

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 137 801

21 N° d'enregistrement national : 22 06925

51 Int Cl⁸ : H 01 S 5/34 (2022.01), G 01 N 21/350

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 06.07.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 12.01.24 Bulletin 24/02.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : *mirSense Société par actions simpli-
fiées (SAS) — FR.*

72 Inventeur(s) : Carras Mathieu, AOUST Guillaume et
BRUN Mickael.

73 Titulaire(s) : *mirSense Société par actions simplifiées
(SAS).*

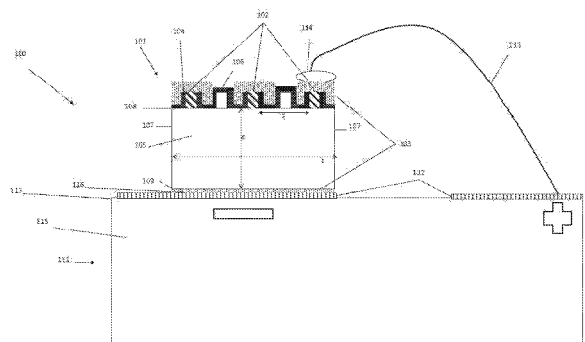
74 Mandataire(s) : CONDORCET IP.

54 Puce laser à semiconducteur pour capteur de gaz.

57 Puce laser à semi-conducteur (101) comprenant
Un substrat (105) comprenant : deux faces latérales
(107), une face inférieure (109), une face supérieure (108),
au moins deux lasers semi-conducteurs (102), ces deux la-
sers (102) étant répartis entre lesdites deux faces latérales
(102) avec un espacement (E) entre deux lasers (102) voi-
sins,

ledit substrat (101) présentant une largeur (l), cette lar-
geur étant la distance entre lesdites deux faces latérales
(107) du substrat (105,) et une épaisseur (e), cette épais-
seur (e) étant la distance mesurée entre la face inférieure
(109) et la face supérieure (108) du substrat (105) perpen-
diculairement à la largeur (l), ladite largeur (l) étant infé-
rieure ou égale à 4 fois l'épaisseur (e).

Figure de l'abrégé : Figure 2



FR 3 137 801 - A1



Description

Titre de l'invention : Puce laser à semiconducteur pour capteur de gaz

Domaine technique

- [0001] La présente invention se rapporte au domaine des lasers à semiconducteur, et plus particulièrement des puces laser à semiconducteur, notamment pour des capteurs de gaz.
- [0002] De manière générale, les puces laser à semiconducteur sont obtenues par une suite complexe d'étapes de dépôt de couches sur un substrat monocristallin (aussi appelé substrat dans la présente description) formant une plaquette (appelée en général wafer en anglais) et par découpe de cette plaquette pour obtenir des puces laser. Ce dépôt de couches est réalisé soit par épitaxie en phase liquide ou gazeuse, soit par jet moléculaire sur le substrat. Le substrat est constitué d'un cristal pur (en général InP ou InAs ou GaAs ou autre matériau semiconducteur). Une unité laser est généralement une portion parallélépipédique de la plaquette, et est obtenue par une série d'étapes de gravure chimique ou physicochimiques et de dépôt de matériaux pouvant être non cristallins ou cristallins destinés à constituer la cavité laser ainsi que le réseau de diffraction et structurer l'unité laser.
- [0003] Il existe différents types de puces laser à semiconducteur, notamment des puces laser à cascade quantique, ou puces QCL pour l'anglais *Quantum Laser Cascade*. Une puce laser à cascade quantique comprend deux électrodes pour appliquer un champ électrique entre les deux électrodes, un guide d'ondes disposé entre les électrodes et une unité laser qui correspond à une structure comprenant une région à gain formée de plusieurs couches qui comprennent par exemple une alternance de strates d'un premier type définissant chacune une barrière quantique et de strates d'un second type définissant chacune un puits quantique, ces strates étant constituées de premier et second matériaux semiconducteurs, respectivement constitutifs des barrières et des puits. L'unité laser à cascade quantique comporte en outre deux couches de confinement optique disposées de part et d'autre de la région à gain. L'unité laser forme un barreau qui s'étend au moins partiellement sur la longueur de la puce laser à semiconducteur.
- [0004] Une fois que la puce laser est fabriquée, elle est en général clivée parallèlement au barreau formé par les unités laser sur le substrat. Ceci permet de fixer la largeur de la puce laser. Elle est ensuite clivée perpendiculairement au barreau pour permettre de réaliser les facettes qui jouent le rôle de miroir. Ces clivages consistent à casser le cristal du substrat sur lequel les unités lasers ont été déposées suivant un axe cristallin, c'est-à-dire un axe s'étendant sur l'épaisseur du substrat, pour obtenir une surface

miroir quasi-parfaite. Cette cassure est généralement réalisée en rayant la surface du substrat comprenant les unités laser puis en appliquant une pression de part et d'autre de la rayure de sorte à casser le cristal suivant cet axe cristallin.

[0005] Le coût global de production d'une puce laser à semiconducteur est défini notamment par l'équation suivante : Surface de matériau utilisé pour fabriquer une puce laser / Rendement de production de la puce laser à semiconducteur x Coût de fabrication de la puce laser clivée.

