

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

①1 N° de publication : **3 115 104**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **20 10377**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 01 J 3/10** (2020.12), G 01 N 21/350

①2

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Dispositif d'émission de lumière optimisé pour capteur de gaz, et procédé de fabrication.

②2 Date de dépôt : 10.10.20.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 15.04.22 Bulletin 22/15.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 30.09.22 Bulletin 22/39.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *ELICHENS Société anonyme à
conseil d'administration — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : GALISULTANOV Ayrat et DUPREZ
Hélène.

⑦3 Titulaire(s) : ELICHENS Société anonyme à conseil
d'administration.

⑦4 Mandataire(s) : INVENT'IP.

FR 3 115 104 - B1



Description

Titre de l'invention : Dispositif d'émission de lumière optimisé pour capteur de gaz, et procédé de fabrication

Domaine technique

[0001] L'invention concerne une source de lumière infra-rouge notamment destinée à être utilisée dans un capteur de gaz.

ART ANTERIEUR

[0002] Le recours à des méthodes optiques pour l'analyse d'un gaz est assez fréquent. Des dispositifs permettent de déterminer la composition d'un gaz en se basant sur le fait que les espèces composant un gaz présentent des propriétés spectrales d'absorption différentes les unes des autres. Ainsi, connaissant une bande spectrale d'absorption d'une espèce gazeuse, sa concentration peut être déterminée par une estimation de l'absorption de la lumière traversant le gaz, en utilisant la loi de Beer Lambert. Ce principe permet une estimation de la concentration d'une espèce gazeuse présente dans le milieu.

[0003] La source de lumière est usuellement une source émettant dans l'infrarouge, la méthode utilisée étant usuellement désignée par le terme anglosaxon "NDIR detection", l'acronyme NDIR signifiant Non Dispersive Infra-Red. Un tel principe a été fréquemment mis en œuvre, et est par exemple décrit dans de nombreux documents, par exemple dans US5026992 ou WO2007064370.

[0004] Selon les procédés les plus courants, le gaz analysé s'étend entre une source de lumière et un photodétecteur, dit photodétecteur de mesure, ce dernier étant destiné à mesurer une onde lumineuse transmise par le gaz à analyser, et partiellement absorbée par ce dernier. Les procédés comprennent généralement une mesure d'une onde lumineuse, dite onde lumineuse de référence, émise par la source, et non absorbée par le gaz analysé.

[0005] La comparaison entre l'onde lumineuse en présence de gaz et l'onde lumineuse sans gaz permet de caractériser le gaz. Il s'agit par exemple de déterminer une quantité d'une espèce gazeuse dans le gaz, selon la technologie désignée par le terme "NDIR par absorption". Il peut également s'agir d'estimer une quantité de particules dans le gaz, en détectant une lumière diffusée par ce dernier selon une plage angulaire de diffusion prédéterminée.

[0006] Pour concevoir un capteur NDIR, il est usuel d'utiliser une source de lumière se présentant sous la forme d'un filament incandescent. Ce type de source de lumière est peu onéreux et présente une émission spectrale proche de celle d'un corps noir.

[0007] Des exemples de capteurs de gaz ont été décrits dans les documents WO2018162848,

ou WO2019081838. Ces capteurs comportent une enceinte, destinée à être occupée par le gaz à analyser. De façon classique, l'enceinte est délimitée par des parois réfléchissantes. Lorsque la lumière se propage entre la source de lumière et un photodétecteur, elle peut subir de nombreuses réflexions sur les parois réfléchissantes.

[0008] Les inventeurs ont conçu une source de lumière particulièrement adaptée à être intégrée dans des capteurs de gaz de type NDIR, et par exemple les capteurs décrits dans les documents précédemment cités. La source de lumière conçue par les inventeurs permet d'augmenter une quantité de lumière détectée par le photodétecteur. Les inventeurs proposent également un procédé de réalisation simple à mettre en œuvre, permettant d'obtenir une source de lumière optimisée.

Exposé de l'invention

[0009] Un premier objet de l'invention est une source de lumière infrarouge, notamment pour capteur de gaz, comportant :

- [0010] – un élément d'émission, s'étendant selon un plan radial, autour d'un centre de l'élément d'émission, l'élément d'émission étant configuré pour s'échauffer, l'échauffement conduisant à une émission de lumière infra-rouge ;
- une cavité, dans laquelle s'étend l'élément d'émission, la cavité étant délimitée par un capot, disposé face à l'élément d'émission, le capot comportant une face interne, disposée en regard de l'élément d'émission et une face externe, définissant une interface entre le capot et un milieu extérieur à la source de lumière;
- le capot s'étendant, parallèlement à un axe transversal, perpendiculaire au plan radial, selon une épaisseur, entre la face interne et la face externe;

[0011] la source de lumière étant caractérisée en ce que :

- [0012] – la face externe comporte
- une partie centrale plane, s'étendant autour d'un centre de la face externe, le centre de la face externe étant de préférence aligné avec le centre de l'élément d'émission, selon l'axe transversal;
 - au moins une partie périphérique, adjacente de la partie centrale, la partie périphérique étant inclinée par rapport à la partie centrale selon un angle d'inclinaison,
- de telle sorte que dans la partie périphérique, l'épaisseur du capot diminue en fonction d'une distance par rapport à la partie centrale.

[0013] La partie périphérique peut s'étendre de part et d'autre de la partie centrale.

[0014] L'élément d'émission peut être une membrane. L'élément d'émission peut être parcouru par une piste conductrice, de telle sorte que sous l'effet d'un courant électrique circulant dans la piste conductrice, l'élément d'émission de lumière

s'échauffe.

- [0015] Selon un mode de réalisation, La partie centrale s'étend de préférence parallèlement au plan radial.
- [0016] La partie périphérique est de préférence inclinée, par rapport à la partie centrale, selon un angle d'inclinaison compris entre 5° et 30° , et de préférence compris entre 5° et 25° ou entre 5° et 20° .
- [0017] Selon un mode de réalisation,
- [0018] – la partie centrale s'étend parallèlement à un axe longitudinal radial et à un axe latéral, l'axe longitudinal étant perpendiculaire à l'axe latéral ;
- la partie périphérique s'étend parallèlement à un premier axe longitudinal et à un premier axe latéral;
- le premier axe longitudinal est incliné, selon l'angle d'inclinaison, par rapport à l'axe longitudinal;
- le premier axe latéral est parallèle à l'axe latéral.
- [0019] Selon une possibilité, la source de lumière comporte une deuxième partie périphérique, adjacente de la partie centrale, telle sorte que :
- [0020] – la deuxième partie périphérique s'étend parallèlement à un deuxième axe longitudinal (Y_2) et un deuxième axe latéral (X_2);
- le deuxième axe latéral (X_2) est incliné, selon un deuxième angle d'inclinaison (θ_2), par rapport à l'axe latéral (X);
- le deuxième axe longitudinal (Y_2) est parallèle à l'axe longitudinal.
- [0021] La deuxième partie périphérique peut s'étendre de part et d'autre de la partie centrale.
- [0022] Selon un mode de réalisation, la partie périphérique s'étend selon une longueur comprise entre $100\ \mu\text{m}$ et $600\ \mu\text{m}$, de part et d'autre de la partie centrale, la longueur étant déterminée selon l'axe longitudinal ou selon l'axe latéral. D'une façon plus générale, la partie périphérique peut s'étendre selon une longueur comprise entre 5% et 50% de la longueur du capot, la longueur étant déterminée selon l'axe longitudinal et/ou selon l'axe latéral.
- [0023] Selon un mode de réalisation, au moins une partie périphérique, voire chaque partie périphérique, est inclinée, par rapport à la partie centrale, selon différents angles d'inclinaison, les angles d'inclinaison augmentant avec la distance par rapport à la partie centrale.
- [0024] De préférence, la partie centrale est centrée par rapport à l'élément d'émission, selon l'axe transversal.
- [0025] La face externe peut s'étendre, selon une longueur, le long d'un axe parallèle au plan radial (P_{XY}), comprise entre $500\ \mu\text{m}$ et $2500\ \mu\text{m}$.
- [0026] Un deuxième objet de l'invention est un capteur de gaz, comportant une enceinte

configurée pour contenir un gaz, ainsi qu'une source de lumière et au moins un photodétecteur, la source de lumière étant configurée pour émettre un rayonnement lumineux se propageant, à travers l'enceinte, vers le photodétecteur, la source de lumière étant une source de lumière selon le premier objet de l'invention.

- [0027] Le capteur de gaz peut être tel que l'enceinte est délimitée par au moins une première paroi réfléchissante, s'étendant perpendiculairement au plan radial de la source de lumière, parallèlement à l'axe transversal.
- [0028] Le capteur de gaz peut être tel que la face externe du capot de la source de lumière comporte une partie centrale plane, s'étendant selon un plan parallèle au plan radial et passant par le centre de la face externe, et dans lequel :
- [0029] – la partie centrale s'étend parallèlement à un axe longitudinal et un axe latéral, l'axe longitudinal étant préférentiellement perpendiculaire à l'axe latéral ;
- la partie périphérique s'étend parallèlement à un premier axe longitudinal et à un premier axe latéral;
- le premier axe longitudinal est incliné, selon un angle d'inclinaison, par rapport à l'axe longitudinal;
- le premier axe latéral est parallèle à l'axe latéral;
- [0030] la source de lumière étant agencée de telle sorte que l'axe longitudinal est perpendiculaire à la première paroi réfléchissante.
- [0031] Le capteur de gaz peut être tel que lequel l'enceinte est délimitée par une deuxième paroi réfléchissante, s'étendant parallèlement à la première paroi réfléchissante, la source de lumière s'étendant entre les deux parois réfléchissantes. Il est alors préférable que la partie périphérique s'étende de part et d'autre de la partie centrale.
- [0032] Un troisième objet de l'invention est un procédé de réalisation d'une source de lumière, faisant l'objet du premier mode de réalisation, comportant :
- [0033] a. obtention d'une source de lumière, la source de lumière comprenant un élément d'émission, s'étendant parallèlement à un plan radial, et disposé dans une cavité délimitée par un capot, le capot s'étendant entre une face interne, disposée face à l'élément d'émission, et une face externe, la face externe s'étendant parallèlement au plan radial, autour d'un centre, la distance entre la face interne et la face externe définissant une épaisseur du capot ;
- b. usinage de la face externe, de façon à former, dans la face externe, au moins une partie périphérique, adjacente d'une partie centrale plane, passant par le centre de la face externe, et parallèle au plan radial, la partie périphérique étant inclinée par rapport à la partie centrale de telle sorte que dans la partie périphérique, l'épaisseur du capot diminue en fonction d'une distance par rapport au centre de la face externe.
- [0034] Le procédé peut comporter, au cours de l'étape b), une formation de plusieurs parties

périphériques, s'étendant respectivement à partir de la partie centrale, et inclinées par rapport à un plan parallèle au plan radial et passant par le centre de la face externe.

[0035] L'usinage peut comporter l'application d'un outil de coupe comportant une lame inclinée par rapport au plan radial, contre la face externe du capot.

[0036] Le procédé peut comporter une translation de l'outil de coupe par rapport à la face externe.

[0037] Le procédé peut comporter une utilisation successive de plusieurs outils de coupe, chaque outil de coupe comportant une lame inclinée par rapport au plan radial selon un angle d'inclinaison, les angles d'inclinaison de deux outils de coupes différents étant différents.

[0038] Le procédé peut être tel que :

[0039] – l'étape a) comporte une obtention d'une pluralité de sources de lumière, de telle sorte que les éléments d'émission respectifs de chaque source de lumière sont coplanaires, et s'étendent respectivement dans une cavité, les cavités respectives de chaque source de lumière étant délimitées par un même capot (14), chaque cavité étant centrée par rapport à un centre (16_c) de la face externe ;

– l'étape b) est mise en œuvre autour de chaque centre de la face externe, de façon à former, au niveau de chaque centre, au moins une partie périphérique, adjacente d'une partie centrale plane (16_i), passant par ledit centre de la face externe (16_c), et parallèle au plan radial, la partie périphérique étant inclinée par rapport à la partie centrale de telle sorte que dans la partie périphérique, l'épaisseur du capot diminue en fonction d'une distance par rapport au centre de la face externe.

[0040] Un quatrième objet de l'invention est un procédé de réalisation d'une source de lumière, faisant l'objet du premier mode de réalisation, comportant :

[0041] i. obtention d'une source de lumière de base, la source de lumière de base comprenant un élément d'émission, s'étendant parallèlement à un plan radial, autour d'un centre de l'élément d'émission, et disposé dans une cavité délimitée par un capot de base, le capot de base s'étendant entre une face interne, disposée face à l'élément d'émission, et une première face, la première face du capot de base s'étendant parallèlement au plan radial ;

ii. obtention d'un capot auxiliaire, s'étendant entre une deuxième face et une face externe, la distance entre la deuxième face et la face externe définissant une épaisseur du capot auxiliaire, la face externe comportant un centre de la face externe ;

iii. usinage de la face externe du capot auxiliaire, de façon à ménager, dans la face externe, au moins une partie périphérique, adjacente d'une partie centrale

plane, la partie centrale passant par le centre de la face externe, et étant parallèle à la deuxième face, la partie périphérique étant inclinée par rapport à la partie centrale de telle sorte que dans la partie périphérique, l'épaisseur du capot auxiliaire diminue en fonction d'une distance par rapport au centre de la face externe;

- iv. assemblage du capot auxiliaire contre le capot de base, la deuxième face étant au contact de la première face, l'assemblage étant effectué de telle sorte que le centre de la face externe soit aligné par rapport au centre de l'élément d'émission, parallèlement à un axe transversal perpendiculaire au plan radial.

[0042] Selon le quatrième objet de l'invention, le procédé peut comporter :

- [0043] – au cours de l'étape i), une obtention d'une pluralité de sources de lumières de base, réparties selon le plan radial, chaque source de lumière de base comprenant un élément d'émission, s'étendant parallèlement à un plan radial autour d'un centre de l'élément d'émission, et disposé dans une cavité délimitée par un capot de base, le capot de base s'étendant entre une face interne, disposée face à chaque élément d'émission, et une première face, la première face du capot de base s'étendant parallèlement au plan radial ;
- au cours de l'étape ii), une obtention d'un capot auxiliaire tel que la face externe du capot auxiliaire comporte plusieurs centres de la face externe ;
- au cours de l'étape iii) une formation, dans la face externe du capot auxiliaire, d'une pluralité de parties périphériques, respectivement autour d'une pluralité de parties centrales, chaque partie centrale passant par un centre de la face externe, et étant parallèle à la deuxième face, chaque partie périphérique étant inclinée par rapport à la partie centrale de laquelle elle est adjacente, de telle sorte que dans chaque partie périphérique, l'épaisseur du capot auxiliaire diminue en fonction d'une distance par rapport à la partie centrale de laquelle la partie périphérique est adjacente ;
- au cours de l'étape iv), assemblage du capot auxiliaire sur le capot de base, la première face étant assemblée contre la deuxième face, l'assemblage étant effectué de telle sorte qu'au moins un centre de la face externe soit aligné par rapport au centre d'un élément d'émission, parallèlement à un axe transversal perpendiculaire au plan radial.

[0044] L'invention sera mieux comprise à la lecture de l'exposé des exemples de réalisation présentés, dans la suite de la description, en lien avec les figures listées ci-dessous.

FIGURES

[0045] [fig.1A] La [fig.1A] montre un exemple de capteur de gaz pouvant comporter une source de lumière selon le premier objet de l'invention.

- [0046] [fig.1B] La [fig.1B] représente une propagation de la lumière, à partir d'une source de lumière, entre deux parois parallèles réfléchissantes.
- [0047] [fig.2A] La [fig.2A] schématise une source de lumière infrarouge selon l'art antérieur.
- [0048] [fig.2B] La [fig.2B] schématise un élément d'émission de lumière prenant la forme d'une membrane parcourue par une piste conductrice.
- [0049] [fig.2C] La [fig.2C] montre un premier mode de réalisation d'une source de lumière selon l'invention.
- [0050] [fig.2D]
- [0051] [fig.2E] Les figures 2D et 2E illustrent une propagation d'un rayon lumineux de part et d'autre de la face externe du capot de la source de lumière, respectivement en considérant une source de lumière selon l'art antérieur et une source de lumière selon l'invention.
- [0052] [fig.2F] La [fig.2F] est une vue de dessus d'une source de lumière selon le premier mode de réalisation.
- [0053] [fig.2G] La [fig.2G] est une vue en perspective d'une source de lumière selon le premier mode de réalisation.
- [0054] [fig.2H] La [fig.2H] est un détail de la face externe d'une source de lumière selon le premier mode de réalisation.
- [0055] [fig.3A] La [fig.3A] montre une configuration utilisée pour modéliser les rayons émergeant de la source de lumière.
- [0056] [fig.3B]
- [0057] [fig.3C] Les figures 3B et 3C sont des histogrammes d'angles de rayons détectés par un photodétecteur modélisé. Ces histogrammes ont été obtenus suite à une modélisation d'une source de lumière respectivement selon l'art antérieur et selon le premier mode de réalisation de l'invention.
- [0058] [fig.3D]
- [0059] [fig.3E] Les figures 3D et 3E représentent des tracés de rayons effectués en disposant une source de lumière entre deux parois réfléchissantes planes et parallèles l'une à l'autre. Sur les figures 3D et 3E, la source de lumière est respectivement une source de lumière selon l'art antérieur et selon le premier mode de réalisation.
- [0060] [fig.4A]
- [0061] [fig.4B]
- [0062] [fig.4C]
- [0063] Les figures 4A à 4C montrent une source de lumière selon un deuxième mode de réalisation.
- [0064] [fig.4D] La [fig.4D] illustre des résultats d'une optimisation de paramètres géométriques de la face externe, l'objectif étant d'augmenter une proportion de rayons

s'étendant selon une plage angulaire de $\pm 30^\circ$ autour d'un axe transversal.

