 30 mm.
12. Méthode selon la revendication précédente caractérisée en ce qu'une modification de la distance entre le système de rétro-réflexion (21) et le miroir (19) est apte à induire une modification dudit diamètre ou dudit plus grand axe.
13. Méthode selon l'une quelconque des deux revendications précédentes caractérisée en ce que la variation dudit diamètre ou dudit plus grand axe est apte à induire une variation de l'angle (107) compris entre le faisceau lumineux sortant (7) en aval des moyens de focalisation (9) et une normale (106) de la surface supérieure (16) du substrat (11).
14. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce que le dispositif (100) comprend en outre un système de déflexion positionné entre ledit système optique (2) et lesdits moyens de focalisation (9) pour décaler le faisceau lumineux sortant (7).
15. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce que les moyens de focalisation (9) comprennent un objectif télécentrique.

5

10

15

20

25

30

16. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce que les moyens de focalisation (9) sont configurés pour focaliser le faisceau lumineux sortant (7) sur la surface supérieure (16) du substrat (11).
- 5
17. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce que les moyens de focalisation (9) sont configurés pour focaliser le faisceau lumineux sortant (7) dans un plan de focalisation pour toutes les positions et orientations possibles dudit miroir (19) mobile.
- 10
18. Méthode selon la revendication précédente caractérisée en ce que le système optique (2) est configuré de sorte qu'une projection du faisceau lumineux sortant (7), dans ledit plan de focalisation et pour toutes les positions et orientations possibles dudit miroir mobile (19), a un contour extérieur essentiellement circulaire.
- 15
19. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce que ledit dispositif (100) comprend en outre un collimateur de faisceau positionné entre la source lumineuse (33) et le système optique (2), configuré pour être traversé par ledit faisceau lumineux entrant (1) et pour modifier la convergence du faisceau lumineux entrant (1), de sorte que la distance entre les moyens de focalisation (9) et ledit point de focalisation dudit faisceau lumineux sortant (7) est modifiée.
- 20
20. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce que l'angle d'attaque (107) est compris entre 1° et 15°, de préférence compris entre 2° et 5°, de manière encore préférée entre 3° et 4°, pour tout décalage spatial entre faisceau lumineux
- 25
- 30

sortant (7) et faisceau lumineux entrant (1) imposé par ledit système optique (2).

21. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes
5 caractérisée en ce que ledit système optique (2) est apte à induire un mouvement de précession dudit faisceau lumineux sortant (7) focalisé par rapport à la surface supérieure (16) dudit substrat (11).
22. Méthode selon l'une quelconque des revendications 7 à 21 caractérisée
10 en ce que les moyens d'entraînement (6) du miroir mobile (19) sont aptes à imposer une vitesse de rotation du miroir (19) comprise entre 1000 et 200000 tours par minute, et en ce que la vitesse de déplacement relatif du substrat (11) par rapport au faisceau lumineux sortant (7) focalisé est comprise entre 500 mm/s et 0.1 mm/s.
- 15 23. Méthode d'assemblage d'un substrat (11) avec une pièce et comprenant les étapes suivantes :
- structurer une surface supérieure (16) du substrat (11) à l'aide d'une
20 méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes, pour générer une première partie de surface supérieure (16) structurée du substrat (11) comprenant un motif (17) ;
 - fournir la pièce dont une surface présente une deuxième partie de surface comprenant un matériau fusible ayant un point de fusion plus bas que le point de fusion de la première partie de surface supérieure
25 (16) structurée du substrat (11) ;
 - disposer la première partie de surface supérieure (16) structurée du substrat (11) en contact avec la deuxième partie de surface de la pièce ;

- appliquer une pression de façon à maintenir le contact entre la première partie de surface supérieure (16) structurée du substrat (11) et la deuxième partie de surface de la pièce ;
- fournir un dispositif de chauffage pour créer une augmentation de température dans le matériau fusible suffisante pour le faire fondre ; et
- chauffer, grâce au dispositif de chauffage, le matériau fusible de manière à atteindre dans le matériau fusible, une température suffisante pour en faire fondre au moins une partie dans le motif (17) de la première partie de surface supérieure (16) structurée du substrat (11).

24. Méthode d'assemblage selon la revendication précédente, caractérisée en ce que le dispositif de chauffage est un laser apte à produire un faisceau laser capable de chauffer par irradiation la première partie de surface supérieure (16) structurée du substrat (11) et en ce que la pièce est au moins partiellement transparente au faisceau.

25. Méthode d'assemblage selon l'une quelconque des deux revendications précédentes, dans laquelle la pièce comprend un polymère ou du verre.