[0006] Il est entendu que :

- La surface de matériau utilisé est définie par la surface de matériau (substrat et couches déposées) utilisé pour fabriquer la puce laser,
- Le rendement de production de la puce laser à semiconducteur est défini par le ratio du nombre d'unités laser fonctionnelles sur le nombre d'unités laser maximum pouvant être produite sur la puce laser,
- Le coût de fabrication de la puce laser clivée correspond au coût de mise en œuvre du procédé utilisé pour la fabrication de ladite puce laser.

[0007] Ainsi, plus la surface de matériau utilisé est grande, et/ou plus le rendement de production de la puce laser à semiconducteur est faible, et/ou plus le coût de fabrication de la puce laser est élevé.

[0008] Il existe dans l'art antérieur des puces laser comprenant une seule unité laser. De telles puces laser à semiconducteur présentent un rendement de production non optimisé. En effet, il n'y a qu'une unité laser fonctionnelle et la surface de la puce laser à semiconducteur n'est pas exploitée au maximum. Autrement dit, une partie de la surface de la puce laser est perdue.

[0009] Il existe également dans l'art antérieur des puces laser à semiconducteur comprenant plusieurs unités laser qui sont configurées par exemple pour émettre chacune une longueur d'onde qui leur est propre. Par exemple, le document US7826509 décrit une puce laser comprenant plusieurs unités laser dont la largeur est de 2 mm typiquement. Cette géométrie est proposée dans des capteurs portables à large bande afin de détecter simultanément un grand nombre de composés chimiques. L'utilisation d'une telle surface de matériau est particulièrement coûteuse.

[0010] La présente invention vise à réduire le coût global de production d'une puce laser à semiconducteur en maximisant le nombre d'unité laser sur la plus petite puce laser obtenue par clivage.

Résumé

[0011] Dans la présente description, les termes puce, puce laser et puce laser à semiconducteur sont utilisés de manière interchangeable, les termes ensemble et ensemble puce-embase sont utilisés de manière interchangeable et les termes unité laser et unité laser à semiconducteur sont utilisés de manière interchangeable.

[0012] Dans la présente description, on peut indexer certains éléments ou paramètres, comme par exemple première unité ou deuxième unité ainsi que premier paramètre et deuxième paramètre ou encore premier critère et deuxième critère, etc. Dans ce cas, il s'agit d'un simple indexage pour différencier et dénommer des éléments ou paramètres ou critères proches mais non identiques. Cette indexation n'implique pas une priorité d'un élément, paramètre ou critère par rapport à un autre et on peut aisément interchanger de telles dénominations sans sortir du cadre de la présente description. Cette indexation n'implique pas non plus un ordre dans le temps par exemple pour apprécier tel ou tel critère.

[0013] La présente invention porte sur une puce laser à semiconducteur comprenant :

- Un substrat comprenant :
 - deux faces latérales,
 - une face inférieure,
 - une face supérieure,
- au moins deux unités laser à semi-conducteurs, ces deux unités laser étant réparties entre lesdites deux faces latérales avec un espacement entre deux unités laser voisines,

ledit substrat présentant une largeur, cette largeur étant la distance entre lesdites deux faces latérales dudit substrat, et une épaisseur, cette épaisseur étant la distance entre la face inférieure et la face supérieure dudit substrat perpendiculairement à la largeur du substrat, ladite largeur étant inférieure ou égale à 4 fois l'épaisseur de dudit substrat.

[0014] Dans un aspect selon l'invention, la face inférieure et la face supérieure sont deux faces opposées du substrat. Les qualificatifs inférieure et supérieure sont des conventions pour distinguer ces deux faces.

[0015] Dans un aspect selon l'invention, les deux faces latérales sont deux faces opposées du substrat.

[0016] Par largeur, il est ici entendu la distance entre les deux faces latérales du substrat entre lesquelles les unités laser à semi-conducteur sont réparties avec un espacement entre deux unités laser voisines, autrement dit les unités laser sont disposées en différents emplacements espacés par un espacement entre deux unités laser voisines dans la dimension de la largeur du substrat.

[0017] Par épaisseur, il est ici entendu la distance entre la face inférieure et la face supérieure du substrat, ladite face inférieure étant configurée pour être posée sur une embase et la face supérieure étant opposée à ladite face inférieure.

[0018] Par longueur, il est ici entendu la distance entre deux autres faces du substrat qui sont chacune en jonction avec l'une des deux faces latérales, la face inférieure et la face supérieure du substrat, et sur laquelle s'étendent au moins partiellement les unités laser.

[0019] La présence d'au moins deux unités laser dans ladite puce laser permet notamment

d'exploiter quasiment l'intégralité de la surface de la puce laser. Autrement dit, très peu de surface du substrat, et donc de la puce laser, est perdue. En effet, les unités laser sont réparties sur la largeur du substrat, une seule puce comprend ainsi plusieurs unités laser. Le rendement de production de ladite puce laser est donc optimisé.