- [0065] [fig.4E] La [fig.4E] représente un histogramme d'angles de rayons détectés par un photodétecteur modélisé. Cet histogramme a été obtenu suite à une modélisation d'une source de lumière selon le deuxième mode de réalisation de l'invention.
- [0066] [fig.5A] La [fig.5A] montre une source de lumière selon un troisième mode de réalisation.
- [0067] [fig.5B] La [fig.5B] représente un histogramme d'angles de rayons détectés par un photodétecteur modélisé. Cet histogramme a été obtenu suite à une modélisation d'une source de lumière selon le troisième mode de réalisation de l'invention.
- [0068] [fig.5C] La [fig.5C] montre une source de lumière selon un quatrième mode de réalisation.
- [0069] [fig.5D] La [fig.5D] représente un histogramme d'angles de rayons détectés par un photodétecteur modélisé. Cet histogramme a été obtenu suite à une modélisation d'une source de lumière selon le quatrième mode de réalisation de l'invention.
- [0070] [fig.5E] La [fig.5E] montre un diagramme de radiation de sources de lumières respectivement selon l'art antérieur, le premier mode de réalisation et le troisième mode de réalisation.
- [0071] [fig.6]
- [0072] Les figures 6A et 6B représentent une variante du premier mode de réalisation.
- [0073] Les figures 6C et 6D représentent une variante du deuxième mode de réalisation.
- [0074] [fig.7] La [fig.7] montre un procédé de réalisation permettant d'obtenir une source de lumière selon le premier mode de réalisation ou selon le deuxième mode de réalisation.
- [0075] [fig.8] La [fig.8] montre un procédé de réalisation permettant d'obtenir une source de lumière selon le troisième mode de réalisation ou selon le quatrième mode de réalisation.
- [0076] [fig.9] La [fig.9] schématise un dépôt d'une couche antireflet sur une source de lumière selon l'invention.
- [0077] [fig.10] La [fig.10] montre un cinquième mode de réalisation d'une source de lumière.
- [0078] [fig.11A] La [fig.11A] représente un autre procédé permettant d'obtenir une source de lumière selon l'invention.
- [0079] [fig.11B] La [fig.11B] schématise un procédé de fabrication collectif permettant la fabrication de différentes sources de lumière selon l'invention.
- [0080] [fig.12A]
- [0081] [fig.12B]
- [0082] [fig.12C] Les figures 12A, 12B et 12C schématisent un procédé permettant d'obtenir une source de lumière selon l'art antérieur.
- [0083] [fig.13]

[0084] Les figures 13A à 13D montrent des étapes d'usinage du capot supérieur d'une source de lumière.

[0085] [fig.14A]

[0086] [fig.14B] Les figures 14A et 14B schématisent des substrats formant le capot sources de lumière, respectivement selon le premier mode de réalisation et le deuxième mode de réalisation, issues d'un procédé de formation collective.

EXPOSE DE MODES DE REALISATION PARTICULIERS

[0087] On a représenté, sur la [fig.1A], un exemple de capteur de gaz 1, de type NDIR, ce capteur étant décrit dans WO2018162848. Le capteur comporte une enceinte 2, apte à recevoir un gaz à analyser. L'enceinte est délimitée par deux parois 31, 32, dites parois transversales, s'étendant selon un plan transversal XZ. Sur la [fig.1A], on a représenté une première paroi transversale 31, la deuxième paroi transversale 32 étant représentée en transparence de façon à visualiser l'intérieur de l'enceinte 2. Les parois transversales 31 et 32 sont représentées sur la [fig.1B].

[0088] Les parois transversales peuvent être parallèles au plan transversal P_{XZ} , ou sensiblement parallèles à ce dernier, le terme sensiblement indiquant qu'une tolérance angulaire, par exemple +/- 20° ou +/- 30° est admise. Elles peuvent être planes ou incurvées.

[0089] Le capteur de gaz 1 comporte également une paroi périphérique 4, délimitant l'enceinte 2, et s'étendant entre la première paroi transversale 3₁ et la deuxième paroi transversale 3₂. La paroi périphérique 4 s'étend autour d'un axe longitudinal Y, perpendiculaire au plan transversal P_{XZ} . La paroi périphérique 4 prend la forme d'une paroi cylindrique, dont la section, dans le plan P_{XY} , comporte des portions courbes 4₁, 4₂ et des portions planes. Les portions courbes peuvent notamment être elliptiques. Une portion elliptique suit, selon le plan transversal P_{XZ} , le contour d'une partie d'une ellipse.

[0090] Le capteur de gaz 1 comporte une source de lumière 10, apte à émettre une onde lumineuse selon un cône d'émission Ω , le cône d'émission s'étendant autour d'un axe d'émission Δ . La source de lumière 10 est configurée pour émettre l'onde lumineuse selon une bande spectrale d'illumination $\Delta \lambda$. La bande spectrale d'illumination $\Delta \lambda$ s'étend dans l'infrarouge, par exemple entre 1 μm et 10 μm .

[0091] La première portion courbe 4₁ est réfléchissante. Elle est configurée pour recevoir une première partie Ω_1 du cône d'émission Ω , de façon à le réfléchir vers un photodétecteur de mesure 20. L'onde lumineuse traverse ainsi le gaz présent dans l'enceinte 2, avant d'être détectée par le photodétecteur de mesure 20. Dans l'exemple considéré, le photodétecteur de mesure 20 est une thermopile, apte à délivrer un signal dépendant de l'intensité de l'onde lumineuse à laquelle est exposé le photodétecteur. Il peut également s'agir d'une photodiode ou d'un autre type de photodétecteur. Le photo-

détecteur de mesure 20 peut être couplé à un filtre 21 passe-bande, dont la bande spectrale correspond à une bande spectrale d'une espèce gazeuse G_s dont on souhaite déterminer une quantité C_s dans le mélange gazeux. L'intensité I de l'onde lumineuse détectée par le photodétecteur de mesure 20 dépend de la quantité C_s selon la relation de Beer-Lambert :

$$[0092] \quad att = \frac{I}{I_0} = e^{-\mu(C_s)l} \quad (1)$$

[0093] où :

[0094] - $\mu(C_s)$ est un coefficient atténuation, dépendant de la quantité C_s recherchée;

[0095] - l est l'épaisseur de gaz traversé par l'onde lumineuse dans l'enceinte ;

[0096] - I_0 est l'intensité de l'onde lumineuse incidente, qui correspond à l'intensité de l'onde qui atteindrait le photodétecteur de mesure 20 en l'absence de gaz absorbant dans l'enceinte.

[0097] La comparaison entre I et I_0 , prenant la forme d'un ratio $\frac{I}{I_0}$, correspond à une atténuation att générée par l'espèce gazeuse considérée.

[0098] Lors de chaque impulsion de la source de lumière 10, on peut ainsi déterminer $\mu(C_s)$, ce qui permet d'estimer \hat{C}_s sachant que la relation entre C_s et $\mu(C_s)$ est connue.

[0099] L'expression (1) suppose une maîtrise de l'intensité I_0 de l'onde lumineuse émise par la source de lumière 10. A cet effet, le dispositif peut comporter un photodétecteur de référence 23, agencé de telle sorte qu'il détecte une onde lumineuse, dite onde lumineuse de référence, atteignant le photodétecteur de référence 23 sans interagir avec le gaz présent dans l'enceinte 2, ou sans interagir significativement avec ce dernier. La paroi périphérique 4 comporte à cet effet la deuxième portion réfléchissante 4₂, configurée pour recevoir une deuxième partie du cône d'émission Ω émis par la source de lumière 10, de façon à le réfléchir vers le photodétecteur de référence 23. L'intensité de l'onde lumineuse de référence, détectée par le photodétecteur de référence 23, est désignée par le terme intensité de référence I_{ref} . Dans cet exemple, le photodétecteur de référence 23 est associé à un filtre optique, dit filtre optique de référence 22. Le filtre optique de référence 22 définit une bande passante correspondant à une plage de longueurs d'onde non absorbées par l'échantillon. La bande passante de référence est par exemple centrée autour de la longueur d'onde 3.91 μm . La mesure de I_{ref} permet de corriger la valeur de I_0 , ce qui permet de déterminer $\mu(C_s)$, puis d'estimer \hat{C}_s . La mesure de I_{ref} permet notamment de tenir compte des variations temporelles de l'intensité I_0 de l'onde lumineuse émise par la source de lumière 10.

[0100] Sur la [fig.1B], on a représenté une coupe de l'enceinte 2, selon l'axe d'émission Δ , entre la source de lumière 10 et la première partie elliptique 41 de la paroi périphérique

4. La coupe est représentée selon un plan transversal YZ. Dans le plan transversal YZ, le rayonnement est émis par la source de lumière selon une plage angulaire regroupant des angles d'émission α répartis à $\pm 90^\circ$ de part et d'autre de l'axe d'émission Δ . Les parois transversales 31 et 32 sont réfléchissantes. Ainsi, en fonction de l'angle d'émission α , le rayonnement peut subir de nombreuses réflexions sur les parois transversales avant d'atteindre la partie elliptique réfléchissante 41. En aval de cette dernière, le rayonnement se propage jusqu'au photodétecteur de mesure 20 en subissant également des réflexions sur les parois transversales.

[0101] Par paroi réfléchissante, on entend une paroi dont le coefficient de réflexion, dans tout ou partie de bande spectrale $\Delta\lambda$ de l'onde lumineuse émise par la source de lumière 10, est supérieur à 50%, et de préférence supérieur à 80%. Une paroi réfléchissante peut être formée à l'aide d'un matériau réfléchissant tel un métal, par exemple de l'or.

[0102] On comprend que plus l'angle d'émission α est élevé, plus le nombre de réflexions par les parois réfléchissantes 3_1 et 3_2 est important. Or, plus le nombre de réflexions est élevé, plus l'intensité du rayonnement émis diminue, du fait de pertes au niveau de chaque réflexion. En outre, le photodétecteur de mesure 20 est généralement couplé à un filtre passe-bande 21. Le filtre passe-bande délimite une bande spectrale correspondant à la bande spectrale d'absorption de l'espèce gazeuse recherchée. Il est préférable que l'angle du rayonnement incident au filtre passe-bande 21 soit le plus proche d'une normale au filtre. Autrement dit, il est préférable que l'angle d'incidence du rayonnement, par rapport à l'axe transversal Z, soit le plus faible possible. Lorsque l'angle d'incidence par rapport au filtre est élevé, la bande passante définie par le filtre peut être modifiée, ce qui dégrade la performance de filtration. Enfin, la variabilité des angles d'émission α par rapport à l'axe transversal Z, dans le plan P_{YZ} entraîne une variabilité des trajets optiques des différents rayons se propageant entre la source de lumière 10 et le photodétecteur de mesure 20. En effet, plus l'angle d'émission α est élevé, plus le nombre de réflexions dans le trajet optique entre la source de lumière 10 et le photodétecteur de mesure 20 est élevé. Les rayons dont l'angle d'émission α est élevé sont donc davantage atténués que les rayons émis selon un angle plus faible.

[0103] Les constats décrits dans le paragraphe précédent sont également valables pour les rayonnements se propageant de la source de lumière vers la deuxième partie elliptique 4₂, puis de cette dernière jusqu'au photodétecteur de référence 23.

[0104] Compte tenu des conséquences exposées dans le paragraphe précédent, il est préférable de réduire autant que possible les angles d'émission α , par rapport à l'axe d'émission Δ de la source de lumière (qui correspond à l'axe transversal Z), tout en maintenant le niveau d'intensité de la source de lumière 10. Il s'agit d'un aspect important de l'invention.

[0105] La source de lumière 10 peut notamment être impulsionnelle, l'onde lumineuse

incidente étant une impulsion de durée généralement comprise entre 100 ms et 1 s. Il peut notamment s'agir d'une source de lumière comportant un élément d'émission 11 de type membrane, parcouru par un filament, ce dernier étant parcouru par un courant électrique impulsionnel. Le filament est une piste conductrice 11' chauffée à une température comprise entre 400°C et 800°C de façon à émettre une lumière infrarouge.

[0106] Un exemple de source de lumière de l'art antérieur 10A, ou source de lumière de base, est représenté sur la [fig.2A]. La source de lumière comporte un élément d'émission 11 prenant la forme d'une membrane reliée à un substrat 12 et suspendue sur une ouverture 12' ménagée dans ce dernier. La membrane 11 s'étend dans une cavité 15, placée sous vide. La cavité 15 est délimitée par une paroi annulaire 13 et est refermée par un capot 14A. L'élément d'émission 11, dans cet exemple la membrane, s'étend selon un plan radial PXY, perpendiculaire à un axe transversal Z. La paroi annulaire 13 relie le capot 14A au substrat 12. Le capot 14A s'étend entre une face interne 17, adjacente de la cavité 15, et une face externe 16. La face interne 17 et la face externe 16 sont parallèles à la membrane 11, c'est-à-dire parallèles au plan radial PXY.

[0107] Sur la [fig.2B], on a représenté une membrane 11 en forme de disque, parcourue par une piste conductrice 11'. La membrane 11 s'étend selon le plan radial PXY. La membrane 11 est rattachée, par des bras 11", au substrat 12. Lorsque la piste conductrice 11' est parcourue par un courant électrique, elle s'échauffe et produit un échauffement de la membrane 11. L'échauffement de la membrane 11 peut être considéré comme homogène. Sous l'effet de l'échauffement, la membrane 11 émet un rayonnement infra-rouge dans toutes les directions (c'est-à-dire selon un angle solide de 4π stéradians). Le spectre du rayonnement infra-rouge, c'est-à-dire l'intensité en fonction de la longueur d'onde, est usuellement considéré comme le spectre d'émission d'un corps gris.

[0108] Sur la [fig.2A], on a représenté, par des flèches, des tracés de rayons émis à partir du centre 11c de la membrane 11 et se propageant à travers la cavité 15. Dans la réalité, les rayons sont émis à partir de toute la surface de la membrane. On également représenté l'angle d'émission α par rapport à l'axe transversal Z. Le capot de la source de lumière est composé d'un matériau dont l'indice de réfraction est supérieur à celui de l'air dans la bande spectrale d'émission de la membrane 11. Il s'agit par exemple de silicium. Du fait de la variation d'indice de réfraction entre le vide et le silicium d'une part, entre le silicium et l'air d'autre part, l'angle α se réduit à l'interface entre le vide et le silicium, puis augmente à l'interface entre le silicium et l'air.

[0109] L'invention concerne une optimisation de la source de lumière, de manière à augmenter la quantité de rayonnement émergeant du capot 14 en ayant un angle d'émission α , par rapport à l'axe transversal Z, inférieur à $\pm 30^\circ$ ou à $\pm 10^\circ$.

- [0110] Un premier mode de réalisation est représenté sur la [fig.2C]. Sur cette figure, la source de lumière 10 comporte les mêmes éléments que ceux décrits en lien avec la source de lumière 10A de l'art antérieur, à l'exception du capot 14, ce dernier étant modifié comme décrit par la suite. La membrane 11 s'étend autour d'un centre 11c. La face externe 16 s'étend autour d'un centre 16c. Selon l'axe transversal Z, le centre de la face externe 16c est aligné avec le centre de la membrane 11c. La distance entre la face interne 17 et la face externe 16, selon l'axe transversal Z, correspond à une épaisseur e du capot 14.
- [0111] La face externe 16 comporte une partie centrale 16₁, comportant le centre de la face externe 16_c et s'étendant autour de ce dernier, selon une longueur d_1 , parallèlement à l'axe longitudinal Y. La partie centrale 16₁ s'étend parallèlement au plan radial P_{XY}, c'est-à-dire parallèlement à la membrane 11. D'une façon générale, la face externe 16 comporte au moins une partie périphérique 16₂, adjacente de la partie centrale 16₁. La partie périphérique 16₂ est inclinée, selon un angle d'inclinaison θ , par rapport à la partie centrale 16₁. L'inclinaison est telle qu'au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la partie centrale 16₁, (ou du centre de la face externe 16_c), selon l'axe longitudinal Y, l'épaisseur e du capot 14 se réduit.
- [0112] Dans l'exemple représenté, les dimensions L , Φ , ε , e , t , d représentées sur la [fig.2C] sont : $L = 800 \mu\text{m}$; $\Phi = 300 \mu\text{m}$; $\varepsilon = 675 \mu\text{m}$; $t = 120 \mu\text{m}$; $e = 280 \mu\text{m}$; $d = 1140 \mu\text{m}$.
- [0113] Sur mode de réalisation représenté sur la [fig.2C], la source de lumière comporte une partie périphérique 16₂ inclinée selon l'angle θ de part et d'autre de la partie centrale 16₁, selon l'axe longitudinal Y. Chaque partie périphérique 16₂ s'étend, à partir de la partie centrale 16₁, selon une longueur d_2 , définie parallèlement à l'axe longitudinal Y. La longueur d_2 ainsi que l'angle d'inclinaison θ peuvent faire l'objet d'une optimisation, comme décrit en lien avec la [fig.4D].
- [0114] L'inclinaison de la partie périphérique 16₂ de la face externe 16 a pour effet d'incliner la normale à l'interface silicium/air définie par la surface externe 16. Si α désigne l'angle avec lequel un rayon émerge de la face externe 16 par rapport à l'axe transversal Z, l'inclinaison de la partie périphérique 16₂ de la face externe 16 permet de réduire l'angle α , par rapport à la configuration de l'art antérieur, selon laquelle la face externe 16 n'est pas inclinée. Cet effet est illustré sur les figures 2D et 2E.
- [0115] La [fig.2D] illustre une configuration de l'art antérieur. On a représenté un rayon se propageant à travers le capot 14. Les angles α_1 , α_2 et α sont respectivement :
- [0116] – l'angle d'incidence du rayon par rapport à la normale N_1 à la face interne 17 ;
– l'angle d'incidence du rayon par rapport à la normale N_2 à la face externe 16 ;
– l'angle du rayon émergent de la face externe 16 par rapport à l'axe transversal Z.
- [0117] Dans cet exemple, l'axe transversal Z est parallèle à la normale N_2 . Le capot 14 est

constitué de silicium, dont l'indice de réfraction optique est compris entre 3.4 et 3.5. La cavité 15 est sous vide, l'indice de réfraction du vide étant de 1. Au-delà de la face externe 16, le rayon se propage dans le gaz à analyser, ce dernier pouvant être assimilé à de l'air, d'indice de réfraction égal à 1 : Donc $n = n_1$. Du fait du changement d'indice de réfraction de part et d'autre de l'interface, l'angle α_2 , dans le capot 14, est inférieur aux angles α et α_1 .