26. Ensemble comprenant un substrat (11) ayant une surface supérieure (16) et un dispositif (100) pour structurer ledit substrat (11), ledit dispositif (100) comprenant :

- une source lumineuse (33) pour générer un faisceau lumineux entrant (1) de structuration apte à usiner ladite surface supérieure (16) dudit substrat (11) ;
- un système optique (2) pour obtenir, à partir dudit faisceau lumineux entrant (1), un faisceau lumineux sortant (7) spatialement décalé par rapport audit faisceau lumineux entrant (1), ledit système optique (2) étant apte à modifier le

- décalage spatial entre ledit faisceau lumineux entrant (1) et ledit faisceau lumineux sortant (7);
- des moyens de focalisation (9) pour focaliser ledit faisceau lumineux sortant (7);
 - 5 - un porte substrat (59);
 - un dispositif de déplacement (60) pour générer un mouvement (41) relatif entre ledit faisceau lumineux sortant (7) et ledit porte substrat (59);
- 10 ledit substrat (11) étant posé sur ledit porte substrat (59) de sorte à présenter vers lesdits moyens de focalisation (9) sa surface supérieure (16) caractérisée par une normale (106),
- 15 ledit dispositif (100) étant configuré de sorte que ledit faisceau lumineux sortant (7) focalisé et ladite normale (106) de ladite surface supérieure (16) dudit substrat (11) au niveau d'un point de focalisation dudit faisceau lumineux sortant (7) sont séparés par un angle d'attaque (107) supérieur à 1°, de préférence supérieur à 3°, pour tout décalage spatial entre faisceau lumineux sortant (7) et faisceau lumineux entrant (1) imposé par ledit système optique (2).
- 20 27. Ensemble selon la revendication précédente caractérisé en ce que le dispositif (100) est configuré de sorte que ledit faisceau lumineux sortant (7) focalisé et une normale (106) de ladite surface supérieure (16) dudit substrat (11) au niveau d'un point de focalisation dudit faisceau lumineux sortant (7) sont séparés par un angle d'attaque (107)
- 25 compris entre 1° et 15°, de préférence compris entre 2° et 5°, de manière encore préférée entre 3° et 4°, pour tout décalage spatial entre faisceau lumineux sortant (7) et faisceau lumineux entrant (1) imposé par ledit système optique (2).

28. Ensemble selon l'une quelconque des deux revendications précédentes caractérisé en ce que ledit système optique (2) comprend :
- un miroir (19) :
 - ayant une surface de réflexion essentiellement plane définie par une normale (26) pour obtenir un premier faisceau lumineux réfléchi (23) issu d'un premier faisceau lumineux incident (4) provenant dudit faisceau lumineux entrant (1),
 - mobile;
 - 10 - des moyens d'entraînement (6) pour déplacer ledit miroir (19) mobile ;
 - un système de redirection :
 - positionné par rapport audit miroir (19) pour obtenir à partir dudit premier faisceau lumineux réfléchi (23), un deuxième faisceau lumineux incident (8) audit miroir (19),
 - 15 pour obtenir ledit faisceau lumineux sortant (7) à partir d'une réflexion dudit deuxième faisceau lumineux incident (8) sur ledit miroir (19) mobile.
- 20 29. Ensemble selon l'une quelconque des revendications 26 à 27 caractérisé en ce que ledit système optique (2) comprend :
- un miroir (19) :
 - ayant une surface de réflexion essentiellement plane définie par une normale (26) pour obtenir un premier faisceau lumineux réfléchi (23) issu d'un premier faisceau lumineux incident (4) provenant dudit faisceau lumineux entrant (1),
 - 25 ○ mobile tel que sa normale (26) soit apte à décrire une trajectoire dans un espace tridimensionnel ;

- ledit système optique (2) étant configuré de sorte que ledit premier faisceau lumineux incident (4) et ladite normale (26) dudit miroir (19) sont séparés par un angle (15) compris entre 0° et 15° pour toutes les positions et orientations possibles dudit miroir (19) mobile ;
- 5
- des moyens d'entraînement (6) pour déplacer ledit miroir (19) mobile ;
 - un système de rétro-réflexion (21) :
 - o positionné par rapport audit miroir (19) pour obtenir à
 - 10 partir dudit premier faisceau lumineux réfléchi (23), un deuxième faisceau lumineux incident (8) audit miroir (19) pour toutes les positions et orientations dudit miroir (19), pour obtenir ledit faisceau lumineux sortant (7) à partir d'une réflexion dudit deuxième faisceau lumineux incident
 - 15 (8) sur ledit miroir (19) mobile, et
 - o apte à fournir ledit deuxième faisceau lumineux incident (8) sur ledit miroir (19), parallèle audit premier faisceau lumineux réfléchi (23) pour toutes les positions et orientations possibles dudit miroir (19) mobile.
- 20
30. Ensemble selon la revendication précédente caractérisé en ce que le système optique (2) est configuré de sorte que le premier faisceau lumineux incident (4) et ladite normale (26) dudit miroir (19) sont séparés par un angle (15) compris entre $0,01^\circ$ et 10° , pour toutes les
- 25 positions et orientations possibles dudit miroir mobile (19), préférentiellement entre $0,1^\circ$ et 8° et encore plus préférentiellement entre 3° et 8° .
31. Ensemble selon l'une quelconque des deux revendications précédentes
- 30 caractérisé en ce que le miroir (19) mobile est configuré pour décrire

une rotation de 360° autour d'un axe de rotation (5) sécant à la normale (26) du miroir (19) mobile, et en ce que les moyens d'entraînement (6) sont configurés pour permettre au miroir (19) mobile d'effectuer une rotation autour dudit axe de rotation (5).

5

32. Ensemble selon l'une quelconque des trois revendications précédentes caractérisé en ce que le système de rétro-réflexion (21) est mobile en translation par rapport au miroir (19).