- [0020] Dans un aspect selon l'invention, la largeur de la puce laser est identique à la largeur du substrat.
- [0021] Dans un aspect selon l'invention, le substrat présente une largeur inférieure ou égale à 3,5 fois l'épaisseur dudit substrat, de préférence inférieure ou égale à 3 fois l'épaisseur dudit substrat, de préférence inférieure ou égale à 2,5 fois l'épaisseur dudit substrat, de préférence inférieure ou égale à 2 fois l'épaisseur dudit substrat, de préférence inférieure ou égale à 1,5 fois l'épaisseur.
- [0022] De cette manière, la surface de matériau utilisée pour la production de la puce laser est réduite ce qui conduit à une réduction du coût de production de la puce laser, et la largeur du substrat de la puce laser à semiconducteur est suffisamment élevée pour éviter que ladite puce laser ne soit endommagée lors de l'étape de clivage qui peut provoquer une cassure de la puce. Ce ratio largeur/épaisseur du substrat confère donc à ladite puce laser une résistance mécanique suffisante pour ne pas subir de cassures lors de l'étape de clivage. La plus petite puce laser clivable est ainsi obtenue.
- [0023] Dans un aspect selon l'invention, la largeur du substrat est comprise entre 150 μm et 1 mm, de préférence entre 150 μm 750 μm , de préférence comprise entre 150 μm et 500 μm , de préférence entre 150 μm et 400 μm , de préférence entre 150 μm et 350 μm , de préférence entre 150 μm et 300 μm , de préférence entre 150 μm et 250 μm , de préférence entre 200 μm et 250 μm , de préférence égale à 250 μm .
- [0024] Dans un aspect selon l'invention, l'épaisseur du substrat est comprise entre 50 μm et 350 μm , de préférence entre 75 μm 300 μm , de préférence entre 100 μm et 200 μm , de préférence entre 100 μm et 150 μm , de préférence entre 120 μm et 150 μm .
- [0025] Dans un aspect selon l'invention, la longueur du substrat est comprise entre 0.5 mm et 5 mm, de préférence entre 1mm et 3,5mm, de préférence entre 2mm et 3mm.
- [0026] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend au moins trois unités laser, ces trois unités laser étant réparties entre les deux faces latérales du substrat avec un espacement entre deux unités lasers voisines. Autrement dit, les au moins trois unités laser sont réparties sur la largeur du substrat. Autrement dit, les au moins trois unités laser sont réparties sur la largeur de la puce laser.
- [0027] Dans un aspect selon l'invention, les unités laser sont disposées sur une des faces du substrat.
- [0028] Dans un aspect selon l'invention, les unités laser sont disposées sur la face inférieure du substrat. Dans un autre aspect selon l'invention, les unités laser sont disposées sur la face supérieure du substrat.

- [0029] Dans un autre aspect selon l'invention, les unités laser sont enterrées dans le substrat. Dans cet aspect selon l'invention, la puce laser comprend au moins une couche de matériau isolant électriquement de part et d'autre des unités laser. Par exemple, le matériau isolant est de l'InP (phosphure d'indium) semi-isolant. L'InP semi-isolant est par exemple un InP dit dopé, auquel des impuretés telles que du Fer sont ajoutées. De cette manière, les unités laser sont isolées électriquement les unes des autres.
- [0030] Dans un aspect selon l'invention, les unités laser sont plus proches de la face supérieure du substrat que de la face inférieure du substrat. Il est ici entendu soit que les unités laser sont enterrées dans le substrat plus proche de la face supérieure que de la face inférieure dudit substrat, soit que les unités laser sont disposées sur la face supérieure de dudit substrat de la puce laser.
- [0031] Dans un aspect selon l'invention, les unités laser sont plus proches de la face inférieure du substrat que de la face supérieure dudit substrat. Il est ici entendu soit que les unités laser sont enterrées dans le substrat plus proche de la face inférieure que de la face supérieure dudit substrat, soit que les unités laser sont disposées sur la face inférieure du substrat.
- [0032] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend au moins deux électrodes de polarité différente configurées pour permettre le passage d'un courant électrique dans au moins une unité laser de la puce laser. Lesdites au moins deux électrodes sont configurées pour être en contact électrique avec ladite au moins une unité laser.
- [0033] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend au moins une électrode de polarité positive et au moins une électrode de polarité négative, lesdites électrodes étant configurées pour être en contact électrique avec au moins une unité laser de manière à permettre le passage d'un courant électrique dans ladite au moins une unité laser.
- [0034] Dans un aspect selon l'invention, au moins une électrode d'une polarité donnée est disposée sur au moins une unité laser.
- [0035] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend autant d'électrodes de polarité positive qu'elle comprend d'unités laser. Autrement dit, chaque électrode positive est en contact électrique avec une unité laser distincte. Par exemple, la puce laser comprend une unité laser et une électrode de polarité positive, ou encore la puce comprend deux unités laser et deux électrodes de polarité positive, ou encore la puce comprend trois unités laser et trois électrodes de polarité positive, ou encore N la puce comprend N unité laser et N électrodes de polarité positive.
- [0036] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend autant d'électrodes de polarité négative qu'elle ne comprend d'unités laser. Autrement dit, chaque électrode négative est en contact électrique avec une unité laser distincte. Par exemple, la puce laser comprend une unité laser et une électrode de polarité négative, ou encore la puce

comprend deux unités laser et deux électrodes de polarité négative, ou encore la puce comprend trois unités laser et trois électrodes de polarité négative ou encore N la puce comprend N unité laser et N électrodes de polarité négative.