[0118] La [fig.2E] illustre une configuration telle que représentée sur la [fig.2C]. De même que sur la [fig.2D], on a représenté un rayon se propageant à travers le capot 14. Les angles α_1 , α_2 et α correspondent aux définitions données en lien avec la [fig.2D]. Sur la [fig.2E], le rayon émerge de la partie périphérique 162 de la face externe. La partie périphérique 162 est inclinée par rapport à un plan parallèle au plan radial PXY et passant par le centre 16c de la face externe 16, selon un angle d'inclinaison θ . De ce fait, la normale N2 à l'interface capot 14 / air est également inclinée d'un angle θ par rapport l'axe transversal Z. L'angle α , par rapport à l'axe transversal Z, est inférieur à celui de la configuration de l'art antérieur. La comparaison des figures 2D et 2E montre que l'inclinaison de la face externe 16 résulte en une diminution de l'angle α par rapport à l'art antérieur. Ainsi, l'inclinaison de la partie périphérique 162 de la face externe 16 entraîne une réduction des angles avec lesquels les rayons émergent de la partie périphérique 162, par rapport à la configuration de l'art antérieur, selon laquelle la face externe 16 est plane.

[0119] La [fig.2F] illustre une vue de dessus, c'est-à-dire selon un plan parallèle au plan radial PXY, de la source de lumière représentée sur la [fig.2C]. On a représenté, en pointillés, la membrane 11. La [fig.2G] est une vue en perspective de la source de lumière représentée sur la [fig.2C]. Sur la [fig.2H], on a représenté la partie centrale 161 de la face externe, plane, et parallèle au plan radial PXY. On a également représenté une partie périphérique 162. Le plan radial est défini par un axe latéral X orthogonal à un axe longitudinal Y. La partie périphérique 162 s'étend parallèlement à un plan défini par un premier axe latéral X1 orthogonal à un premier axe longitudinal Y1 (ou Y1') Selon le mode de réalisation représenté :

- [0120] – le premier axe latéral X_1 est parallèle à l'axe latéral X ;
 – le premier axe longitudinal Y_1 (ou Y'_1) est incliné par rapport à l'axe latéral Y, dans un plan transversal P_{YZ} . L'angle d'inclinaison aigu θ entre les axes Y_1 (ou Y'_1) et Y correspond à l'angle d'inclinaison de la partie périphérique 162 par rapport à la partie centrale 161.

[0121] On a modélisé, par tracé de rayons, différentes configurations correspondant au mode de réalisation illustré sur la [fig.2C]. On a fait varier l'angle d'inclinaison θ ainsi que la longueur d2 de la partie périphérique 162. L'objectif est de maximiser une quantité de rayons émergeant de la face externe 16 et se propageant selon un angle α inférieur à

$\pm 30^\circ$ par rapport à l'axe transversal Z.

[0122] La [fig.3A] montre une configuration mise en œuvre pour effectuer les modélisations. La source de lumière 10 est disposée face à un photodétecteur modélisé 20m s'étendant infiniment autour de l'axe transversal Z de la source de lumière 10. La source de lumière est supposée émettre un rayonnement selon un angle solide de 2π stéradians dans un demi-espace délimité par la source de lumière 10 et comportant le photodétecteur 20m. La modélisation est définie afin que l'angle α de chaque rayon émis par la source soit l'opposé de l'angle reçu par le photodétecteur modélisé 20m.

[0123] Les figures 3B et 3C sont des histogrammes des angles α , par rapport à l'axe transversal Z, des rayons détectés par le photodétecteur 20_m, en considérant respectivement :

- [0124] – une source de lumière de l'art antérieur, telle que décrite en lien avec la figure 2A ;
- une source de lumière selon la configuration représentée sur la figure 2C.

[0125] Sur les figures 3B et 3C, les axes des abscisses et des ordonnées représentent respectivement les angles, par rapport à l'axe Z, des rayons détectés par le photodétecteur 20m, respectivement dans les plans transversaux PXZ et PYZ. Le centre de chaque figure, marqué par une croix, correspond à des rayons parallèles à l'axe Z. Sur chaque figure, le niveau de gris représente un nombre de rayons détectés. Sur la [fig.3B], l'histogramme est relativement homogène. La distribution angulaire des photons détectés est considérée comme homogène. Sur la [fig.3C], on observe un resserrement de l'histogramme autour des faibles angles, dans le plan transversal PYZ. Cela montre que l'invention permet d'augmenter la proportion des rayons, émis par la source de lumière 10, et émergeant du capot dans une plage angulaire de $\pm 30^\circ$, voire $\pm 25^\circ$ par rapport à l'axe transversal Z.

[0126] Les inventeurs ont effectué des modélisations en faisant varier les paramètres d_2 (longueur de chaque partie périphérique parallèlement à l'axe longitudinal Y), et θ (angle d'inclinaison de chaque partie périphérique). Les paramètres optimaux sont $d_2 = 494 \mu\text{m}$ et $\theta = 11^\circ$. Selon ces paramètres optimaux, 54,6 % des rayons émis par la source de lumière 10, dans le demi-espace comportant le photodétecteur, émergent du capot 14 selon des angles α , par rapport à l'axe transversal Z, compris dans la plage angulaire $\pm 30^\circ$. En utilisant une source de lumière de l'art antérieur, telle que décrite en lien avec la [fig.2A], cette proportion est de 31%.

[0127] Les figures 3D et 3E représentent des tracés de rayons en disposant respectivement une source de lumière 10A selon l'art antérieur (cf. [fig.2A]), et une source de lumière 10 selon la configuration représentée sur la [fig.2C]. Sur chacune de ces figures, la source de lumière est disposée comme représenté sur les figures 1A et 1B : Elle débouche dans l'enceinte 2 du capteur de gaz. Dans cet exemple, la source de lumière

est disposée entre deux parois réfléchissantes 31 et 32 espacées l'une de l'autre d'une distance $h = 1.2 \text{ mm}$. L'axe transversal Z de la source de lumière 10 est parallèle aux parois transversales, et centré par rapport à ces dernières. La comparaison des figures 3D et 3E montrent que l'invention permet d'augmenter la quantité de rayons émergeant de la source de lumière 10 selon un angle α de $\pm 30^\circ$ par rapport à l'axe transversal Z. Sur les figures 3D et 3E, on a contourné des zones correspondant à des rayons émis selon un angle α supérieur à 30° . La configuration selon l'invention ([fig.3E]) permet de réduire la proportion de rayons traversant ces zones.

[0128] Les figures 4A à 4C montrent un deuxième mode de réalisation de l'invention. Selon ce mode de réalisation, la face externe 16 de la source de lumière 10 comporte une partie centrale 16_1 plane, s'étendant selon un plan parallèle au plan radial P_{XY} et passant par le centre 16_c de la face externe 16. La partie centrale 16_1 s'étend selon un axe latéral X orthogonal à un axe longitudinal Y. La source de lumière 10 comporte également :

- [0129] – deux parties périphériques, $16_{2,1}$, dites premières parties périphériques, s'étendant de part et d'autre de la partie centrale 16_1 , selon l'axe longitudinal Y. Comme décrit en lien avec le mode de réalisation représenté sur la figure 2C, chaque partie périphérique s'étend selon un premier axe latéral X_1 orthogonal à un premier axe longitudinal Y_1 (ou Y'_1). Le premier axe latéral X_1 est parallèle à l'axe latéral X. Le premier axe longitudinal Y_1 (ou Y'_1) forme un premier angle d'inclinaison aigu θ_1 par rapport à l'axe longitudinal Y.
- deux deuxièmes parties périphériques $16_{2,2}$, s'étendant de part et d'autre de la partie centrale 16_1 , selon l'axe latéral X. Chaque deuxième partie périphérique s'étend selon un deuxième axe latéral X_2 (ou X'_2) orthogonal à un deuxième axe longitudinal Y_2 . Le deuxième axe longitudinal Y_2 est parallèle à l'axe longitudinal Y. Le deuxième axe latéral X_2 forme un deuxième angle d'inclinaison aigu θ_2 par rapport à l'axe latéral X.

[0130] Le premier angle d'inclinaison θ_1 et le deuxième angle d'inclinaison θ_2 peuvent former un même angle d'inclinaison θ .

[0131] La [fig.4A] est une vue en perspective du deuxième mode de réalisation. La [fig.4B] est une vue de dessus du deuxième mode de réalisation. Sur la [fig.4C], on a représenté les axes latéral et longitudinal de la partie centrale et de chaque partie périphérique.

[0132] Un tel mode de réalisation peut par exemple être adapté à un capteur de gaz tel que décrit en lien avec la [fig.1A], mais également à un capteur de gaz dans lequel l'enceinte 2, séparant la source de lumière du photodétecteur, est cylindrique, autour de l'axe transversal Z.

[0133] La [fig.4D] représente un résultat des modélisations effectuées en faisant varier les paramètres d_2 (longueur de chaque partie périphérique parallèlement à l'axe longitudinal Y ou à l'axe latéral X) et θ (angle d'inclinaison de chaque partie péri-

phérique). L'axe des ordonnées correspond à la plage de variation de d_2 , (unité : mm) et l'axe des abscisses correspond à la plage de variation de θ (unité : degré). Le niveau de gris correspond à un pourcentage de rayons émergeant du capot 14 dans une plage angulaire de $\pm 30^\circ$ autour de l'axe transversal Z. L'objectif de la modélisation est de déterminer les paramètres maximisant ce pourcentage. Les paramètres optimaux correspondent à la croix tracée sur la [fig.4D] : $d_2 = 494 \mu\text{m}$ et $\theta = 11^\circ$. Selon ces paramètres optimaux, 74,5 % des rayons émis par la source de lumière 10, dans le demi-espace comportant le photodétecteur, émergent du capot 14 selon des angles α , par rapport à l'axe transversal Z, compris dans la plage angulaire $\pm 30^\circ$. En utilisant une source de lumière de l'art antérieur, telle que décrite en lien avec la [fig.2A], cette proportion est de 31%.

- [0134] La [fig.4E] est un histogramme des angles α , par rapport à l'axe transversal Z, des rayons détectés par le photodétecteur 20m. L'historgramme a été réalisé de la même façon que ceux des figures 3B et 3C, en considérant une source de lumière telle que représentée sur les figures 4A à 4C, selon les paramètres optimisés reportés dans le paragraphe précédent.
- [0135] La [fig.5A] montre un troisième mode de réalisation. Selon ce mode de réalisation, la face externe 16 de la source de lumière 10 comporte une partie périphérique 162 s'étendant, de part et d'autre de la partie centrale, selon un premier angle d'inclinaison θ_1 sur une partie de la longueur de la paroi périphérique 162, puis selon un deuxième angle d'inclinaison θ_1' sur une autre partie de la longueur de la paroi périphérique 162, avec $\theta_1' > \theta_1$. Selon ce mode de réalisation, les angles d'inclinaison θ_1 , θ_1' correspondent aux angles aigus entre l'axe longitudinal Y et le premier axe longitudinal Y1 de chaque partie périphérique. Ce mode de réalisation correspond à un perfectionnement du premier mode de réalisation, chaque partie périphérique comportant successivement deux angles d'inclinaison.
- [0136] Une optimisation a été menée, telle que décrite en lien avec la [fig.4D]. On a montré que selon une telle configuration, compte tenu des dimensions décrites en lien avec la [fig.2C], les angles θ_1 et θ_1' optimaux sont respectivement égaux à $7,5^\circ$ (selon une longueur, parallèlement à l'axe longitudinal Y, de $400 \mu\text{m}$), et à 16° (selon une longueur, parallèlement à l'axe longitudinal Y, égale à $120 \mu\text{m}$).
- [0137] La [fig.5B] est un histogramme des angles α , par rapport à l'axe transversal Z, des rayons détectés par le photodétecteur 20m. L'historgramme a été réalisé de la même façon que ceux des figures 3B et 3C, en considérant une source de lumière telle que représentée sur la [fig.5A], selon les paramètres optimisés reportés dans le paragraphe précédent.
- [0138] Sur la [fig.5B], les axes des abscisses et des ordonnées représentent respectivement les angles, par rapport à l'axe Z, des rayons détectés par le photodétecteur 20m, respec-

tivement dans les plans PXZ et PYZ. Le centre la [fig.5B], marqué par une croix, correspond à des rayons parallèles à l'axe Z. Le niveau de gris représente un nombre de rayons détectés. On observe un resserrement de l'histogramme autour des faibles angles. Cela montre que l'invention permet d'augmenter la proportion des rayons, émis par la source de lumière 10, et émergeant du capot 14 dans une plage angulaire de $\pm 30^\circ$, voire $\pm 20^\circ$ par rapport à l'axe transversal Z.

[0139] La [fig.5C] représente un quatrième mode de réalisation selon lequel la face externe 16 comporte deux premières parties périphériques 16_{2,1} et deux deuxième parties périphériques 16_{2,2} telles que décrites en lien avec le deuxième mode de réalisation.

[0140] Chaque première partie périphérique 16_{2,1} s'étend selon un premier axe longitudinal Y₁ formant, avec l'axe longitudinal Y, un premier angle d'inclinaison aigu θ_1 sur une partie de la longueur de la paroi périphérique, puis selon un deuxième angle d'inclinaison aigu θ'_1 sur une autre partie de la longueur de la paroi périphérique, avec $\theta'_1 > \theta_1$.

[0141] Chaque deuxième partie périphérique 16_{2,2} s'étend selon un deuxième axe latéral X₂ formant, avec l'axe latéral X, le premier angle d'inclinaison aigu θ_1 sur une partie de la longueur de la paroi périphérique, puis selon le deuxième angle d'inclinaison θ'_1 sur une autre partie de la longueur de la paroi périphérique, avec $\theta'_1 > \theta_1$.

[0142] Une optimisation a été menée, telle que décrite en lien avec la [fig.4D]. On a montré que selon une telle configuration, compte tenu des dimensions décrites en lien avec la [fig.2C], les angles θ_1 et θ'_1 optimaux sont respectivement égaux à $7,5^\circ$ (selon une longueur, parallèlement à l'axe longitudinal Y, de 400 μm), et à 16° (selon une longueur, parallèlement à l'axe longitudinal Y, égale à 120 μm). Selon ces paramètres optimaux, 76.7 % des rayons détectés par le photodétecteur 20m émergent de la source de lumière selon des angles, par rapport à l'axe transversal Z, compris dans la plage angulaire $\pm 30^\circ$. En utilisant une source de lumière de l'art antérieur, telle que décrite en lien avec la [fig.2A], cette proportion est de 31%.

[0143] La [fig.5D] est un histogramme des angles α , par rapport à l'axe transversal Z, des rayons détectés par le photodétecteur 20m. L'histogramme a été réalisé de la même façon que ceux des figures 3B, 3C, 4E ou 5B, en considérant une source de lumière telle que représentée sur la [fig.5C], selon les paramètres optimisés reportés dans le paragraphe précédent.

[0144] Sur la [fig.5D], les axes des abscisses et des ordonnées représentent respectivement les angles, par rapport à l'axe Z, des rayons détectés par le photodétecteur 20m, respectivement dans les plans PXZ et PYZ. Le centre la [fig.5D], marqué par une croix, correspond à des rayons parallèles à l'axe Z. Le niveau de gris représente un nombre de rayons détectés. On observe un resserrement de l'histogramme autour des faibles angles. Cela montre que l'invention permet d'augmenter la proportion des rayons, émis

par la source de lumière 10, et émergeant du capot 12 dans une plage angulaire de $\pm 30^\circ$, voire $\pm 20^\circ$ par rapport à l'axe transversal Z.

[0145] La comparaison entre les histogrammes des figures 5D, 5B, 4E et 3C, représentant deux modes de réalisation de l'invention, avec l'histogramme de la [fig.3B], montre l'effet technique de l'invention, à savoir une augmentation de la proportion de rayons émergeant de la source de lumière 10 dans une plage angulaire de $\pm 30^\circ$.

[0146] La [fig.5E] montre les diagrammes d'émission, selon un plan transversal PYZ (ou PXZ selon les modes de réalisation), d'une source de lumière respectivement :

- [0147] – selon une configuration de l'art antérieur, décrite en lien avec la figure 2A :
courbe a ;
- selon une configuration suivant le premier mode de réalisation de l'invention, décrite en lien avec les figures 2C à 2H, selon les paramètres optimisés ($\theta_1 = 11^\circ$): courbe b ;
- selon une configuration suivant le troisième mode de réalisation de l'invention, décrite en lien avec la figure 5A, selon les paramètres optimisés ($\theta_1 = 7.5^\circ$, $\theta'_1 = 16^\circ$) : courbe c.

[0148] Sur la [fig.5E], l'axe des abscisses correspond à une intensité lumineuse normalisée. La plage angulaire correspond à l'angle α entre les rayons émis par la source e lumière (i-e émergeant de la face externe 16) et l'axe transversal Z. A l'aide de chaque courbe, on a estimé la plage angulaire $\Delta\theta_{0.5}$ pour laquelle l'intensité lumineuse normalisée est égale à 0.5. Les valeurs de $\Delta\theta_{0.5}$ issues des courbes a, b et c sont respectivement $\pm 58^\circ$, $\pm 24^\circ$, $\pm 20^\circ$. Cela confirme le fait que l'invention permet de resserrer le faisceau lumineux émis par l'élément d'émission 11 en réduisant la plage angulaire par rapport à l'axe transversal Z. Comme on pouvait le constater en comparant les figures 3C et 5B, la [fig.5E] confirme que le resserrement est plus prononcé en mettant en œuvre le troisième mode de réalisation par rapport au premier mode de réalisation.