10 33. Ensemble selon l'une quelconque des quatre revendications précédentes caractérisé en ce que le système optique (2) est configuré pour obtenir en amont des moyens de focalisation (9) et pour toutes les positions et orientations possibles du miroir mobile (19), un faisceau lumineux sortant (7) apte à décrire dans un plan perpendiculaire à sa direction de propagation principale un cercle ayant un diamètre inférieur à 30 mm ou une ellipse dont le plus grand axe est inférieur à 30 mm.

15

34. Ensemble selon la revendication précédente caractérisé en ce qu'une modification de la distance entre le système de rétro-réflexion (21) et le miroir (19) est apte à induire une modification dudit diamètre ou dudit plus grand axe.

20

35. Ensemble selon l'une quelconque des deux revendications précédentes caractérisé en ce que la variation dudit diamètre ou dudit plus grand axe est apte à induire une variation de l'angle (107) compris entre le faisceau lumineux sortant (7) en aval des moyens de focalisation (9) et une normale (106) de la surface supérieure (16) du substrat (11).

25

36. Ensemble selon l'une quelconque des dix revendications précédentes caractérisé en ce que le dispositif (100) comprend en outre un système

30

de déflexion positionné entre ledit système optique (2) et lesdits moyens de focalisation (9) pour décaler le faisceau lumineux sortant (7).

37. Ensemble selon l'une quelconque des onze revendications précédentes
5 caractérisé en ce que les moyens de focalisation (9) comprennent un objectif télécentrique.
38. Ensemble selon l'une quelconque des douze revendications
10 précédentes caractérisé en ce que le système optique (2) est configuré de sorte qu'une projection du faisceau lumineux sortant (7), dans un plan de focalisation et pour toutes les positions et orientations possibles dudit miroir mobile (19), a un contour extérieur essentiellement circulaire.
- 15 39. Ensemble selon l'une quelconque des treize revendications précédentes caractérisé en ce que ledit dispositif (100) comprend en outre un collimateur de faisceau positionné entre la source lumineuse (33) et le système optique (2), configuré pour être traversé par ledit faisceau lumineux entrant (1) et pour modifier la convergence du
20 faisceau lumineux entrant (1), de sorte que la distance entre les moyens de focalisation (9) et ledit point de focalisation dudit faisceau lumineux sortant (7) est apte à être modifiée.
40. Système pour l'assemblage d'un substrat (11) avec une pièce
25 comprenant un matériau fusible ayant un point de fusion plus bas que le point de fusion dudit substrat (11), ledit système comprenant :
- un ensemble selon l'une quelconque des quatorze revendications précédentes pour structurer une surface supérieure (16) dudit substrat (11) ;

- un moyen de mise en contact de ladite pièce (14) avec ladite surface supérieure (16) dudit substrat (11) ;
 - un moyen de mise en compression ;
 - un dispositif de chauffage capable de créer une augmentation de
- 5 température suffisante dans ledit matériau fusible pour en faire fondre au moins une partie.

41. Substrat (11) ayant une structuration de sa surface supérieure (16) avec une conicité négative obtenu avec une méthode selon l'une quelconque

10 des revendications 1 à 22.

42. Guide d'onde formé dans le substrat (11) selon la revendication précédente caractérisé en ce que la structuration à conicité négative comprend un deuxième matériau, ledit deuxième matériau ayant un

15 indice de réfraction supérieur à l'indice de réfraction dudit substrat, ledit deuxième matériau étant un matériau polymère et plus préférentiellement du poly(méthacrylate de méthyl).

43. Circuit électrique comprenant un substrat (11) selon la revendication 41, caractérisé en ce que la structuration a conicité négative comprend un

20 matériau conducteur et en ce que le substrat comprend un matériau isolant électriquement.

44. Circuit électrique selon la revendication précédente caractérisé en ce

25 que le matériau conducteur a un coefficient d'absorption optique plus important que celui du substrat (11) dans une plage de longueur d'onde comprise entre 200 nm et 2000 nm.

45. Circuit électrique selon l'une quelconque des deux revendications précédentes caractérisé en ce que le substrat (11) est un substrat flexible.
- 5 46. Circuit électrique selon l'une quelconque des trois revendications précédentes caractérisé en ce que ledit matériau conducteur comprend de l'étain.