- [0037] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend une électrode de polarité positive configurée pour être en contact électrique avec toutes des unités laser à la fois.
- [0038] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend une électrode de polarité négative configurée pour être en contact électrique avec toutes des unités laser à la fois.
- [0039] Dans un aspect selon l'invention, au moins une électrode est disposée sur la face inférieure du substrat.
- [0040] Dans un aspect selon l'invention, toutes les électrodes d'une même polarité sont disposées sur la même face du substrat.
- [0041] Dans un aspect selon l'invention, les électrodes sont configurées pour être connectées électriquement avec une embase, notamment avec des pistes électriques d'une embase.
- [0042] Dans un aspect selon l'invention, l'espacement entre deux unités laser voisines réparties entre les deux faces latérales du substrat est compris entre 10 μ m et 150 μ m, de préférence entre 20 μ m et 150 μ m, de préférence entre 30 μ m et 150 μ m, de préférence entre 30 μ m et 150 μ m, de préférence entre 40 μ m et 150 μ m, de préférence entre 50 μ m et 150 μ m, de préférence entre 75 μ m et 125 μ m, de préférence égal à 100 μ m. Autrement dit, dans la largeur de la puce, l'espacement entre deux unités laser voisines est compris entre 75 et 150 μ m, de préférence entre 75 μ m et 125 μ m, de préférence égal à 100 μ m. De cette manière, l'espacement entre deux unités laser voisines est configuré pour que les électrodes d'une même face ne soient pas connectées électriquement les unes aux autres.
- [0043] Dans un aspect selon l'invention, l'espacement entre deux unités laser voisines réparties entre les deux faces latérales du substrat est constant. Autrement dit, lorsque la puce laser comprend N unités laser, N étant supérieur ou égale à deux, l'espacement entre une première unité laser et une deuxième unité laser dans la largeur du substrat est le même que l'espacement entre ladite deuxième unité laser et une troisième unité laser qui est le même que l'espacement entre la N-1^{ème} unité laser et la N^{ème} unité laser.
- [0044] Dans un aspect selon l'invention, l'espacement entre au moins deux unités laser voisines réparties entre les deux faces latérales du substrat varie. Autrement dit, l'espacement entre une première unité laser et une deuxième unité laser dans la largeur du substrat est différent de l'espacement entre ladite deuxième unité laser et une troisième unité laser.
- [0045] Dans un aspect selon l'invention, les électrodes sont formées par un dépôt de matériau électriquement conducteur sur le substrat, notamment un matériau métallique,

configuré pour être en contact électrique avec au moins une unité laser. Par exemple, ledit matériau métallique électriquement conducteur est choisi parmi l'or, le cuivre, l'argent ou l'aluminium.

- [0046] Dans un aspect selon l'invention, le substrat comprend au moins un matériau semi-conducteur de type InP (phosphure d'indium) ou GaAs (L'arséniure de gallium) ou GaSb (antimoniure de gallium) ou InAs (arséniure d'indium) ou Silicium.
- [0047] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend au moins une couche électriquement isolante, ladite couche électriquement isolante étant configurée pour isoler électriquement les unités laser les unes disposées sur une même face du substrat des autres. De cette manière, les unités laser sont chacune traversée par un courant électrique qui leur est propre.
- [0048] Dans un aspect selon l'invention, la couche électriquement isolante est obtenue par dépôt d'un matériau électriquement isolant sur le substrat. Par exemple, le matériau électriquement isolant est choisi parmi le silicone ou encore le caoutchouc.
- [0049] Dans un aspect selon l'invention, la couche électriquement isolante est disposée entre la face supérieure du substrat et au moins une électrode disposée sur ladite face supérieure.
- [0050] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend au moins un muret entre deux électrodes, ledit muret étant recouvert par ladite couche électriquement isolante. Le muret permet d'aplanir la surface de la puce laser notamment lorsque les unités lasers sont sur la face supérieure ou inférieure du substrat.
- [0051] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser est une puce laser à cascade quantique. Autrement dit, les au moins deux unités laser sont des unités laser à cascade quantique.
- [0052] Dans un aspect selon l'invention, les unités laser sont configurées pour émettre un rayonnement lumineux en régime impulsionnel. Ceci permet notamment de réduire la consommation en énergie pour alimenter lesdites unités laser par rapport à un régime continu. Le rendement des unités laser (énergie optique / énergie électrique requise) est donc amélioré.
- [0053] Dans un aspect selon l'invention, au moins une unité laser est configurée pour émettre un rayonnement lumineux à une longueur d'ondes dans l'infrarouge, de préférence dans le moyen infrarouge.
- [0054] Dans un aspect selon l'invention, au moins une unité laser est configurée pour émettre un rayonnement lumineux dans une gamme de longueurs d'onde comprise entre 3 et 15 microns, de préférence entre 4 et 10 microns.
- [0055] Dans un aspect selon l'invention, toutes les unités laser de la puce laser sont configurées pour émettre un rayonnement lumineux à une même longueur d'ondes.
- [0056] Dans un aspect selon l'invention, au moins deux unités laser de la puce laser sont

configurées pour émettre un rayonnement lumineux à des longueurs d'onde différentes.