[0149] Les figures 6A et 6B illustrent une variante du premier mode de réalisation, selon laquelle la face externe 16 ne comporte qu'une seule partie périphérique 16₂ s'étendant autour de la partie centrale 16₁. Les figures 6C et 6D illustrent une variante du deuxième mode de réalisation, selon laquelle la face externe 16 comporte trois parties périphériques : deux parties 16_{2,1}, et une partie référencée 16_{2,2}.

[0150] Les inventeurs ont modélisé l'utilisation d'une source de lumière selon les premier et deuxième modes de réalisation, en utilisant les paramètres θ , d2 optimisés comme décrit en lien avec la [fig.4D], sur un capteur de gaz tel que représenté sur la [fig.1A]. La source de lumière 10 est disposée de telle sorte que l'axe transversal Z corresponde à l'axe central Δ représenté sur la [fig.1A]. On a estimé une quantité de lumière détectée par le photodétecteur de mesure 20 et par le photodétecteur de référence 23. On a considéré que les parois transversales 31 et 32 sont réfléchissantes, et distantes

l'une de l'autre d'une distance $h = 1,2$ mm. L'axe longitudinal Y de la source de lumière 10 est orthogonal aux parois réfléchissantes 31 et 32.

[0151] Le tableau 1 représente, pour le premier et le deuxième mode de réalisation, une augmentation relative de l'intensité ΔI détectée par le photodétecteur et par le photodétecteur de référence, en l'absence de gaz absorbant dans l'enceinte. L'augmentation relative d'intensité relative est définie de telle sorte que :

$$[0152] \quad \Delta I = \frac{I - I_A}{I_A}$$

[0153] où I et I_A correspondent respectivement à une intensité détectée par le photodétecteur considéré en mettant en œuvre respectivement une source de lumière selon l'invention (premier mode de réalisation ou deuxième mode de réalisation) et une source de lumière selon l'art antérieur, cf. [fig.2A].

[0154] [Tableaux1]

Mode de réalisation	Photodétecteur de mesure	Photodétecteur de référence
1 (figure 2G)	74 %	44 %
2 (figure 4A)	146 %	-35 %

[0155] Tableau 1

[0156] Les résultats reportés dans le tableau 1 montrent que le premier mode de réalisation permet d'augmenter la quantité de lumière détectée par le photodétecteur de mesure et par le photodétecteur de référence. Le deuxième mode de réalisation permet d'augmenter davantage la quantité de lumière détectée par le photodétecteur de mesure (+ 146 %), au détriment de la quantité de lumière détectée par le photodétecteur de référence (- 35 %).

[0157] Compte tenu de ces résultats, les inventeurs considèrent que le premier mode de réalisation est particulièrement adapté à un capteur de gaz tel que représenté sur la [fig.1A]. Le deuxième mode de réalisation semble plus approprié à des configurations de capteurs de gaz comportant une enceinte cylindrique s'étendant autour de l'axe transversal Z.

[0158] Les simulations effectuées montrent que l'angle de l'inclinaison d'une partie périphérique, ou de chaque partie périphérique, par rapport à la partie centrale, est de préférence compris entre 5° et 30° , et de préférence compris entre 5° et 25° ou entre 5° et 20° .

[0159] La [fig.7] schématise un procédé de fabrication d'une source de lumière selon les premier ou deuxième modes de réalisation, cf. figures 2C, 2G ou 4A. Le capot 14 peut faire l'objet d'un usinage, par exemple une coupe, à l'aide d'un outil de coupe 41, de façon à former une partie périphérique 162 inclinée par rapport à la partie centrale 161.

L'outil de coupe comporte une lame 51 biseautée, permettant de former l'inclinaison de la partie périphérique 162. Selon le premier mode de réalisation, l'outil de coupe 41 est translaté parallèlement à l'axe latéral X pour former les parties périphériques 162.

Selon le deuxième mode de réalisation, l'outil de coupe 41 est translaté parallèlement à l'axe latéral X pour former les premières parties périphériques 162,1, puis parallèlement à l'axe longitudinal Y pour former les deuxièmes parties périphériques 162,2. Il peut s'agir d'un outil de coupe de type "Dicing blade ZH05 Series – Disco corporation – Japan".

[0160] La [fig.8] montre un procédé de fabrication d'une source de lumière selon les troisième ou quatrième modes de réalisation, cf. [fig.5A] ou 5C. Le capot 14 peut faire l'objet d'un usinage, par exemple une coupe, à l'aide d'un premier outil de coupe 41 et un deuxième outil de coupe 42 de façon à former une partie périphérique 162 inclinée par rapport à la partie centrale 161, selon deux angles d'inclinaison différents. Chaque outil de coupe comporte une lame 51, 52, agencée pour former une partie périphérique inclinée successivement selon les angles d'inclinaison θ_1 et θ'_1 . On utilise tout d'abord le premier outil de coupe 41, comme représenté sur la [fig.7], puis le deuxième outil de coupe 42.

[0161] La [fig.9] illustre un dépôt d'une couche antireflet 19 (Anti reflective coating) sur la face externe d'une source de lumière telle que décrite en lien avec le premier ou le troisième mode de réalisation. Compte tenu des faibles angles d'inclinaison θ , qui sont généralement inférieurs à 25° , voire 20° , l'inclinaison de chaque face périphérique n'a que peu d'incidence sur l'épaisseur de la couche antireflet 19. En considérant par exemple un angle de 12° , l'épaisseur sur chaque partie périphérique est de 0.98 fois égale à l'épaisseur de la couche antireflet déposée sur la partie centrale. Ainsi, les performances de couche antireflet 19 peuvent être considérées comme spatialement homogènes, car l'épaisseur de cette dernière varie peu. Cette conclusion est valable quel que soit le mode de réalisation, en particulier tant que l'angle d'inclinaison θ reste suffisamment faible, typiquement inférieur à 25° et de préférence à 20° .

[0162] La [fig.10] illustre un cinquième mode de réalisation. Selon ce mode de réalisation, le substrat 12, est également structuré. Le substrat comporte ainsi une face externe arrière 12R, structurée de la même façon que la face externe 16 du capot 14. L'objectif est d'obtenir une augmentation du rayonnement émis par la source et émergeant du substrat 12 avec une faible incidence par rapport à l'axe transversal Z. Selon un tel mode de réalisation, la source de lumière peut être disposée dans un capteur de gaz, le photodétecteur de référence 23 faisant face au substrat 12.

[0163] La [fig.11A] illustre un procédé de fabrication, dans lequel le capot 14 comporte un capot de base 141 et un capot auxiliaire 142. Le capot de base 141 s'étend entre une face interne 17 et une première face 171. La face interne 17 et la première face 171

s'étendent parallèlement l'une à l'autre. Le capot de base 141 est assemblé sur un substrat 12, le capot de base et le substrat renfermant une cavité 15 comportant un élément d'émission 11, par exemple une membrane. L'élément d'émission s'étend selon un plan radial autour d'un centre 11c.

- [0164] Le capot auxiliaire 142 s'étend entre une deuxième face 172 et une face externe 16. Cette dernière fait l'objet d'une structuration, autour d'un centre 16c, comme décrit en lien avec les modes de réalisation précédents. Le capot auxiliaire 142 est ensuite assemblé au capot de base 141, de telle sorte que la première face 171 soit disposée contre la deuxième face 172. L'assemblage est réalisé de telle sorte que le centre 11c de l'élément d'émission 11 soit aligné avec le centre 16c de la face externe, parallèlement à l'axe transversal Z. Sur la [fig.11A], l'alignement est matérialisé par un trait mixte.
- [0165] Le capot de base 14₁ et le capot auxiliaire 14₂ peuvent être formés d'un même matériau, par exemple du silicium. Alternativement, le capot auxiliaire 14₂ peut être formé d'un matériau différent du capot de base 14₁. Le capot auxiliaire 14₂ peut par exemple être en verre, tandis que le capot de base est en silicium.
- [0166] L'assemblage du capot auxiliaire 14₂ sur le capot de base 14₁ forme un capot 14 de la source de lumière 10.
- [0167] La [fig.11B] illustre un procédé de fabrication collective d'une pluralité de sources de lumière selon le mode de réalisation similaire à celui décrit en lien avec la [fig.11A]. Selon ce procédé, on dispose d'un capot de base 141 et d'un capot auxiliaire 142. De même que dans le procédé schématisé sur la [fig.11A], le capot de base 141 s'étend entre une face interne 17 et une première face 171. La face interne 17 et la première face 171 s'étendent parallèlement l'une à l'autre. Le capot de base 141 est assemblé sur un substrat 12, le capot de base et le substrat renferment une pluralité de cavités 15, chaque cavité 15 comportant un élément d'émission 11, par exemple une membrane. Chaque élément d'émission 11 s'étend selon un plan radial autour d'un centre 11c. L'ensemble formé par le capot de base, le substrat 12, la cavité 15 et la membrane 11 correspond à une source de lumière de base.
- [0168] Le capot auxiliaire 142 s'étend entre une deuxième face 172 et une face externe 16. Cette dernière fait l'objet d'une structuration, autour de centres 16c, distincts les uns des autres. La structuration comporte la réalisation d'au moins une partie périphérique 162 inclinée par rapport à des parties centrales, parallèles à la deuxième face 172, chaque partie centrale passant respectivement par chaque centre 16c. Le capot auxiliaire 142 est ensuite assemblé au capot de base 141, de telle sorte que la première face 171 soit disposée contre la deuxième face 172. L'assemblage est réalisé de telle sorte que chaque centre 11c d'un élément d'émission soit aligné avec un centre 16c de la face externe 16, parallèlement à l'axe transversal Z. Sur la [fig.11B], l'alignement

est matérialisé par un trait mixte. Un tel procédé permet une formation simultanée de plusieurs sources de lumière 10, ces dernières pouvant être séparées les unes des autres. Sur la [fig.11B], chaque source de lumière 10 est matérialisée par un cadre en pointillés.

- [0169] Les figures 12A à 12C schématisent un procédé de fabrication collective de sources de lumière 10A selon l'art antérieur, dites sources de lumière de base. Selon un tel procédé, chaque source de lumière de base est formée par un élément d'émission 11 (notamment une membrane), s'étendant selon un plan radial, dans une cavité 15 délimitée par un capot 14A et un substrat 12. Le capot 14A s'étend entre deux faces parallèles. Les figures 12B et 12C représentent une séparation de chaque source de lumière de base 10A, par une découpe du capot 14A (cf. [fig.12B]) puis du substrat ([fig.12C]). Sur la [fig.12C], on a matérialisé, par un cadre en pointillés, une source de lumière 10A ainsi obtenue.
- [0170] Les figures 13A à 13C représentent différentes façon de structurer une face externe 16, cette dernière pouvant être :
- [0171] – une face externe d'un substrat 14, ce dernier étant initialement tel que le substrat 14_A représenté sur la figure 12A ;
 - une face externe d'un substrat auxiliaire 14₂, tel que décrit en lien avec la figure 11B.
- [0172] Sur les figures 13A et 13B, la structuration est effectuée en mettant en œuvre un outil de coupe 41, tel que décrit en lien avec la figure 7A. Cela permet de ménager, sur une même face externe, différentes parties périphériques 162 s'étendant respectivement autour de différents parties centrales 161.
- [0173] Sur la figure 13C, la structuration est effectuée en mettant en œuvre un outil 44, comportant une lame 54 en forme de V. cela permet de former simultanément deux parties périphériques 162 sur la face externe. La figure 13D montre l'application d'un outil de coupe 44 sur un substrat 14, qui présente initialement une forme correspondant au substrat 14A représenté sur la [fig.12A].
- [0174] Les structurations représentées sur les figures 13A à 13C peuvent être effectuées sur la face externe 16₂ d'un capot décrit en lien avec la [fig.11B].
- [0175] Les figures 14A et 14B montrent un résultat de l'application de procédés de fabrication collective de sources de lumière 10. Les procédés de fabrication collective sont ceux décrits en lien avec la [fig.11B], ou 13A à 13D. Sur la [fig.14A], on a représenté une fabrication de sources de lumière selon le premier mode de réalisation. Sur la [fig.14B], on a représenté une fabrication de sources de lumière selon le deuxième mode de réalisation.
- [0176] L'invention pourra concerner des sources de lumière pour des capteurs de gaz, ces derniers appliqués à différents domaines, par exemple l'environnement, en particulier

le contrôle de la pollution atmosphérique, l'industrie, par exemple l'industrie chimique, pétrolière ou agroalimentaire, ou la santé.

Revendications

[Revendication 1]

Source de lumière infrarouge (10), comportant :

- un élément d'émission (11), s'étendant selon un plan radial (P_{XY}), autour d'un centre de l'élément d'émission (11_c), l'élément d'émission étant configuré pour s'échauffer, l'échauffement conduisant à une émission de lumière infra-rouge ;
- une cavité (15), dans laquelle s'étend l'élément d'émission, la cavité étant délimitée par un capot (14), disposé face à l'élément d'émission (11), le capot comportant une face interne (17), disposée en regard de l'élément d'émission (11) et une face externe (16), définissant une interface entre le capot (14) et un milieu extérieur à la source de lumière;
- le capot s'étendant, parallèlement à un axe transversal (Z), perpendiculaire au plan radial (P_{XY}), selon une épaisseur (e), entre la face interne (17) et la face externe (16);

la source de lumière étant caractérisée en ce que :

- la face externe comporte
 - une partie centrale plane (16_1), s'étendant autour d'un centre (16_c) de la face externe, le centre de la face externe étant aligné avec le centre de l'élément d'émission (11_c), selon l'axe transversal (Z) ;
 - au moins une partie périphérique ($16_2, 16_{2,1}, 16_{2,2}$), adjacente de la partie centrale, la partie périphérique étant inclinée par rapport à la partie centrale selon un angle d'inclinaison (θ) ;
- de telle sorte que dans la partie périphérique, l'épaisseur (e) du capot (14) diminue en fonction d'une distance par rapport à la partie centrale.

[Revendication 2]

Source de lumière selon la revendication 1, dans laquelle la partie périphérique ($16_2, 16_{2,1}, 16_{2,2}$) s'étendant de part et d'autre de la partie centrale (16_1).

[Revendication 3]

Source de lumière selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la partie périphérique ($16_2, 16_{2,1}, 16_{2,2}$) est inclinée, par rapport à la partie centrale (16_1), selon un angle d'inclinaison

- compris entre 5° et 30° , et de préférence compris entre 5° et 20° .
- [Revendication 4] Source de lumière selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle :
- la partie centrale (16₁) s'étend parallèlement à un axe longitudinal (Y) et à un axe latéral (X), l'axe longitudinal étant perpendiculaire à l'axe latéral ;
 - la partie périphérique (16₂, 16_{2.1}) s'étend parallèlement à un premier axe longitudinal (Y₁) et à un premier axe latéral (X₁);
 - le premier axe longitudinal (Y₁) est incliné, selon l'angle d'inclinaison (θ), par rapport à l'axe longitudinal (Y);
 - le premier axe latéral (X₁) est parallèle à l'axe latéral (X).
- [Revendication 5] Source de lumière selon la revendication 4, comportant une deuxième partie périphérique (16_{2.2}), adjacente de la partie centrale, de telle sorte que :
- la deuxième partie périphérique s'étend parallèlement à un deuxième axe longitudinal (Y₂) et un deuxième axe latéral (X₂);
 - le deuxième axe latéral (X₂) est incliné, selon un deuxième angle d'inclinaison (θ_2), par rapport à l'axe latéral (X);
 - le deuxième axe longitudinal (Y₂) est parallèle à l'axe longitudinal (Y).
- [Revendication 6] Source de lumière selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle la partie périphérique (16₂) s'étend selon une longueur comprise entre 5% et 50% d'une longueur du capot (14) la longueur étant déterminée parallèlement à l'axe latéral ou à l'axe longitudinal.
- [Revendication 7] Source de lumière selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle au moins une partie périphérique est inclinée, par rapport à la partie centrale, selon différents angles d'inclinaison (θ_1 , θ'_1), les angles d'inclinaison augmentant avec la distance par rapport à la partie centrale (16₁).
- [Revendication 8] Source de lumière selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la partie centrale (16) est centrée par rapport à l'élément d'émission (11), selon l'axe transversal (Z).