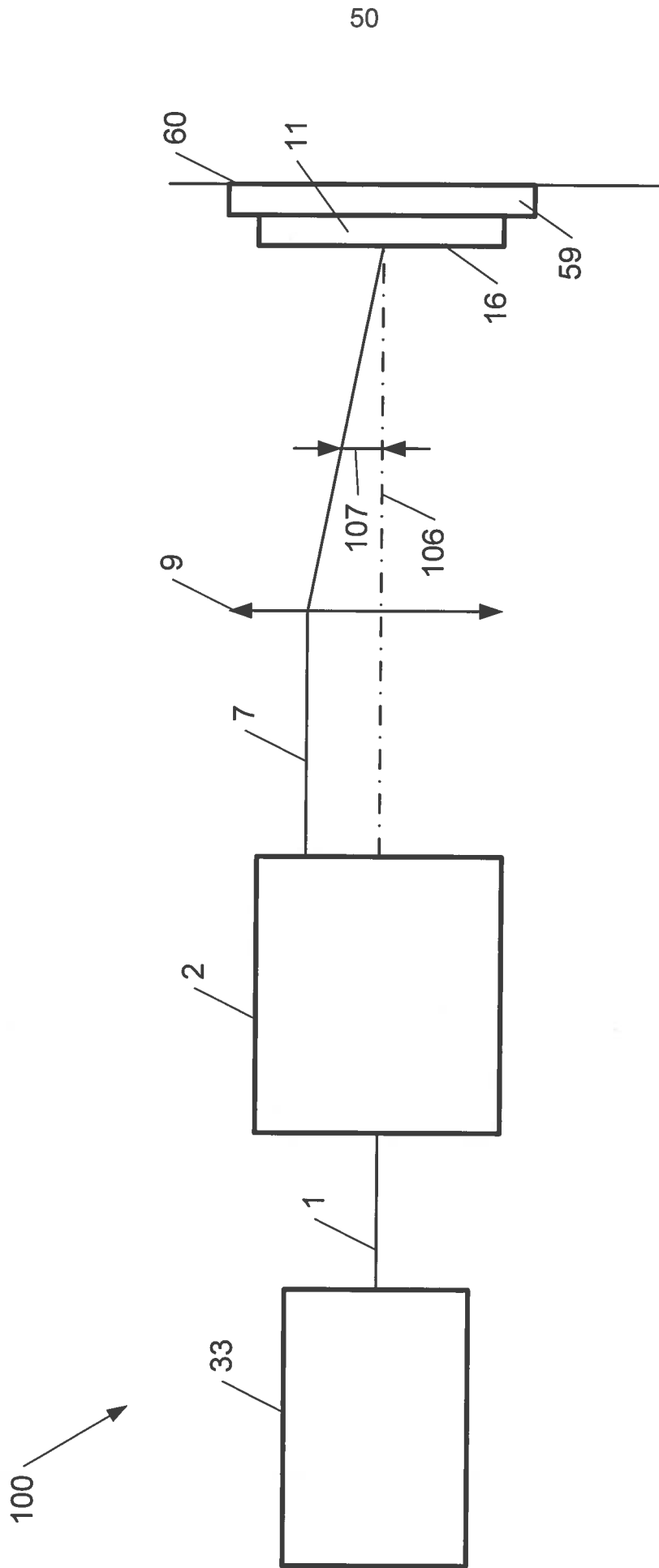


Fig. 1