- [0057] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend N unités laser, N étant supérieur ou égal à deux, au moins une desdites unités laser étant configurée pour être traversée par un courant électrique suffisamment faible pour permettre de générer de la chaleur sans émettre de rayonnement lumineux, et au moins une autre unité laser étant configurée pour être traversée par un courant électrique suffisamment fort pour générer un rayonnement lumineux.
- [0058] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend au moins N unités laser, N étant supérieur ou égal à deux, au moins deux unités laser étant configurés pour émettre un rayonnement lumineux à une longueur d'onde donnée dans des conditions atmosphériques différentes, notamment à des températures différentes.
- [0059] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser est configurée pour faire fonctionner seulement la ou les unités laser émettant le rayonnement lumineux à la longueur d'onde donnée aux conditions atmosphériques l'environnant, notamment à la température l'environnant.
- [0060] L'invention porte également sur un ensemble puce-embase comprenant :
- Au moins une puce laser à semi-conducteur telle que décrite précédemment,
 - Une embase sur laquelle est montée ladite puce laser.
- [0061] Autrement dit, l'ensemble puce-embase comprend une puce laser telle que décrite précédemment, ladite puce étant disposée sur l'embase. Autrement dit, la puce laser et l'embase sont superposées.
- [0062] Dans un aspect selon l'invention, la face inférieure du substrat de la puce laser fait face à l'embase. Autrement dit, la face inférieure du substrat de la puce laser est disposée sur l'embase et la face supérieure du substrat est opposée à l'embase.
- [0063] Dans un aspect selon l'invention, l'électrode disposée sur la face inférieure du substrat est disposée sur l'embase.
- [0064] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser est fixée sur l'embase, par exemple par soudage ou par collage.
- [0065] Dans un aspect selon l'invention, l'embase comprend au moins une base comprenant un matériau ayant des propriétés de dissipation thermique choisi parmi le cuivre, l'AlN.
- [0066] Dans un aspect selon l'invention, l'embase comprend un élément de gestion thermique, notamment un élément Pelletier.
- [0067] L'embase a notamment pour fonction la gestion thermique de la puce laser. Elle permet en effet une bonne dissipation de la chaleur.
- [0068] Dans un aspect selon l'invention, la base de l'embase est de forme parallélogramme.

- [0069] Dans un aspect selon l'invention, la base de l'embase comprend une face supérieure, une face inférieure, et deux faces latérales, la face supérieure étant opposée à la face inférieure. Les qualificatifs inférieure et supérieure sont des conventions pour distinguer ces deux faces.
- [0070] Dans un aspect selon l'invention, les unités laser de la puce laser sont plus proches de la face inférieure du substrat de la puce laser, et donc plus proche de l'embase que de la face supérieure du substrat de la puce laser.
- [0071] Dans un aspect selon l'invention, les unités laser de la puce laser sont plus proches de la face supérieure du substrat de la puce laser que de la face inférieure du substrat de la puce laser, et donc de l'embase.
- [0072] Dans un aspect selon l'invention, l'embase comprend au moins deux pistes électriques de polarité différente, chacune des pistes électriques étant configurée pour être en contact électrique avec au moins une électrode de même polarité de la puce laser.
- [0073] Dans un aspect selon l'invention, les pistes électriques sont configurées pour être en contact électrique avec au moins une unité laser.
- [0074] Dans un aspect selon l'invention, ladite au moins une unité laser est configurée pour être en contact électrique avec au moins deux électrodes de la puce laser, lesdites électrodes étant reliées électriquement aux pistes électriques. De cette manière, les unités lasers sont configurées pour être en contact électrique avec l'embase, plus particulièrement avec lesdites pistes électriques de l'embase.
- [0075] Dans un aspect selon l'invention, l'embase comprend autant de pistes électriques d'une polarité donnée que la puce laser comprend d'électrodes de la même polarité. Autrement dit, l'embase comprend autant de pistes électriques de polarité positive que la puce laser comprend d'électrodes de polarité positive, et l'embase comprend autant de pistes électriques de polarité négative que la puce comprend d'électrodes de polarité négative.
- [0076] Dans un aspect selon l'invention, l'embase comprend une piste électrique de polarité positive configurée pour être en contact électrique avec toutes les électrodes de polarité positive de la puce laser.
- [0077] Dans un aspect selon l'invention, l'embase comprend une piste électrique de polarité négative configurée pour être en contact électrique avec toutes les électrodes de polarité négative de la puce laser.
- [0078] Dans un aspect selon l'invention, chacune des pistes électriques est disposée sur la base de l'embase.
- [0079] Dans un aspect selon l'invention, chacune des pistes électriques est disposée sur une même face de la base de l'embase, notamment sur la face supérieure de ladite base.
- [0080] Dans un aspect selon l'invention, les pistes électriques sont formées par dépôt d'un

matériau électriquement conducteur, notamment un dépôt métallique sur la base.