- [Revendication 9] Source de lumière selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle la face externe (16) s'étend, selon une longueur, le long d'un axe parallèle au plan radial (P_{XY}), comprise entre 500 μm et 2500 μm .
- [Revendication 10] Capteur de gaz (1), comportant une enceinte (2) configurée pour contenir un gaz, ainsi qu'une source de lumière (10) et au moins un photodétecteur (20), la source de lumière étant configurée pour émettre un rayonnement lumineux se propageant, à travers l'enceinte, vers le photodétecteur, la source de lumière étant une source de lumière selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.
- [Revendication 11] Capteur de gaz selon la revendication 10, dans lequel l'enceinte (2) est délimitée par au moins une première paroi réfléchissante (3_1), s'étendant perpendiculairement au plan radial (P_{XY}) de la source de lumière, parallèlement à l'axe transversal (Z).
- [Revendication 12] Capteur de gaz selon la revendication 11, dans lequel la face externe (16) du capot (14) de la source de lumière (10) comporte une partie centrale plane (16_1), s'étendant selon un plan parallèle au plan radial et passant par le centre de la face externe (16_c), et dans lequel :
- la partie centrale (16_1) s'étend parallèlement à un axe longitudinal (Y) et un axe latéral (X), l'axe longitudinal étant perpendiculaire à l'axe latéral;
 - la partie périphérique (16_2) s'étend parallèlement à un premier axe longitudinal (Y_1) et à un premier axe latéral (X_1) ;
 - le premier axe longitudinal (Y_1) est incliné, selon un angle d'inclinaison (θ), par rapport à l'axe longitudinal (Y) ;
 - le premier axe latéral (X_1) est parallèle à l'axe latéral (X);
- la source de lumière étant agencée de telle sorte que l'axe longitudinal (Y) est perpendiculaire à la première paroi réfléchissante.
- [Revendication 13] Capteur de gaz selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, dans lequel l'enceinte est délimitée par une deuxième paroi réfléchissante (3_2), s'étendant parallèlement à la première paroi réfléchissante, la source de lumière s'étendant entre les deux parois réfléchissantes.
- [Revendication 14] Capteur de gaz selon la revendication 13, dans lequel le centre de l'élément d'émission (11_c) de la source de lumière (10) est situé sur à égale distance de chaque paroi réfléchissante.
- [Revendication 15] Procédé de réalisation d'une source de lumière selon l'une quelconque

des revendications 1 à 9, comportant :

- a) obtention d'une source de lumière, la source de lumière comprenant un élément d'émission (11), s'étendant parallèlement à un plan radial (P_{XY}), et disposé dans une cavité (15) délimitée par un capot, le capot s'étendant entre une face interne (17), disposée face à l'élément d'émission, et une face externe (16), la face externe s'étendant parallèlement au plan radial (P_{XY}), autour d'un centre (16_c), la distance entre la face interne et la face externe définissant une épaisseur du capot ;
- b) usinage de la face externe (16), de façon à former, dans la face externe, au moins une partie périphérique, adjacente d'une partie centrale plane (16_l), passant par le centre de la face externe (16_c), et parallèle au plan radial, la partie périphérique étant inclinée par rapport à la partie centrale de telle sorte que dans la partie périphérique, l'épaisseur du capot diminue en fonction d'une distance par rapport au centre de la face externe.

[Revendication 16] Procédé selon la revendication 15, dans lequel l'usinage comporte l'application d'un outil de coupe (41, 42, 43, 44) comportant une lame inclinée par rapport au plan radial, contre la face externe du capot.

[Revendication 17] Procédé selon la revendication 16, comportant une translation de l'outil de coupe par rapport à la face externe (16).

[Revendication 18] Procédé selon l'une quelconque des revendications 16 à 17, comportant une utilisation successive de plusieurs outils de coupe, chaque outil de coupe comportant une lame inclinée par rapport au plan radial selon un angle d'inclinaison, les angles d'inclinaison de deux outils de coupes différents étant différents.

[Revendication 19] Procédé selon l'une quelconque des revendications 15 à 18, dans lequel :

- l'étape a) comporte une obtention d'une pluralité de sources de lumière, de telle sorte que les éléments d'émission respectifs de chaque source de lumière sont coplanaires, et s'étendent respectivement dans une cavité (15), les cavités respectives de chaque source de lumière étant délimitées par un même capot (14), chaque cavité étant centrée par rapport à un centre (16_c) de la face externe ;

- l'étape b) est mise en œuvre autour de chaque centre de la face externe, de façon à former, au niveau de chaque centre, au moins une partie périphérique, adjacente d'une partie centrale plane (16₁), passant par ledit centre de la face externe (16_c), et parallèle au plan radial, la partie périphérique étant inclinée par rapport à la partie centrale de telle sorte que dans la partie périphérique, l'épaisseur du capot diminue en fonction d'une distance par rapport au centre de la face externe.

[Revendication 20] Procédé de réalisation d'une source de lumière, comportant :

- i) obtention d'une source de lumière de base, la source de lumière de base comprenant un élément d'émission (11), s'étendant parallèlement à un plan radial (P_{XY}), autour d'un centre de l'élément d'émission (11_c), et disposé dans une cavité (15) délimitée par un capot de base (14₁), le capot de base s'étendant entre une face interne (17), disposée face à l'élément d'émission, et une première face (17₁), la première face du capot de base s'étendant parallèlement au plan radial ;
- ii) obtention d'un capot auxiliaire (14₂), s'étendant entre une deuxième face (17₂) et une face externe (16), la distance entre la deuxième face et la première face définissant une épaisseur du capot auxiliaire, la face externe comportant au moins un centre de la face externe (16_c);
- iii) usinage de la face externe du capot auxiliaire (14₂), de façon à ménager, dans la face externe (16), au moins une partie périphérique (16₂), adjacente d'une partie centrale plane (16₁), la partie centrale passant par le centre de la face externe (16_c), et étant parallèle à la deuxième face (17₂), la partie périphérique étant inclinée par rapport à la partie centrale de telle sorte que dans la partie périphérique, l'épaisseur du capot auxiliaire diminue en fonction d'une distance par rapport au centre de la face externe;
- iv) assemblage du capot auxiliaire contre le capot de base, la deuxième face étant au contact de la première face, l'assemblage étant effectué de telle sorte que le centre de la face externe soit aligné par rapport au centre de l'élément d'émission, parallèlement à un axe transversal perpendiculaire

au plan radial.

[Fig. 1A]

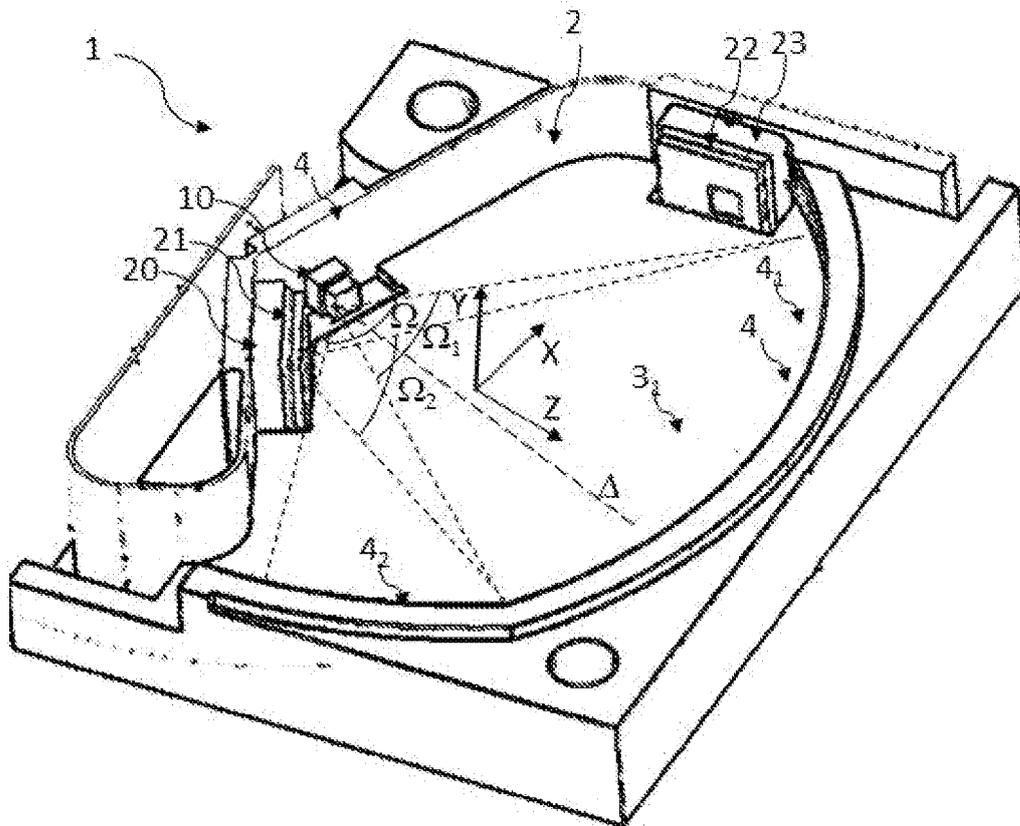


Fig. 1A

[Fig. 1B]

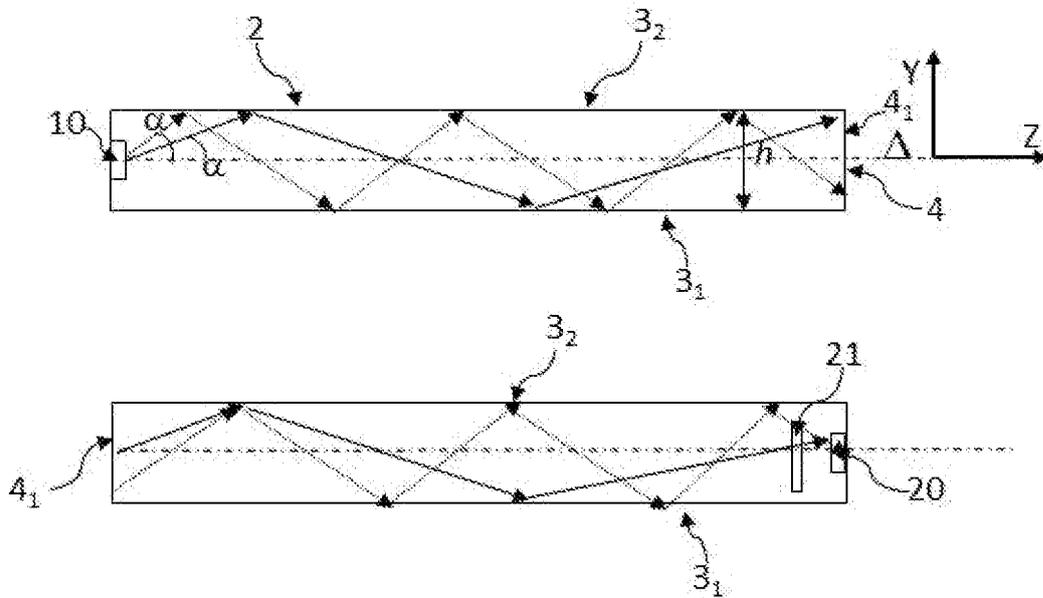
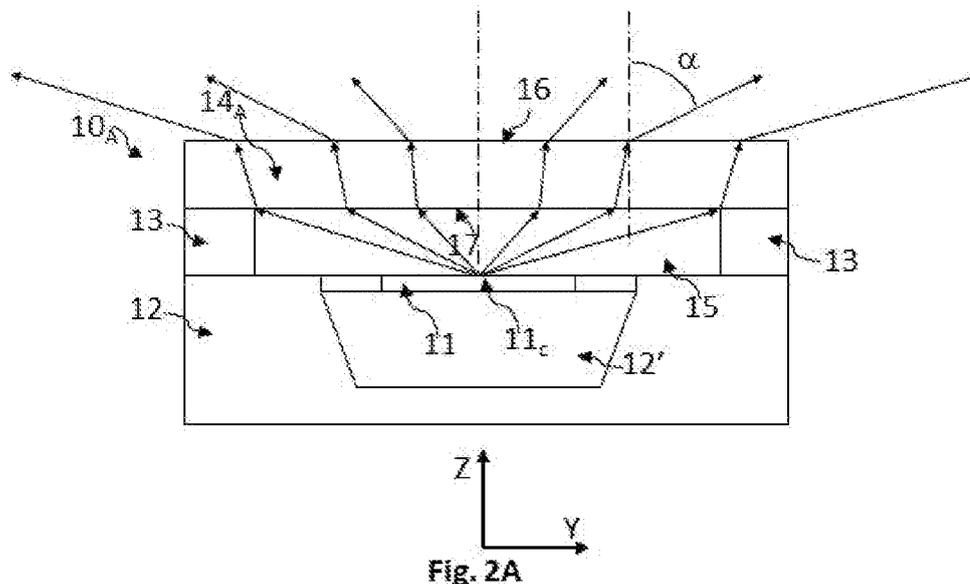
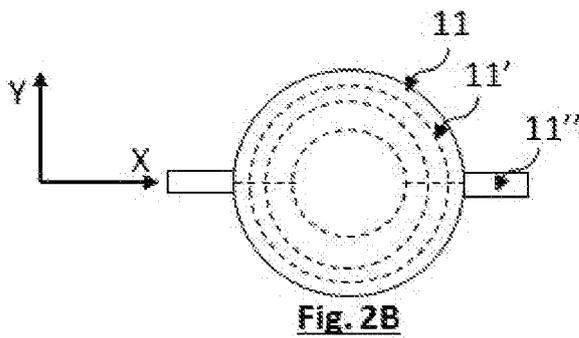


Fig. 1B

[Fig. 2A]



[Fig. 2B]



[Fig. 2C]

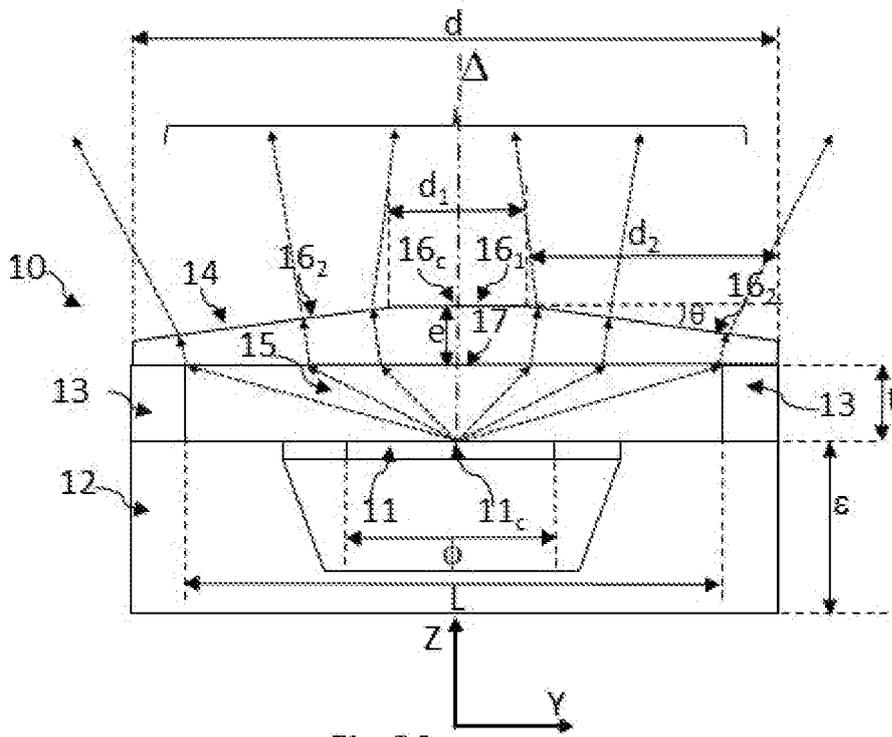


Fig. 2C

[Fig. 2D]

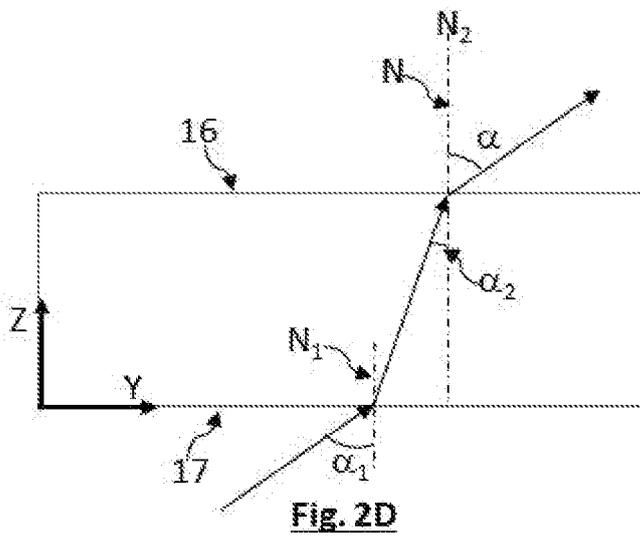
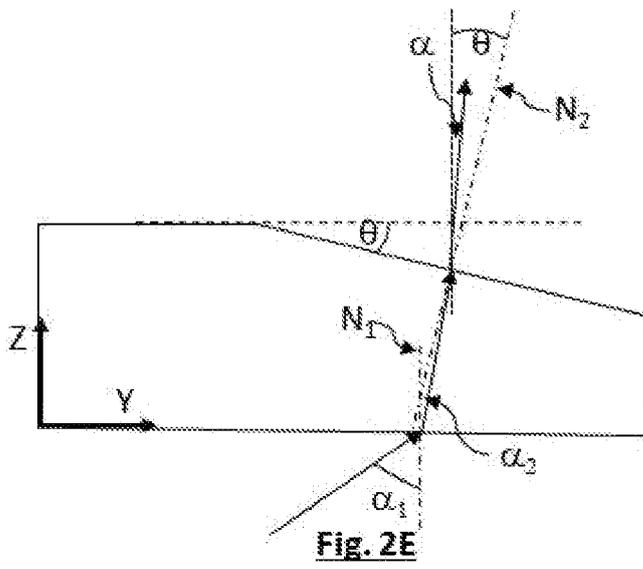
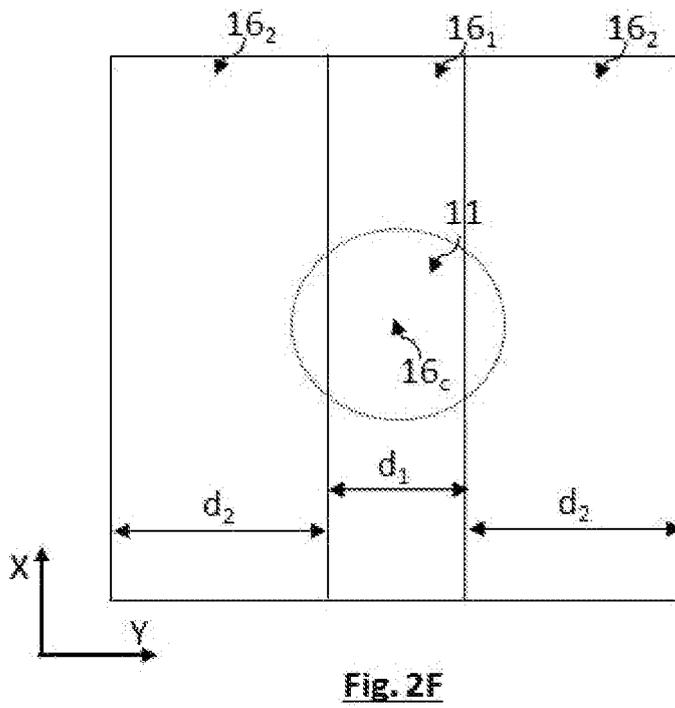