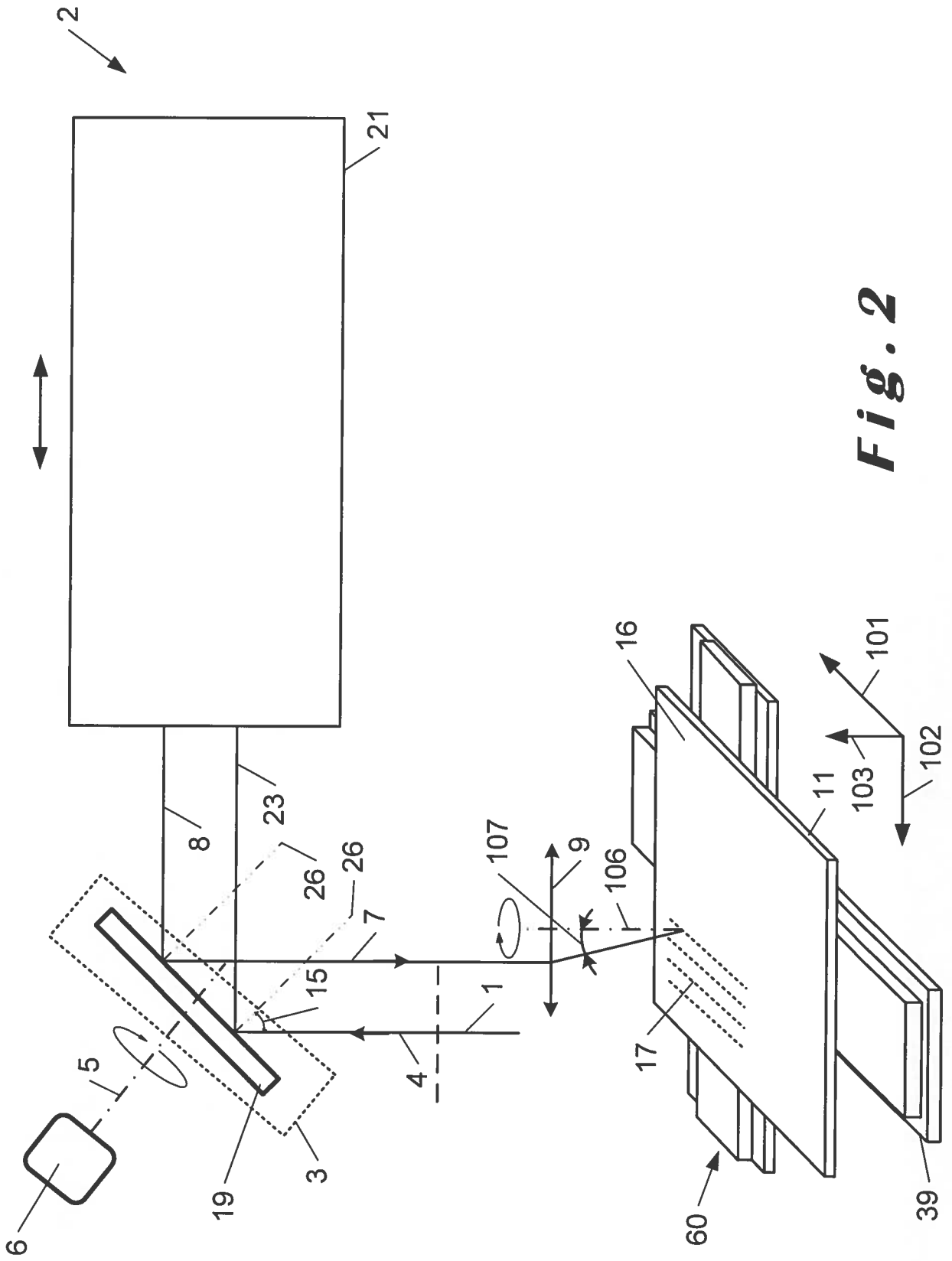
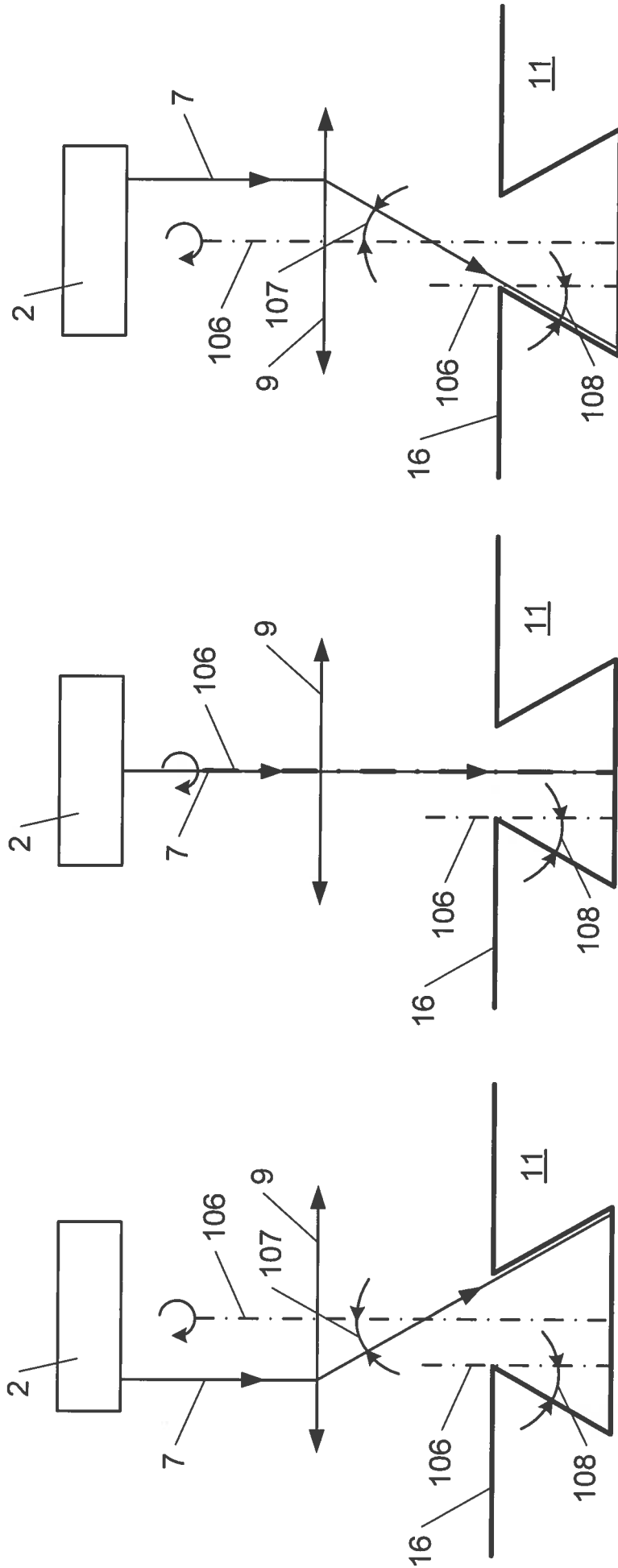