- [0081] Dans un aspect selon l'invention, l'ensemble puce-embase comprend au moins un connecteur électrique configuré pour connecter électriquement une piste électrique de l'embase à au moins une électrode de la puce. Ledit connecteur électrique est par exemple un fil ou une plaque comprenant un matériau électriquement conducteur, notamment de l'or, du cuivre, de l'aluminium ou de l'argent.
- [0082] Dans un aspect selon l'invention, le connecteur électrique est relié d'une part à au moins une électrode d'une polarité donnée de la puce laser par l'intermédiaire d'une zone de contact électrique, notamment une soudure ou un collage, d'autre part à au moins une piste électrique de l'embase de la même polarité que ladite électrode. La zone de contact électrique comprend par exemple un matériau électriquement conducteur tel que de l'or, du cuivre, de l'aluminium, de l'argent.
- [0083] Dans un aspect selon l'invention, la zone de contact électrique recouvre au moins partiellement l'électrode de la puce laser.
- [0084] Dans un aspect selon l'invention, la zone de contact électrique a un diamètre inférieur ou égal à 100 μ m, de préférence inférieur ou égal à 90 μ m, de préférence inférieur ou égal à 80 μ m, de préférence inférieur ou égal à 70 μ m, de préférence inférieur ou égal à 60 μ m, de préférence inférieur ou égal à 60 μ m, de préférence inférieur ou égal à 50 μ m, de préférence inférieur ou égal à 25 μ m, de préférence inférieur ou égal à 10 μ m.
- [0085] Dans un aspect selon l'invention, une piste électrique est configurée pour être en contact électrique avec au moins une électrode par une zone de jonction. Par zone de jonction, on entend ici une zone de jonction dans laquelle le contact entre la piste électrique et l'électrode est physique. Autrement dit, l'électrode et la piste électrique sont superposées l'une sur l'autre. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'utiliser un connecteur électrique pour que la au moins une électrode et la piste électrique soient en contact électrique.
- [0086] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend N unités laser, N étant supérieur ou égale à deux, N-1 au plus desdites unités laser étant électriquement connectées avec les pistes électriques de l'embase. Autrement dit, au moins une unité laser n'est pas connectée électriquement aux pistes électriques de l'embase. Ainsi, seules les unités laser les plus performantes sont en contact électrique avec l'embase.
- [0087] Dans un aspect selon l'invention, la puce laser comprend N unités laser, N étant supérieur ou égal à deux, au moins une unité laser parmi lesdites N unités laser étant configurée pour être traversée par un courant électrique suffisamment faible pour permettre de générer de la chaleur sans pour autant émettre un rayonnement lumineux, et au moins une autre unité laser étant configurée pour être traversée par un courant électrique suffisamment fort pour générer un rayonnement lumineux.

- [0088] Dans un aspect selon l'invention, la puce comprend N unités laser, N étant supérieur ou égal à deux, au moins une desdites unités laser étant configurée pour émettre un rayonnement lumineux à une longueur d'onde différente des autres unités laser.
- [0089] Dans un aspect selon l'invention, l'ensemble puce-embase comprend au moins deux puces telles que décrites ci-dessus.
- [0090] Dans un aspect selon l'invention, l'ensemble puce-embase comprend au moins une puce laser comprenant N unités laser, N étant supérieur ou égal à deux, au moins une desdites unités laser étant configurée pour être traversée par un courant électrique suffisamment faible pour permettre de générer de la chaleur sans émettre de rayonnement lumineux, et au moins une autre unité laser étant configurée pour être traversée par un courant électrique suffisamment fort pour générer un rayonnement lumineux.
- [0091] Dans un aspect selon l'invention, l'ensemble puce-embase comprend au moins une puce laser comprenant au moins N unités laser, N étant supérieur ou égal à deux, au moins deux unités laser étant configurés pour émettre un rayonnement lumineux à une longueur d'onde donnée dans des conditions atmosphériques différentes, notamment à des températures différentes.
- [0092] Dans un aspect selon l'invention, l'ensemble puce-embase est configurée pour faire fonctionner uniquement la ou les unités laser émettant le rayonnement lumineux à la longueur d'onde donnée aux conditions atmosphériques l'environnant, notamment à la température l'environnant. De cette manière, l'ensemble puce-embase fait fonctionner l'unité laser la plus adaptée aux conditions atmosphériques, par exemple à la température.
- [0093] La présente invention porte également sur un capteur de gaz comprenant :
- Une cellule formant un résonateur, comprenant un conduit d'entrée de gaz, un conduit de sortie de gaz et au moins une ouverture dite entrée laser,
 - Au moins un ensemble puce-embase tel que décrit ci-dessus comprenant au moins deux unités lasers, au moins une desdites deux unités laser étant configurée pour émettre, dans la cellule, un rayonnement lumineux présentant une longueur d'onde dont la valeur est spécifiquement adaptée à l'excitation d'un gaz à détecter, de telle sorte qu'une interaction entre le rayonnement lumineux et le gaz à détecter contenu dans la cellule induise la génération d'un signal caractéristique de la présence dudit gaz à une fréquence de résonance de la cellule, et
 - Un dispositif de détection du signal.
- [0094] Dans un aspect selon l'invention, le capteur de gaz comprend :
- Une cellule formant un résonateur optique, comprenant un conduit d'entrée de gaz, un conduit de sortie de gaz et au moins une ouverture dite entrée laser,
 - Au moins un ensemble puce-embase tel que décrit ci-dessus comprenant au

moins deux unités lasers, au moins une desdites deux unités laser étant configurée pour émettre, dans la cellule, un rayonnement lumineux présentant une longueur d'onde dont la valeur est spécifiquement adaptée à l'excitation d'un gaz à détecter, de telle sorte qu'une interaction entre le rayonnement lumineux et le gaz à détecter contenu dans la cellule induise la génération d'un signal optique caractéristique de la présence dudit gaz à une fréquence de résonance de la cellule, et

- Un dispositif de détection du signal.