Fig. 2D

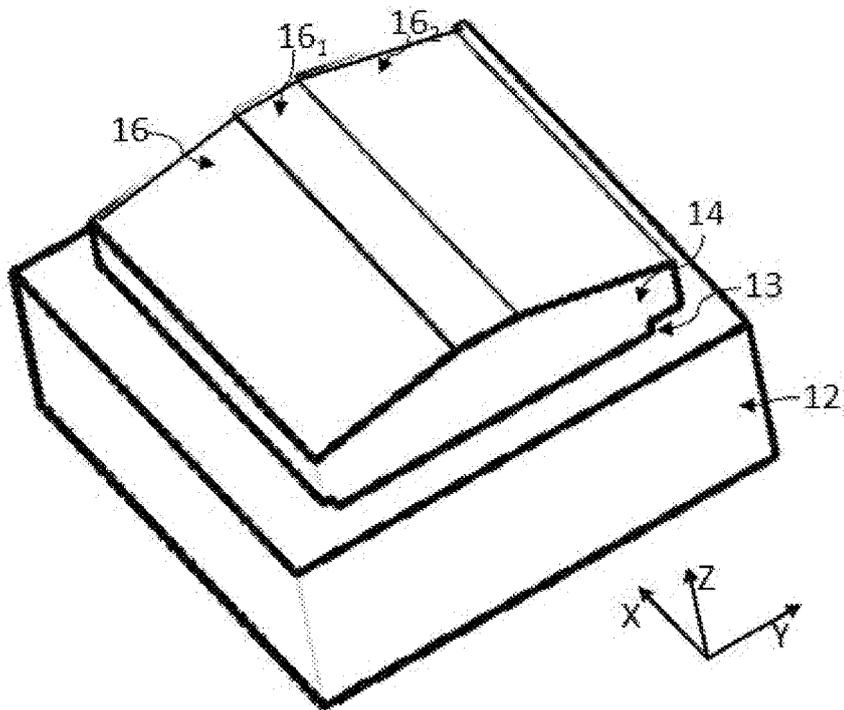
[Fig. 2E]



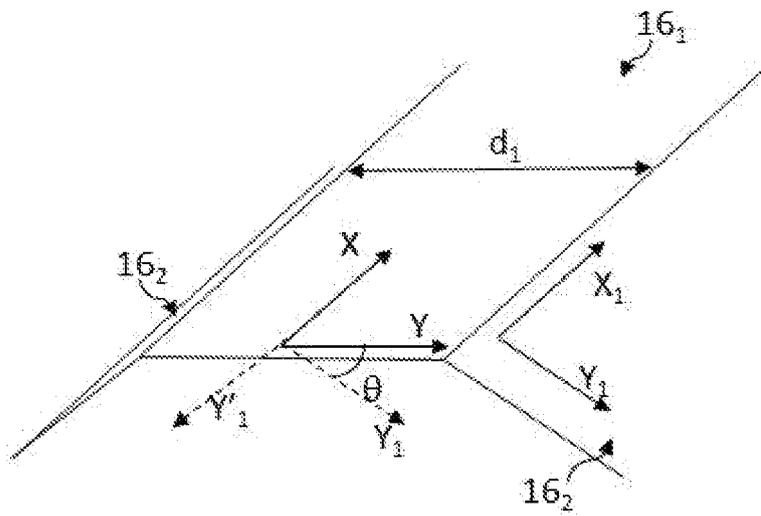
[Fig. 2F]



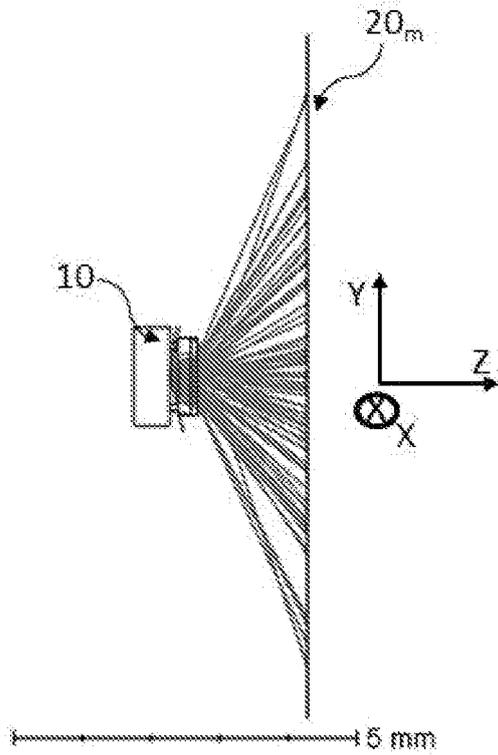
[Fig. 2G]

**Fig. 2G**

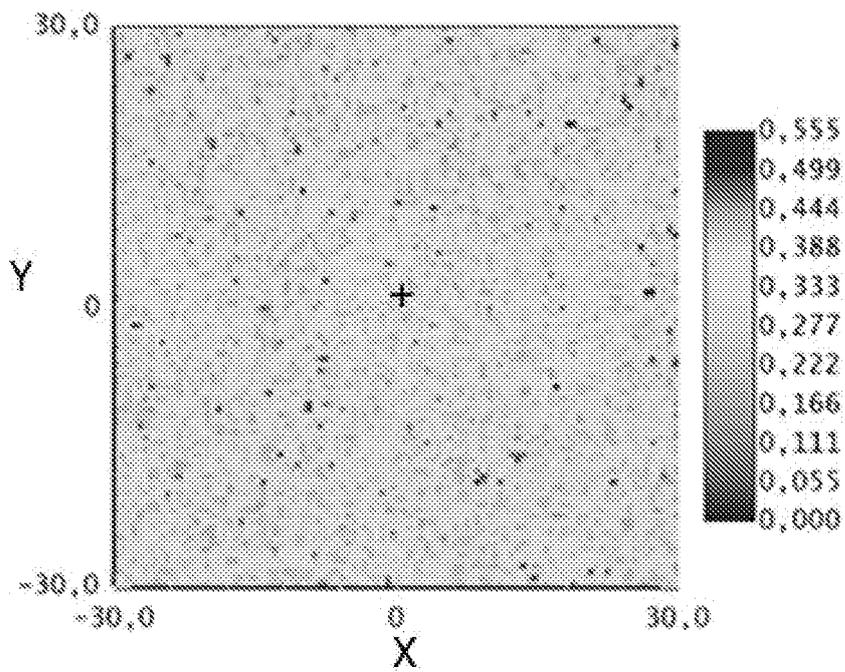
[Fig. 2H]

**Fig. 2H**

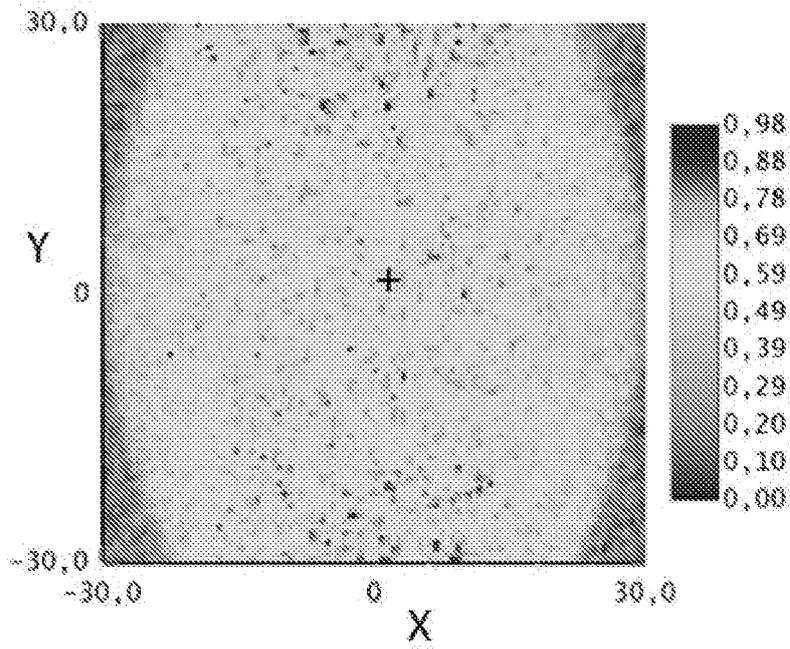
[Fig. 3A]

**Fig. 3A**

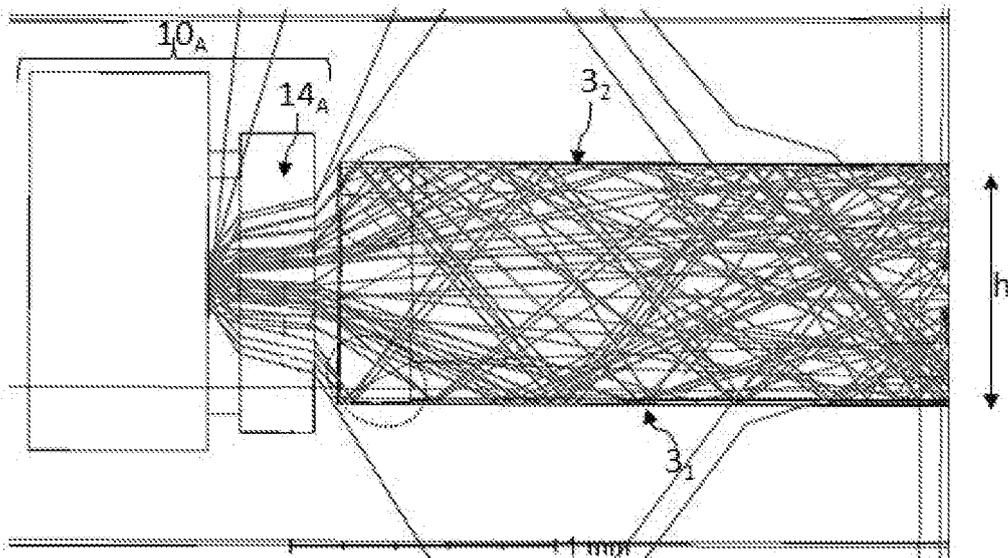
[Fig. 3B]

**Fig. 3B**

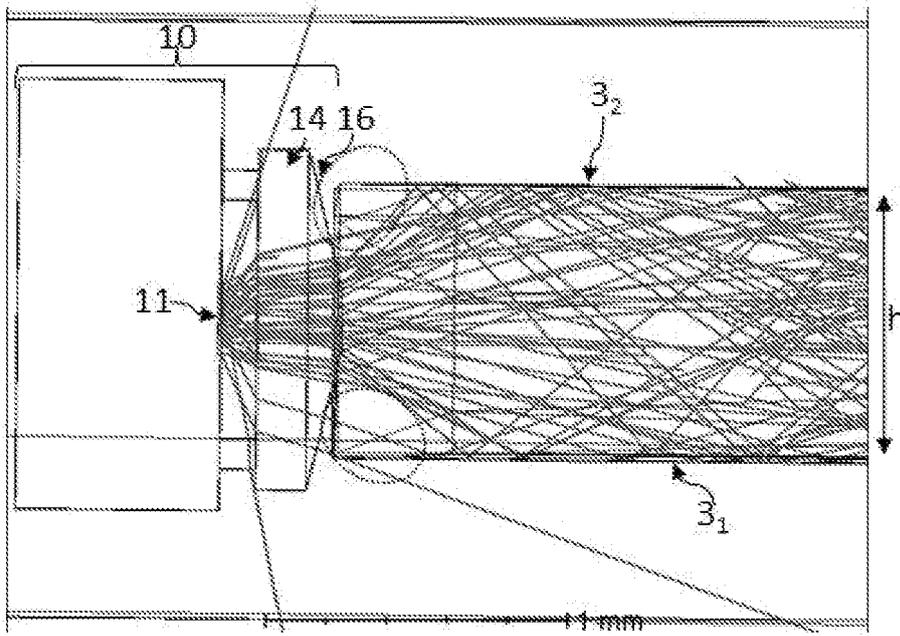
[Fig. 3C]

**Fig. 3C**

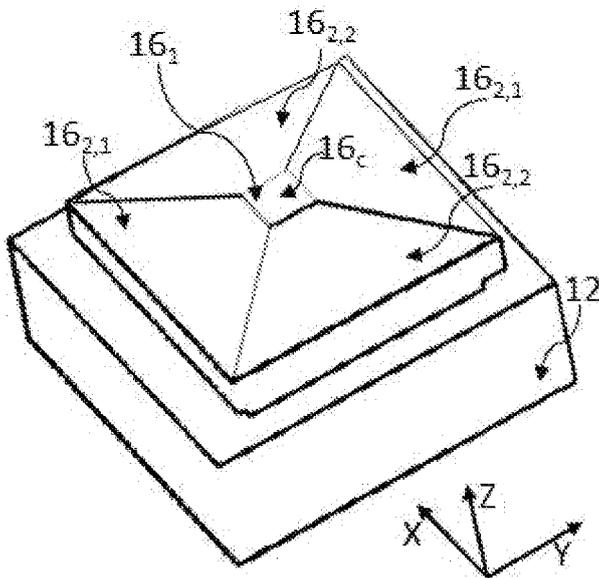
[Fig. 3D]

**Fig. 3D**

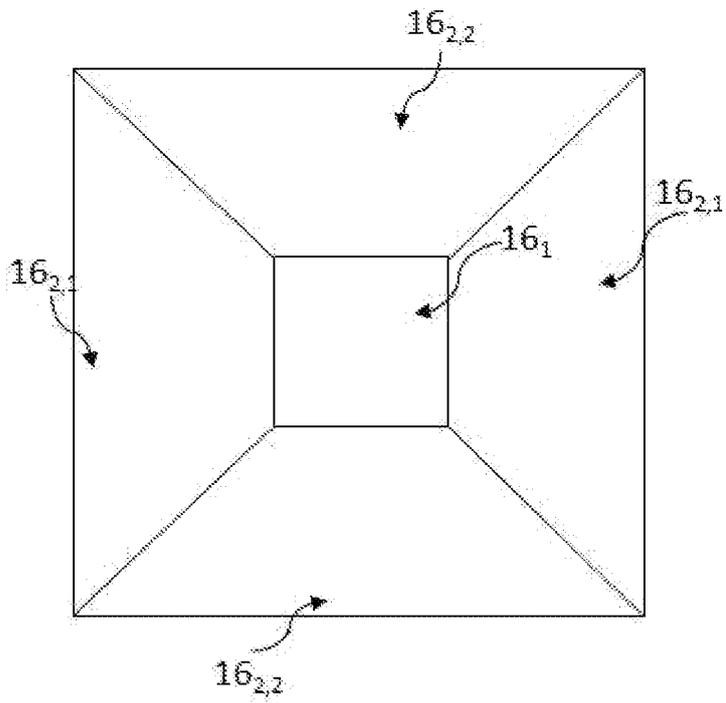
[Fig. 3E]

**Fig. 3E**

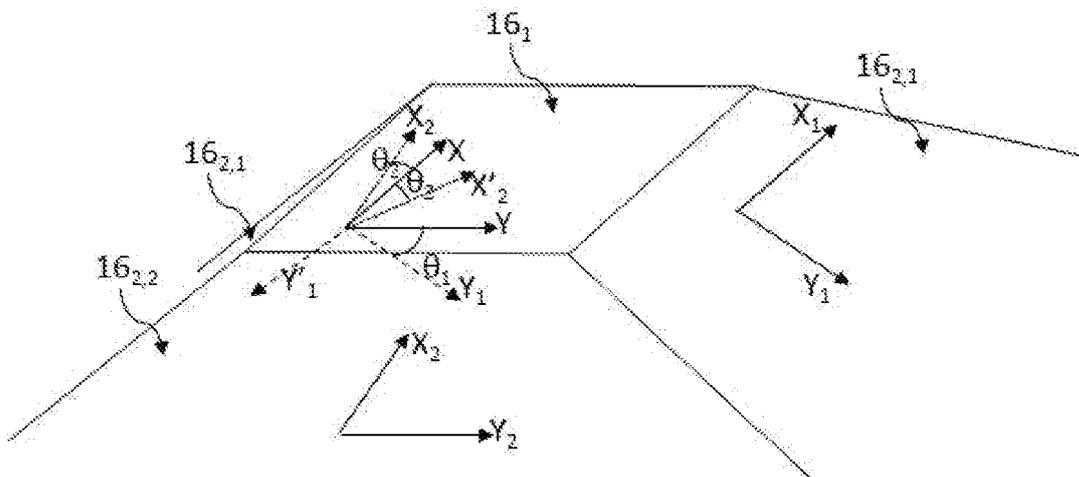
[Fig. 4A]