Fig. 2

**Fig. 3a****Fig. 3b****Fig. 3c**

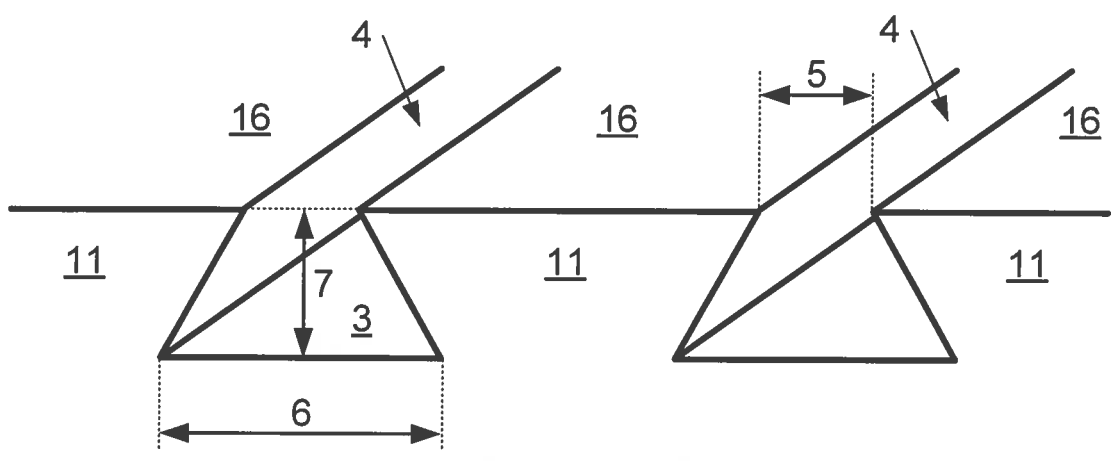


Fig. 4

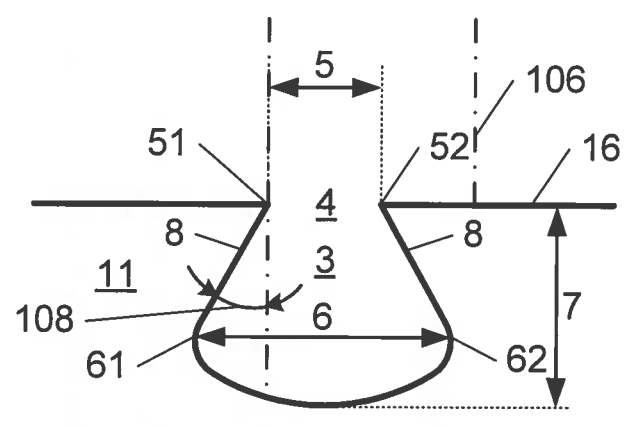


Fig. 5

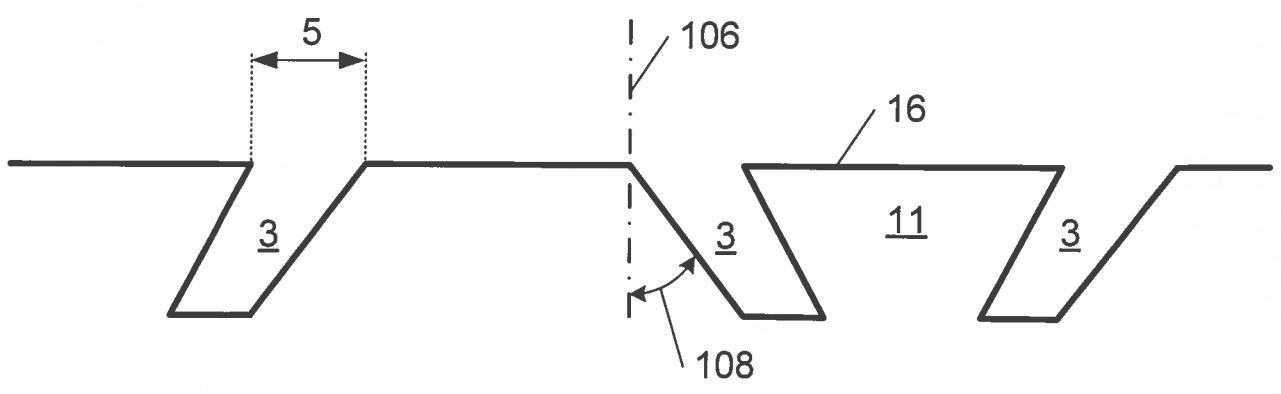


Fig. 6

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL ÉTABLI EN VERTU DE L'ARTICLE XI.23., §10 DU CODE DE DROIT ÉCONOMIQUE BELGE

IDENTIFICATION DE LA DEMANDE INTERNATIONALE	REFERENCE DU DEPOSANT OU DU MANDATAIRE PAT2525192BE 00
Demande nationale belge n° 201705455	Date du dépôt 27-06-2017
	Date de priorité revendiquée
Déposant (Nom) LASER ENGINEERING APPLICATIONS S.A. en abrégé LASEA S.A.	
Date de la requête d'une recherche de type international 08-07-2017	Numéro attribué par l'administration chargée de la recherche internationale à la requête d'une recherche de type international SN69296
I. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE (en cas de plusieurs symboles de la classification, les indiquer tous) Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB B23K26/06;B23K26/08;B23K26/402;G02B5/122;B02B26/08;G02B26/10 B23K26/364;B23K101/38;B23K103/04;B23K103/08;B23K103/18;B23K103/00	
II. DOMAINES RECHERCHES	
Documentation minimale consultée	
Système de classification	Symboles de la classification
IPC	B23K;G02B
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents font partie des domaines consultés	
III. <input type="checkbox"/> IL A ÉTÉ ESTIMÉ QUE CERTAINES REVENDECTIONS NE POUVAIENT FAIRE L'OBJET D'UNE RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)	
IV. <input type="checkbox"/> ABSENCE D'UNITÉ DE L'INVENTION ET/OU CONSTATATION RELATIVE À L'ÉTENDUE DE LA RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)	

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Demande de recherche No

BE 201705455

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE					
INV.	B23K26/06	B23K26/08	B23K26/402	G02B5/122	G02B26/08
	G02B26/10	B23K26/364			
ADD.	B23K101/38	B23K103/04	B23K103/08	B23K103/18	B23K103/00

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)
B23K G02B

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 réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	CN 103 056 519 A (CHINA KEHAN LASER FUJIAN CO LTD) 24 avril 2013 (2013-04-24)	26,27
Y	* abrégé; figures *	1-25, 28-40