[0095] Dans un aspect selon l'invention, le capteur de gaz comprend un dispositif de focalisation ou de collimation, notamment une lentille configurée pour collimater ou focaliser le rayonnement lumineux provenant de ladite moins une unité laser.

[0096] Dans un autre mode de réalisation selon l'invention, le capteur de gaz selon l'invention est un capteur de gaz photo-acoustique qui comprend les caractéristiques décrites dans le document FR3084745.

[0097] Dans ce mode de réalisation, le capteur de gaz comprend :

- Une cellule formant un résonateur acoustique, comprenant un conduit d'entrée de gaz, un conduit de sortie de gaz et au moins une ouverture dite entrée laser ;
- Au moins un ensemble puce-embase tel que décrit ci-dessus comprenant au moins deux unités lasers, au moins une desdites deux unités laser étant configurée pour émettre, dans la cellule, un rayonnement lumineux présentant une longueur d'onde dont la valeur est spécifiquement adaptée à l'excitation d'un gaz à détecter, de telle sorte qu'une interaction entre le rayonnement lumineux et le gaz à détecter contenu dans la cellule induise la génération d'ondes acoustiques à une fréquence de résonance de la cellule ; et
- Au moins un microphone de détection agencé dans une cheminée débouchant dans la cellule.

[0098] Dans un autre aspect selon l'invention, l'ensemble puce-embase est directement placée devant l'entrée laser de la cellule, sans interposition d'éléments optiques de focalisation ou collimation.

[0099] Dans un aspect selon l'invention, l'ensemble puce-embase est disposé à l'intérieur de la cellule du capteur.

[0100] Dans un autre aspect selon l'invention, le capteur de gaz photo-acoustique comprend un dispositif de focalisation ou de collimation, notamment une lentille configurée pour collimater ou focaliser le rayonnement lumineux provenant de ladite moins une unité laser.

[0101] Dans un aspect selon l'invention, le capteur comprend un circuit d'alimentation configuré pour faire fonctionner la source laser en mode impulsif. Ceci permet

notamment de réduire la consommation en énergie dudit capteur pour fonctionner par rapport à un fonctionnement en mode continu. Le rendement du laser correspondant au ratio énergie optique / énergie électrique est ainsi amélioré.

- [0102] Dans un aspect selon l'invention, le capteur de gaz possède une longueur totale inférieure à 5 cm et une largeur totale inférieure à 4 cm.
- [0103] Dans un aspect selon l'invention, la cellule est de type résonateur de Helmholtz dual comprenant deux premières cavités reliées au microphone de détection et comportant chacune une entrée laser et deux autres cavités, reliées aux premières, comprenant le conduit d'entrée de gaz et le conduit de sortie de gaz.
- [0104] Dans un aspect selon l'invention, les cavités cylindriques de la cellule possèdent un diamètre inférieur à 2mm.
- [0105] Dans un aspect selon l'invention, les parois de la cellule possèdent un facteur de réflexion optique supérieur à 50% préférentiellement à 75%.
- [0106] Dans un aspect selon l'invention, le capteur de gaz comprend un ensemble puce-embase comprenant au moins N unités laser, N étant supérieur ou égal à deux, au moins deux unités laser étant configurés pour émettre un rayonnement lumineux à une longueur d'onde donnée dans des conditions atmosphériques différentes, notamment à des températures différentes.
- [0107] Dans un aspect selon l'invention, le capteur est configuré pour faire fonctionner uniquement la ou les unités laser émettant le rayonnement lumineux à la longueur d'onde donnée aux conditions atmosphériques l'environnant, notamment à la température l'environnant. De cette manière, le capteur fait fonctionner l'unité laser la plus adaptée aux conditions atmosphériques, par exemple à la température.
- [0108] Dans un aspect selon l'invention, le capteur comprend un ensemble puce-embase comprenant au N unités laser, N étant supérieur ou égal à deux, au moins deux unités laser étant configurées pour émettre un rayonnement lumineux à des longueur d'ondes différentes correspondant à des longueur d'onde d'excitation différentes d'un même gaz ou d'une même molécule dudit gaz, ledit capteur étant configuré pour faire fonctionner simultanément les au moins deux unités laser de manière à caractériser ledit gaz étudié.
- [0109] Dans un aspect selon l'invention, l'ensemble puce-embase du capteur de gaz comprend au N unités laser, N étant supérieur ou égal à deux, parmi lesquelles au moins une unité laser est configurée pour être traversée par un courant électrique suffisamment faible pour permettre de générer de la chaleur sans pour autant émettre un rayonnement lumineux, et au moins une autre unité laser est configurée pour être traversée par un courant électrique suffisamment fort pour générer un rayonnement lumineux. De cette manière, la gestion thermique du capteur de gaz est optimisée.
- [0110] L'invention porte également sur un procédé de production d'un ensemble puce-

embase comprenant les étapes suivantes :

- Formation d'une puce laser par:
 - Dépôt de couches de matière pour former au moins deux unités laser sur un substrat, lesdites unités laser étant espacées d'un espacement dans la dimension de la largeur du substrat, ledit substrat présentant une épaisseur correspondant à la distance entre une face supérieure et une face inférieure dudit substrat,
 - Clivage du substrat de manière à former deux faces latérales dudit substrat, la largeur du substrat obtenue correspondant à la distance entre les deux faces latérales obtenues, ladite largeur étant inférieure ou égale à 4 fois l'épaisseur dudit substrat,
- Fixation de la puce obtenue sur une embase.