**Fig. 4A**

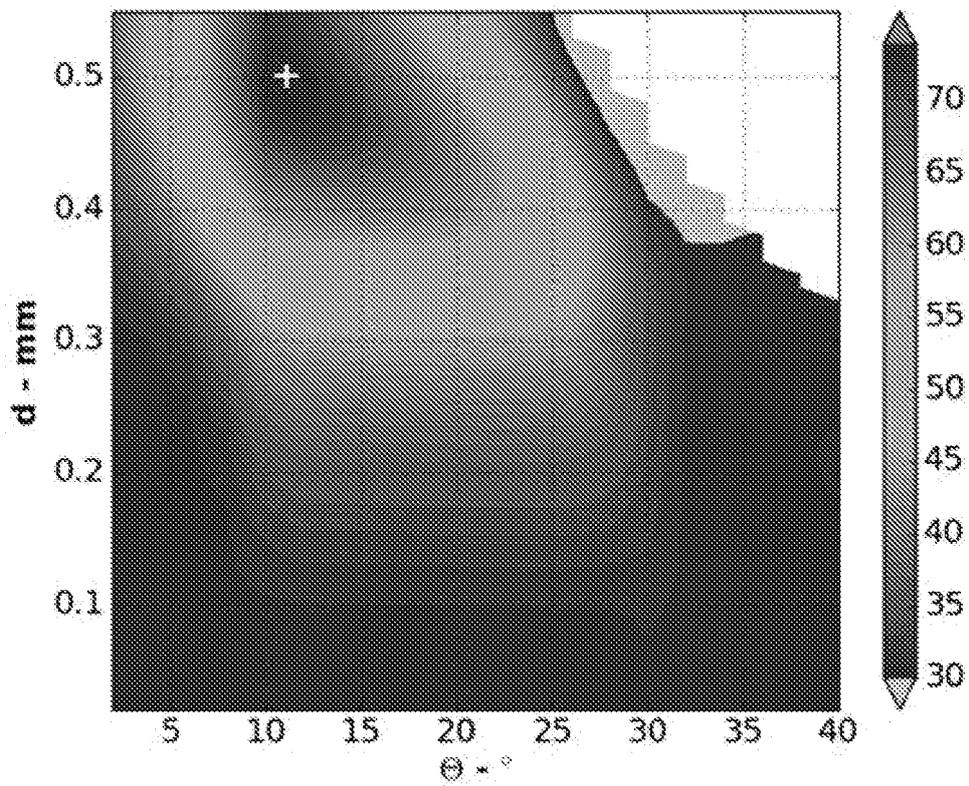
[Fig. 4B]

**Fig. 4B**

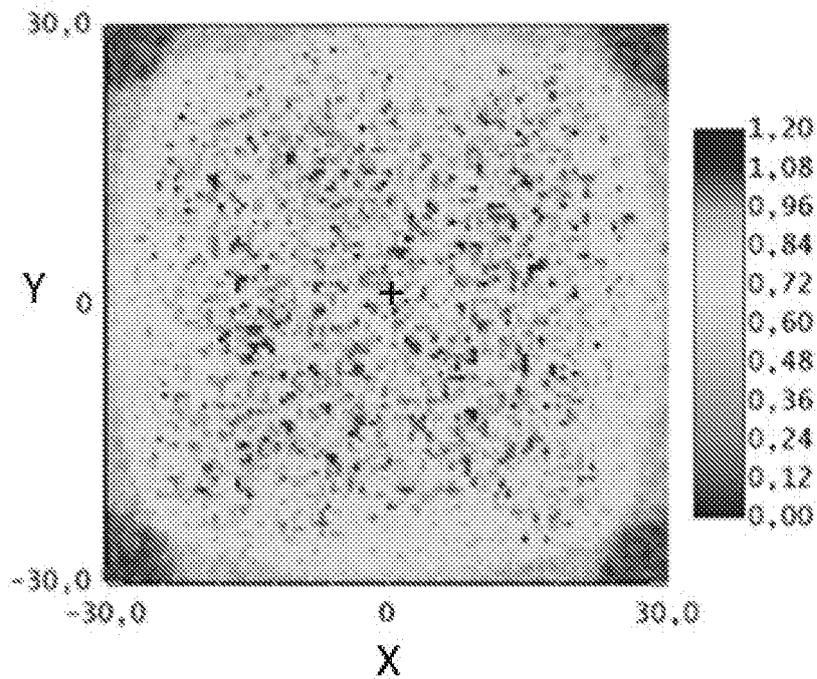
[Fig. 4C]

**Fig. 4C**

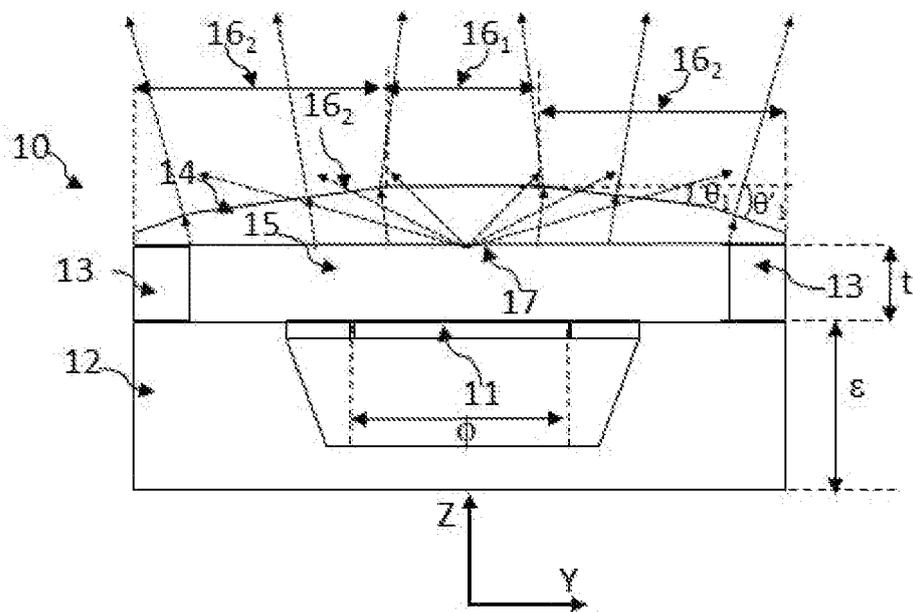
[Fig. 4D]

**Fig. 4D**

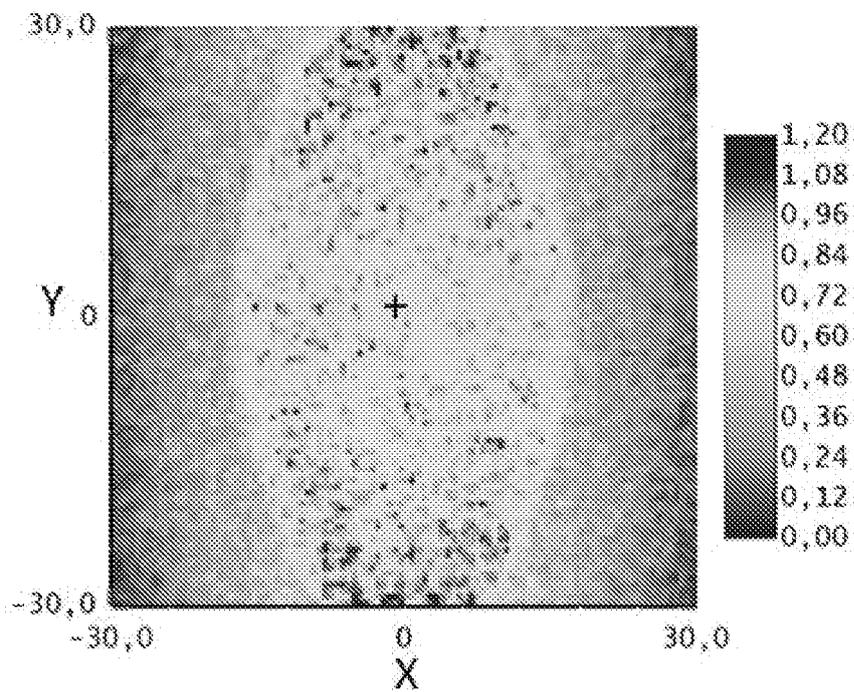
[Fig. 4E]

**Fig. 4E**

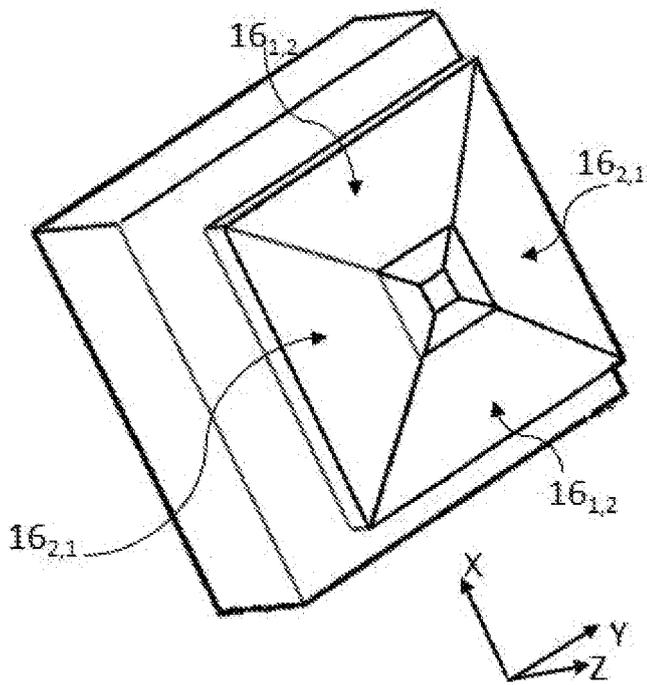
[Fig. 5A]

**Fig. 5A**

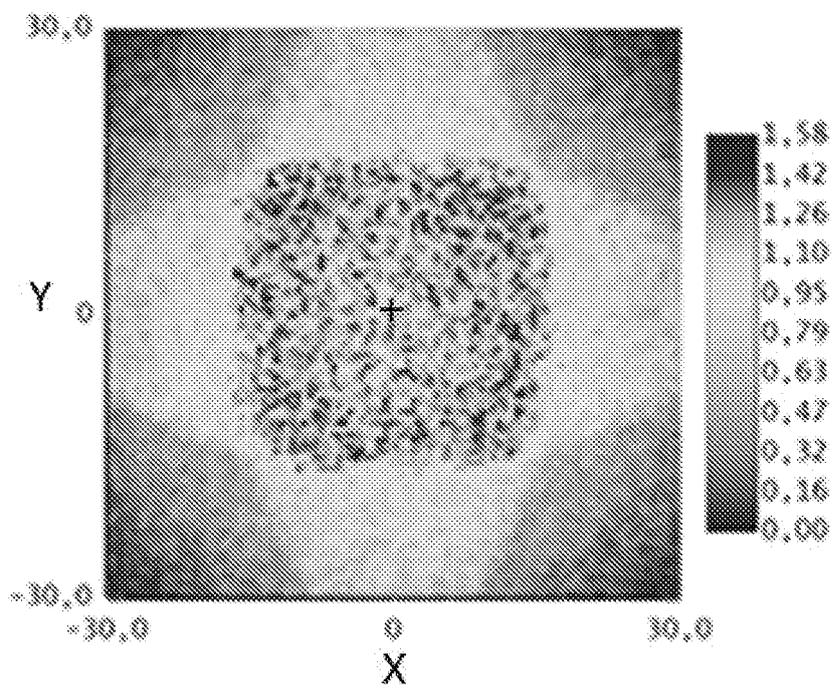
[Fig. 5B]

**Fig. 5B**

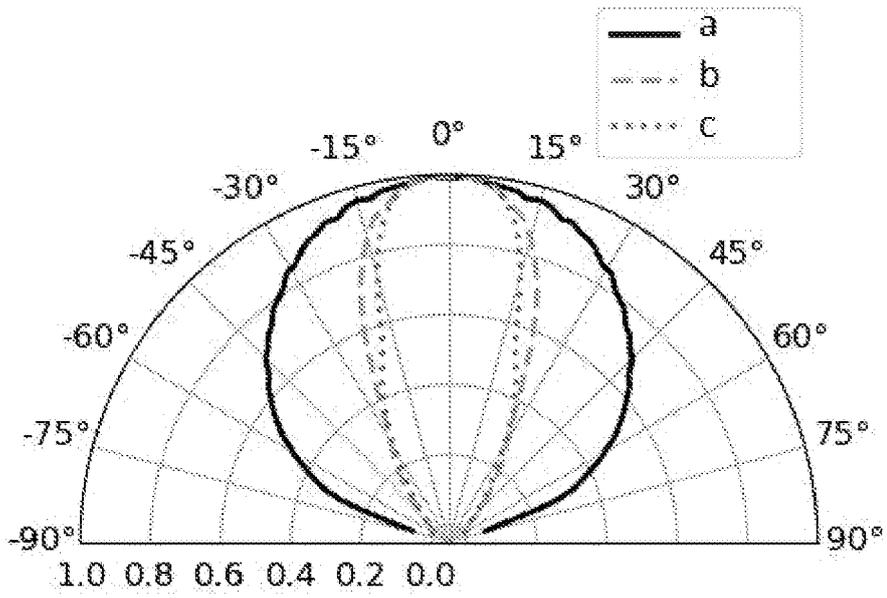
[Fig. 5C]

**Fig. 5C**

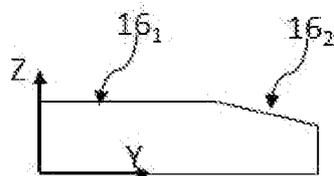
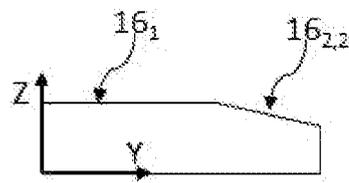
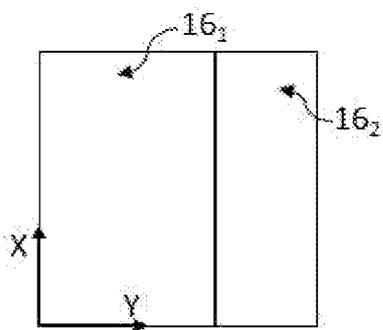
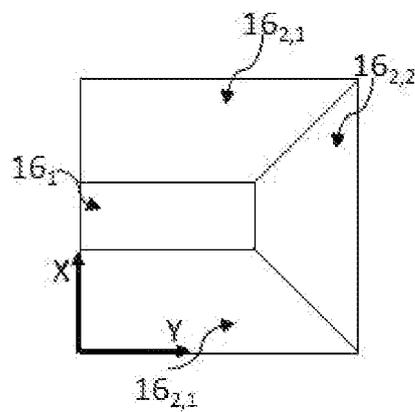
[Fig. 5D]

**Fig. 5D**

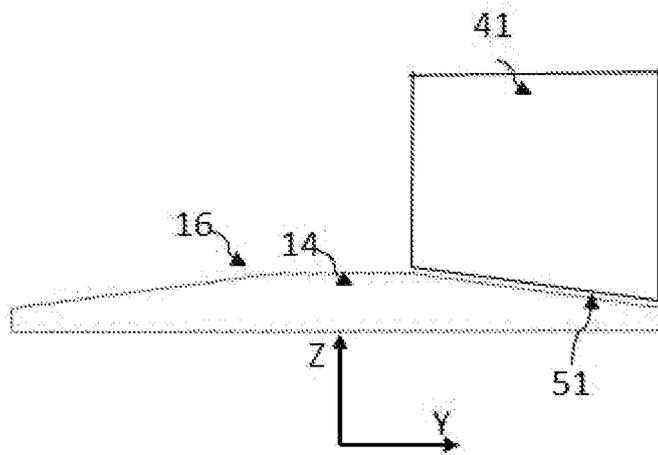
[Fig. 5E]

**Fig. 5E**

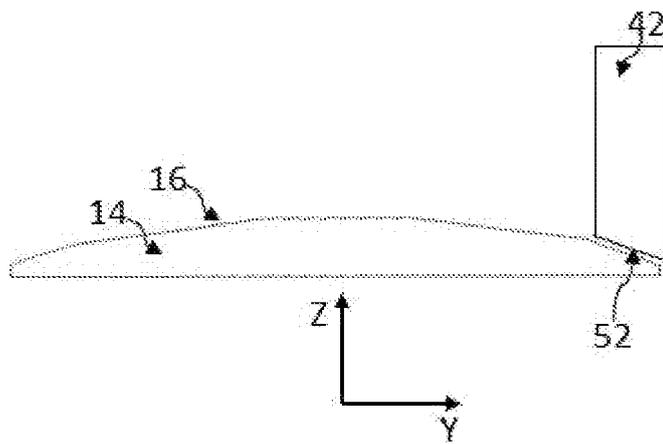
[Fig. 6]

**Fig. 6A****Fig. 6C****Fig. 6B****Fig. 6D**

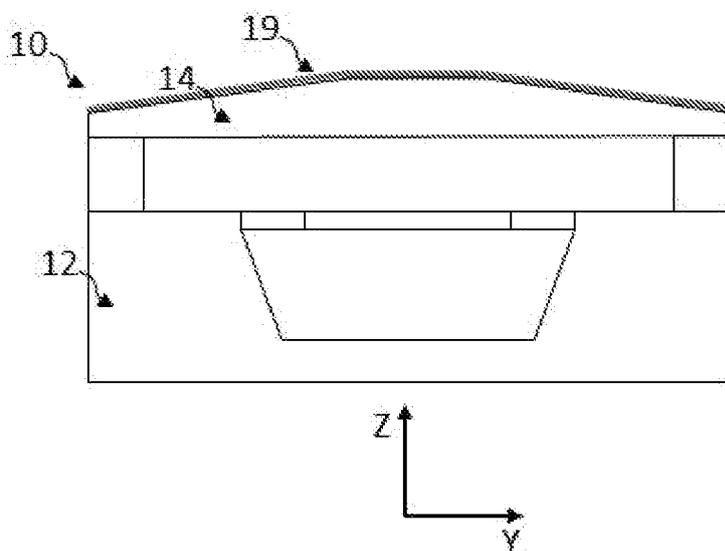
[Fig. 7]

**Fig. 7**

[Fig. 8]

**Fig. 8**

[Fig. 9]

**Fig. 9**

[Fig. 10]