X	WO 2008/110613 A1 (LASER & MED TECH GMBH ; D. ASHKENASI ET AL)	41,42
	18 septembre 2008 (2008-09-18)	
Y	* page 23, lignes 11-19; figures 6-8 *	1-25, 43-46

Y	WO 2017/029210 A1 (LASER ENG APPLICATIONS)	5,7-22, 28-39
	23 février 2017 (2017-02-23)	
	* alinéas [0024], [0049] - [0052], [0063], [0079]; figures *	

	-/--	

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:

<p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p>	<p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt 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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>
---	--

Date à laquelle la recherche de type international a été effectivement achevée	Date d'expédition du rapport de recherche de type international
28 mars 2018	

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Jeggy, Thierry

C.(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	<p>A. ROESNER ET AL: "Laser Assisted Joining of Plastic Metal Hybrids", PHYSICS PROCEDIA, vol. 12, 1 janvier 2011 (2011-01-01), pages 370-377, XP028381666, ISSN: 1875-3892, DOI: 10.1016/J.PHPRO.2011.03.146 [extrait le 2011-04-17] * page 371, alinéa 6 - page 372, alinéa 3; figures 3,4 *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	<p>23-25, 40,43-46</p>
X	<p>US 6 501 045 B1 (J. BERNSTEIN ET AL) 31 décembre 2002 (2002-12-31)</p>	<p>41,42</p>
A	<p>* colonne 4, lignes 34-56; figures 1,4 *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	<p>1,26,43</p>
A	<p>US 2 758 502 A (L. B. SCOTT T AL) 14 août 1956 (1956-08-14) * colonne 2, ligne 27 - colonne 3, ligne 42; figures *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	<p>5,7,28, 29</p>

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande de recherche n

BE 201705455

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 103056519	A	24-04-2013	AUCUN

WO 2008110613	A1	18-09-2008	DE 112008000681 A5 15-04-2010
			DE 202008017745 U1 15-07-2010
			WO 2008110613 A1 18-09-2008

WO 2017029210	A1	23-02-2017	EP 3195041 A1 26-07-2017
			US 2017361401 A1 21-12-2017
			WO 2017029210 A1 23-02-2017

US 6501045	B1	31-12-2002	AUCUN

US 2758502	A	14-08-1956	DE 1008927 B 23-05-1957
			US 2758502 A 14-08-1956



OPINION ÉCRITE

Dossier N° SN69296	Date du dépôt(jour/mois/année) 27.06.2017	Date de priorité (jour/mois/année)	Demande n° BE201705455
Classification internationale des brevets (CIB) INV. B23K26/06 B23K26/08 B23K26/402 G02B5/122 G02B26/08 G02B26/10 B23K26/364 ADD. B23K101/38 B23K103/04 B23K103/08 B23K103/18 B23K103/00			
Déposant LASER ENGINEERING APPLICATIONS S.A. en abrégé LASEA S.A.			

La présente opinion contient des indications et les pages correspondantes relatives aux points suivants :

- Cadre n° I Base de l'opinion
- Cadre n° II Priorité
- Cadre n° III Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
- Cadre n° IV Absence d'unité de l'invention
- Cadre n° V Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
- Cadre n° VI Certains documents cités
- Cadre n° VII Irrégularités dans la demande
- Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

Formulaire BE237A (feuille de couverture) (Janvier 2007)	Examineur Jeggy, Thierry
--	-----------------------------

Cadre n° I Base de l'opinion

1. Cette opinion a été établie sur la base des revendications déposées avant le commencement de la recherche.
2. En ce qui concerne **la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande, le cas échéant, cette opinion a été effectuée sur la base des éléments suivants :
 - a. Nature de l'élément:
 - un listage de la ou des séquences
 - un ou des tableaux relatifs au listage de la ou des séquences
 - b. Type de support:
 - sur papier
 - sous forme électronique
 - c. Moment du dépôt ou de la remise:
 - contenu(s) dans la demande telle que déposée
 - déposé(s) avec la demande, sous forme électronique
 - remis ultérieurement
3. De plus, lorsque plus d'une version ou d'une copie d'un listage des séquences ou d'un ou plusieurs tableaux y relatifs a été déposée, les déclarations requises selon lesquelles les informations fournies ultérieurement ou au titre de copies supplémentaires sont identiques à celles initialement fournies et ne vont pas au-delà de la divulgation faite dans la demande internationale telle que déposée initialement, selon le cas, ont été remises.
4. Commentaires complémentaires :

OPINION ÉCRITE

Demande n°
BE201705455

Cadre n° V Opinion motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Déclaration

Nouveauté	Oui : Revendications	1-25, 28-40, 43-46
	Non : Revendications	26, 27, 41, 42
Activité inventive	Oui : Revendications	
	Non : Revendications	1-46
Possibilité d'application industrielle	Oui : Revendications	1-46
	Non : Revendications	

2. Citations et explications

voir feuille séparée

Cadre n° VII Irrégularités dans la demande

Les irrégularités suivantes, concernant la forme ou le contenu de la demande, ont été constatées :

voir feuille séparée

Ad point V

Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle ; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1 Documents cités