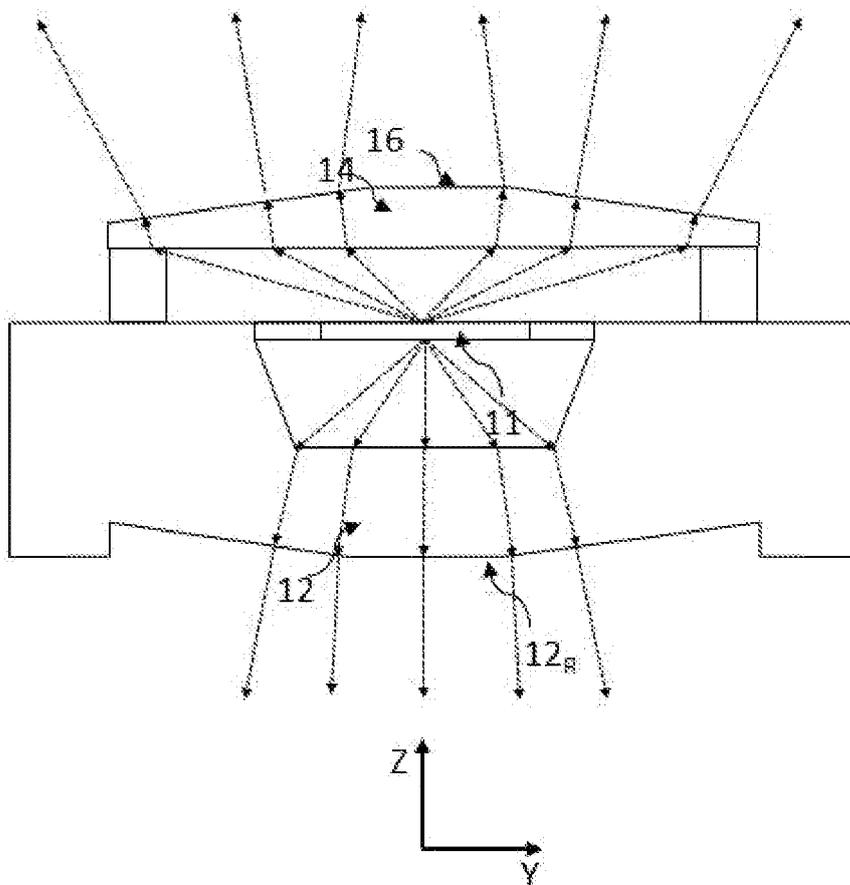


Fig. 10

[Fig. 11A]

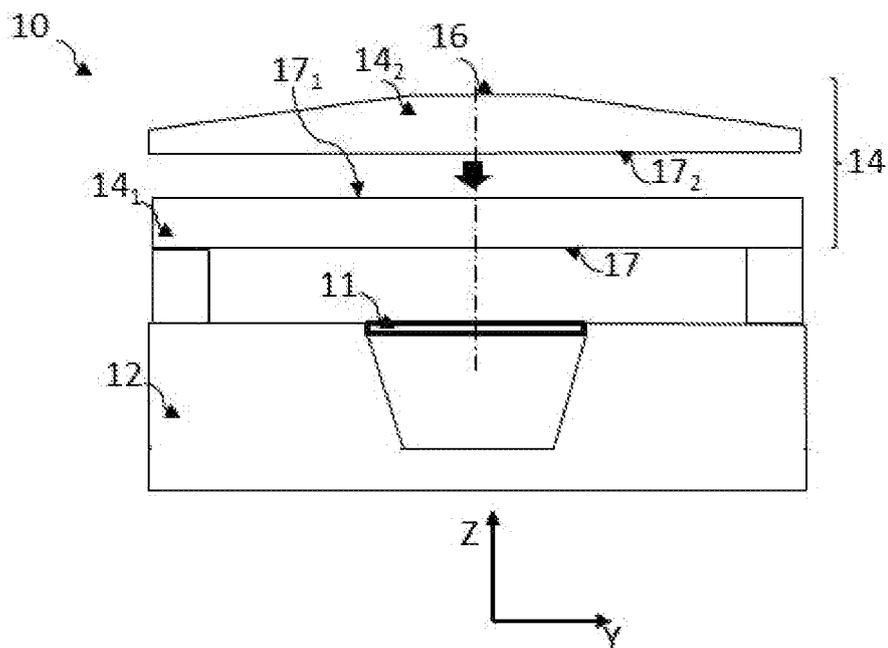


Fig. 11A

[Fig. 11B]

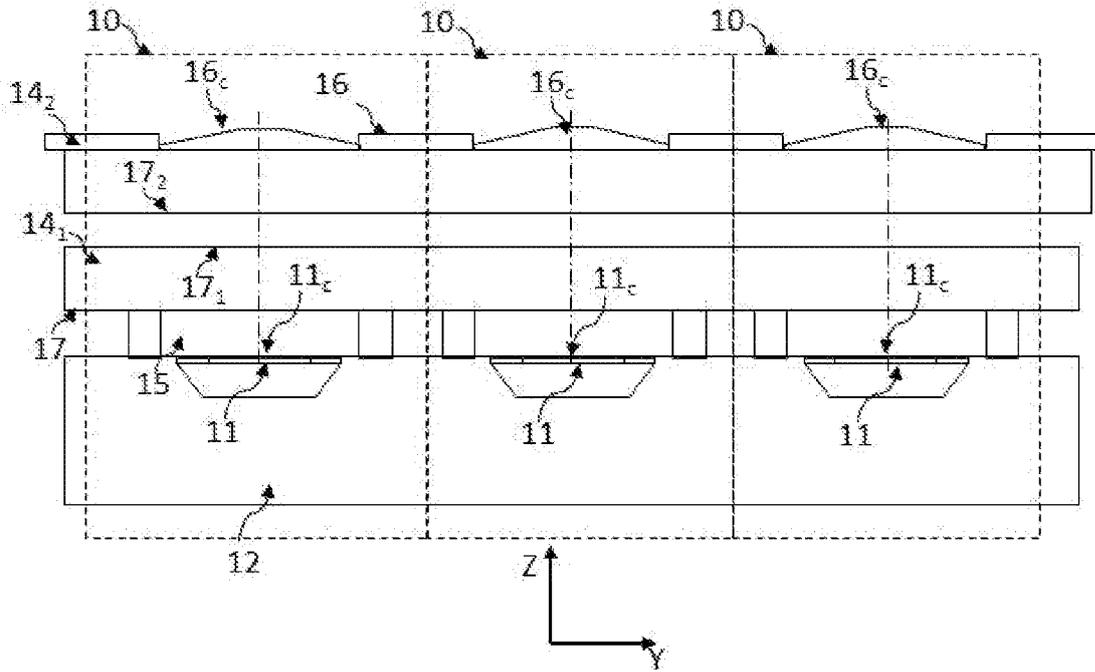


Fig. 11B

[Fig. 12A]

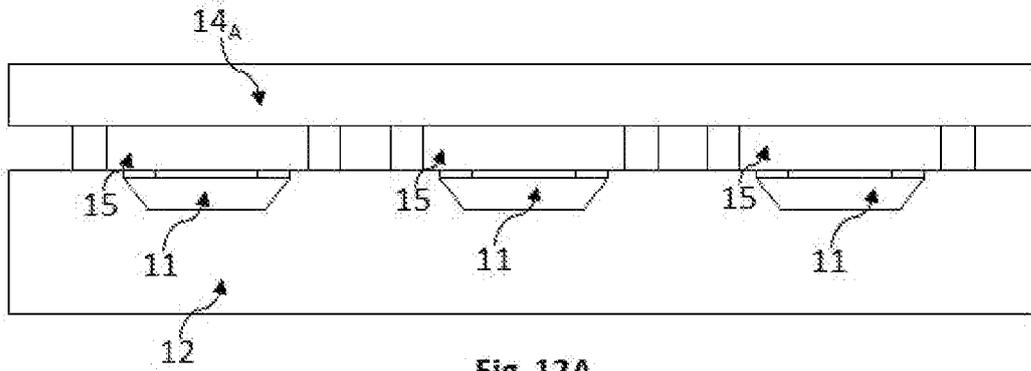


Fig. 12A

[Fig. 12B]

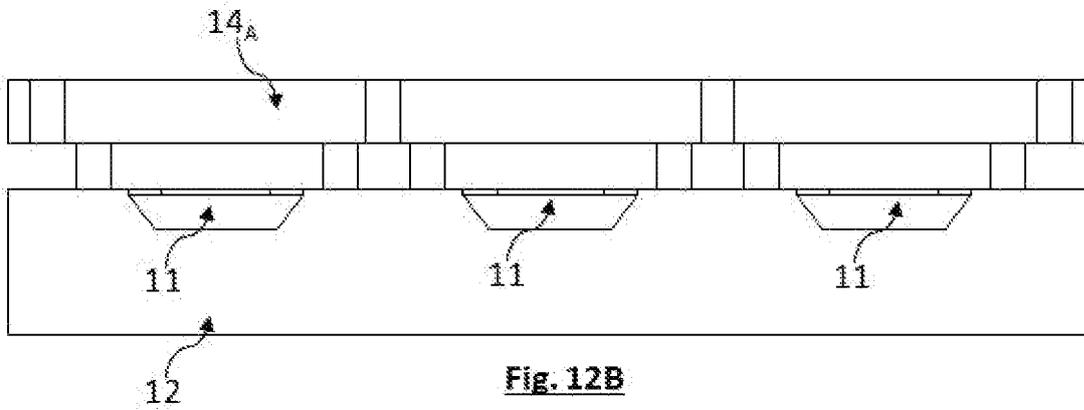


Fig. 12B

[Fig. 12C]

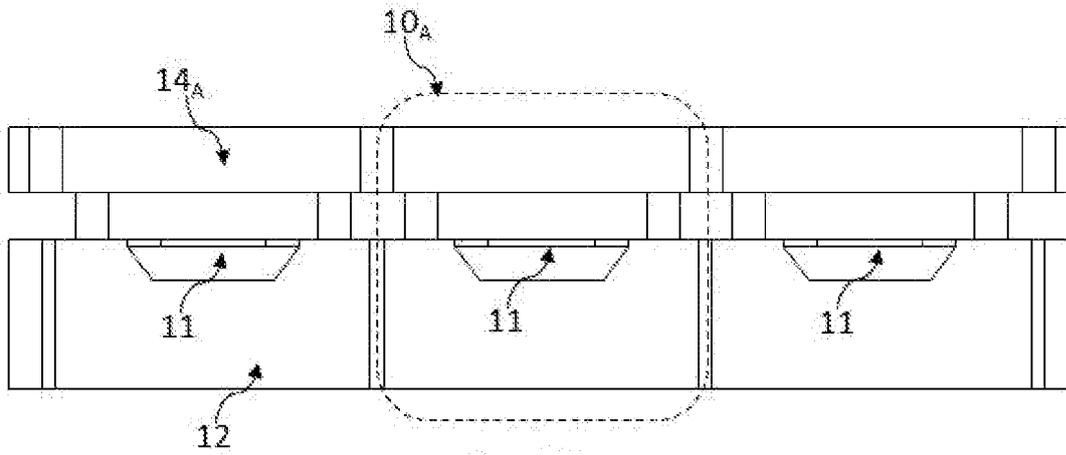


Fig. 12C

[Fig. 13]

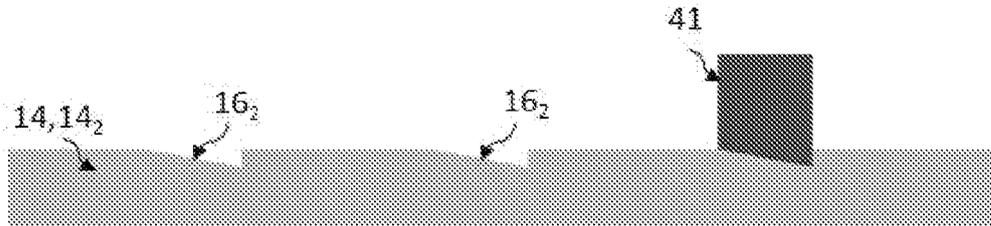


Fig. 13A

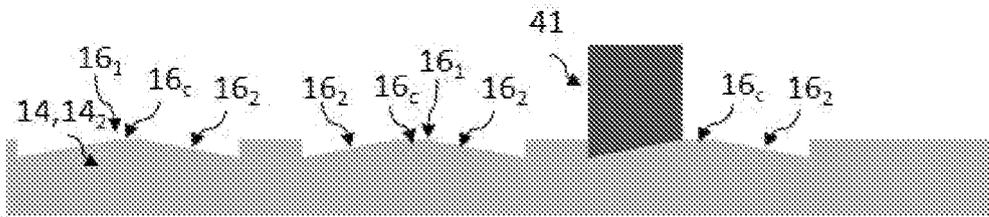


Fig. 13B

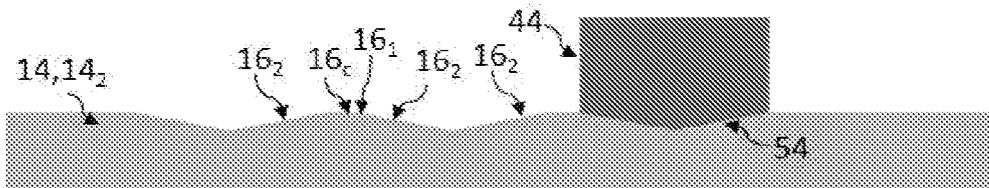


Fig. 13C

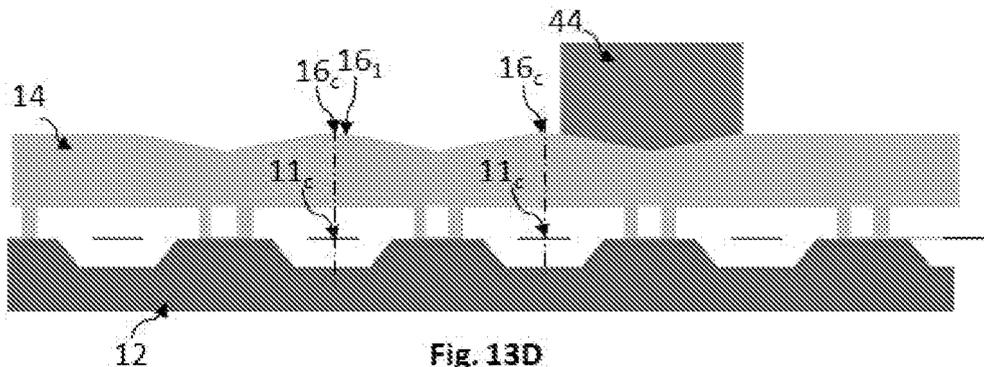
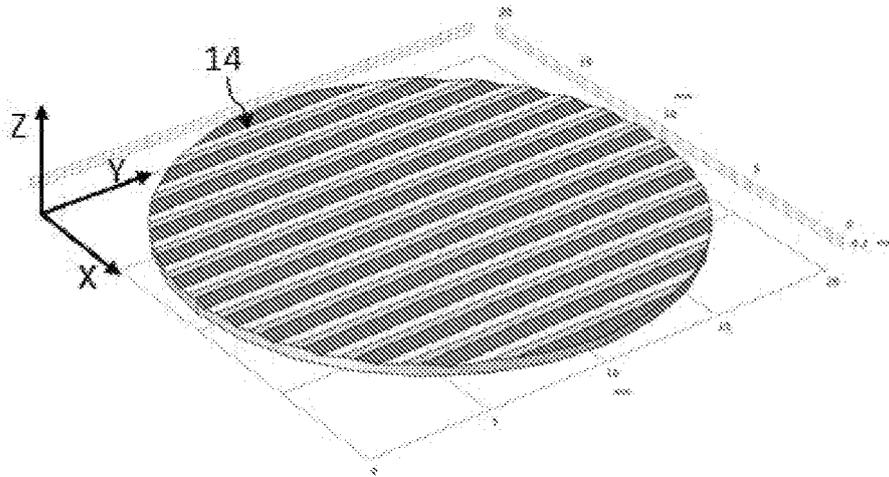
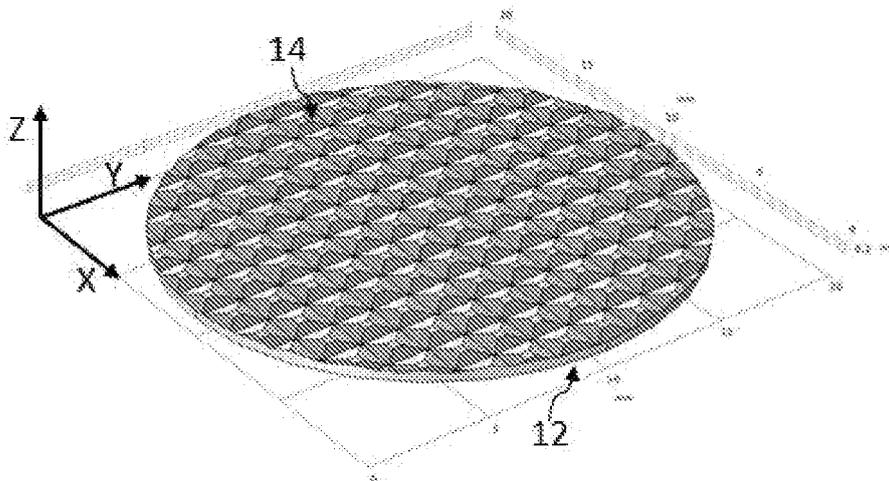


Fig. 13D

[Fig. 14A]

**Fig. 14A**

[Fig. 14B]

**Fig. 14B**

RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

NEANT

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

US 2015/192517 A1 (ANDRE LUC [FR])
9 juillet 2015 (2015-07-09)

EP 1 612 540 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE])
4 janvier 2006 (2006-01-04)

US 5 285 131 A (MULLER RICHARD S [US] ET
AL) 8 février 1994 (1994-02-08)

US 10 386 298 B2 (COMMISSARIAT ENERGIE
ATOMIQUE [FR]) 20 août 2019 (2019-08-20)

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

NEANT