1.1 Il est fait référence aux documents suivants :

D1 CN 103 056 519 A (CHINA KEHAN LASER FUJIAN CO LTD) 24 avril 2013

D2 WO 2008/110613 A1 (LASER & MED TECH GMBH ; D. ASHKENASI ET AL) 18 septembre 2008

D3 WO 2017/029210 A1 (LASER ENG APPLICATIONS) 23 février 2017

D4 A. ROESNER ET AL: "Laser Assisted Joining of Plastic Metal Hybrids", PHYSICS PROCEDIA, vol. 12 , pages 370-377, XP028381666, ISSN: 1875-3892, DOI: 10.1016/J.PHPRO.2011.03.146 [extrait le 2011-04-17]

D5 US 6 501 045 B1 (J. BERNSTEIN ET AL) 31 décembre 2002

D6 US 2 758 502 A (L. B. SCOTT T AL) 14 août 1956

2 Revendications 1-46

2.1 D1 décrit un ensemble comprenant un substrat (8) ayant une surface supérieure (Figure 1) et un dispositif (Figure 1) pour structurer (dans D1 : faire des trous : Résumé) ledit substrat (8), ledit dispositif comprenant une source lumineuse (1) pour générer un faisceau lumineux (Figure 1) entrant de structuration apte à usiner ladite surface supérieure du substrat (8 ; perçage de trous), un système optique (4-6) pour obtenir, à partir dudit faisceau lumineux entrant, un faisceau lumineux sortant spatialement décalé (Figure 1) par rapport audit faisceau lumineux entrant, ledit system optique (4-6) étant apte à modifier le décalage spatial entre ledit faisceau lumineux entrant et ledit faisceau lumineux sortant (Figure 1 ; Résumé), des moyens de focalisation (7) pour focaliser ledit faisceau lumineux sortant, un porte substrat (9), et un dispositif de déplacement pour générer un mouvement relatif entre ledit faisceau sortant et ledit porte substrat (9 ; implicite de D1 pour pouvoir réaliser des trous à différents endroits du substrat 8), ledit substrat (8) étant posé sur ledit porte substrat (9) de sorte à présenter vers lesdits moyens de focalisation (7) sa surface supérieure caractérisée par une

normale (Figure 1), ledit dispositif étant configuré de sorte que ledit faisceau lumineux sortant focalisé et ladite normale de ladite surface de focalisation dudit faisceau lumineux sortant sont séparés par un angle d'attaque supérieur à 1° (Figure 1), de préférence supérieur à 3° (Figure 1), pour tout décalage spatial entre faisceau lumineux sortant et faisceau lumineux entrant imposé par ledit system optique (2).

D2 décrit un substrat (18" ; Figure 8) ayant une structuration (20") de sa surface supérieure (Figure 8) avec une conicité négative (Figure 8) pouvant avoir été obtenue avec la méthode suivant la revendication 1.

L'objet des revendications 26 et 41 n'est pas nouveau, et les conditions de brevetabilité ne sont donc pas remplies.

D5 décrit aussi l'objet de la revendication 41 (Figure 4).

- 2.2 D2, qui est considéré comme l'état de la technique le plus pertinent, divulgue une méthode de structuration d'un substrat (18" ; Figure 8), dont l'objet de la revendication 1 diffère en ce que les moyens de focalisation sont placés après le système optique, et le dispositif comprend explicitement un porte substrat.

Dans D1, le porte substrat n'est pas explicitement décrit et les moyens de focalisation sont placés avant le système optique.

Mais un arrangement similaire à celui défini dans la revendication 1, mais pour réaliser des trous coniques, a déjà été employé dans le même but dans un procédé analogue (cf. voir D1 ; figure 1). Il serait évident pour l'homme du métier désireux de parvenir au même résultat d'appliquer ces caractéristiques, avec le même effet que celui déjà produit dans D1 car il n'y a pas d'effet technique surprenant avec un tel arrangement, dans une méthode suivant D2, afin d'obtenir une méthode conformément à la revendication 1.

La revendication 1 n'est donc pas inventive.

- 2.3 Les revendications dépendantes 2-25, 27-40 et 41-46 ne semblent pas contenir de caractéristiques supplémentaires qui satisfassent aux exigences de nouveauté et/ou d'activité inventive en étant combinées aux caractéristiques de l'une quelconque des revendications auxquelles lesdites revendications dépendantes sont liées : voir D1 pour la revendication 7 ; voir D2 avec D1 pour les revendications 2-25, avec support de D3 pour les revendications 5 et 7-22 et D4 pour les revendications 23-25 ; voir D1 avec D3 pour les revendications 28-39 ; voir D1 avec D4 pour la revendication 40 ; voir D2 ou D5 pour la revendication 42 ; voir D2 ou D5 avec D4 pour les revendications 43-46.

Ad point VII

Certaines irrégularités relevées dans la demande

- 1 La description ne mentionne pas l'état de la technique pertinent qui est divulgué dans D1-D4 et ne cite pas ce document.
- 2 Les revendications indépendantes 1, 25 et 41 ne sont pas présentées en deux parties, alors qu'une telle présentation serait en l'espèce appropriée. Il conviendrait ainsi d'inclure dans le préambule les caractéristiques qui, combinées entre elles, font partie de l'état de la technique (D2 pour les revendications 1 et 41 ; D1 pour la revendication 25), et d'introduire dans la partie caractérisante les caractéristiques restantes.