[0111] Dans un aspect selon l'invention, l'étape de fixation est réalisée soit par soudage, soit par collage.

[0112] Dans un aspect selon l'invention, le procédé comprend une étape de découpage d'une plaquette, ladite plaquette comprenant le substrat et plusieurs unités laser, de manière à obtenir le nombre de puces laser souhaitées.

Brève description des dessins

[0113] D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description donnée ci-après à titre indicatif en relation avec des dessins dans lesquels :

[0114] La [Fig.1][Fig.1] est une représentation schématique d'un capteur de gaz photo-acoustique selon l'invention,

[0115] La [Fig.2][Fig.2] est une représentation schématique d'un premier exemple de réalisation d'un ensemble puce-embase selon l'invention,

[0116] La [Fig.3][Fig.3] est une représentation schématique d'un deuxième exemple de réalisation d'un ensemble puce-embase selon l'invention,

[0117] La [Fig.4][Fig.4] est une représentation schématique d'un troisième exemple de réalisation d'un ensemble puce-embase selon l'invention,

[0118] La [Fig.5][Fig.5] est une représentation schématique d'un quatrième exemple de réalisation d'un ensemble puce-embase selon l'invention,

[0119] La [Fig.6][Fig.6] est une représentation schématique d'un cinquième exemple de réalisation d'un ensemble puce-embase selon l'invention,

[0120] La [Fig.7][Fig.7] est une représentation schématique d'un sixième exemple de réalisation d'un ensemble puce-embase selon l'invention,

[0121] La [Fig.8][Fig.8] est une représentation schématique d'un septième exemple de réalisation d'un ensemble puce-embase selon l'invention.

- [0122] La [Fig.1] illustre un capteur de gaz photo-acoustique 1 selon l'invention. Le capteur photo-acoustique 1 selon l'invention peut comprendre les caractéristiques du capteur photo-acoustique décrit dans le document FR3084745.
- [0123] Le capteur de gaz photo-acoustique 1 selon l'invention comprend une cellule 20 comprenant un conduit d'entrée de gaz 60 et un conduit de sortie de gaz 70, un ensemble puce-embase 100 comprenant une puce laser disposée sur une embase, ladite puce laser comprenant au moins deux unités laser dont au moins une est configurée pour émettre un rayonnement lumineux à une longueur d'onde dans le moyen infrarouge, une cheminée 30 débouchant dans la cellule comprenant un microphone de détection 50 et une ouverture dite entrée laser 40.
- [0124] Dans le mode de réalisation de la [Fig.1] l'ensemble puce-embase 10 est accolé à l'entrée laser 40, de manière que le rayonnement laser émis par la au moins une unité laser de l'ensemble puce-embase 100 soit directement émit dans la cellule 20 sans interposition d'éléments optiques de focalisation. Dans le mode de réalisation de la [Fig.1], le rayonnement laser est produit par au moins une unité laser à cascade quantique (QCL en anglais) comprise dans l'ensemble puce-embase 10, ladite unité laser émettant en régime impulsionnel à 4 à 10 microns. L'unité laser QCL se présente sous la forme d'un barreau dont les dimensions typiques sont $3\text{mm} \times 10\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$. La divergence du faisceau laser en sortie du barreau laser fait typiquement 60° . L'ensemble puce-embase 10 peut, par exemple, fonctionner en régime impulsionnel à une fréquence très supérieure à la fréquence de résonance de la cellule afin d'éviter d'éventuelles interférences.
- [0125] Le capteur photo-acoustique 1 comprend de plus un circuit électronique de détection 80 relié au microphone de détection 50. Dans le mode de réalisation de la [Fig.1], le gaz est introduit par un conduit d'entrée 60 et évacué par un conduit de sortie 70. Les deux conduits sont directement reliés à la cellule 20. Lors de l'interaction entre le laser émis par la au moins une unité laser de l'ensemble puce-embase 10 et le gaz, au sein de la cellule 20, le gaz est excité. Les niveaux vibrationnels excités vont se désexciter par des transitions non-radiatives entraînant des collisions moléculaires et un chauffage du gaz. Ainsi, des ondes acoustiques et thermiques sont générées et les ondes acoustiques vont être détectées par le microphone de détection 50 placé dans la cheminée 30 reliant le microphone 50 à la cellule 20. Le microphone 50 est relié à un circuit de détection 80 qui permet de déterminer l'amplitude des ondes acoustiques et ainsi de remonter à la concentration de l'espèce gazeuse étudiée. L'ensemble puce-embase 10 étant placé directement devant la face d'entrée, ce mode de réalisation ne nécessite qu'un alignement basique. De plus, ne pas utiliser d'élément optique de focalisation dans l'architecture du capteur permet de le rendre beaucoup plus résistant aux chocs et/ ou vibrations, moins sensible au désalignement et moins couteux. Cette architecture

augmente donc sa durée de fonctionnement et son spectre d'application.

[0126] L'ensemble puce-embase 10 permet d'émettre, dans la cellule 20, un rayonnement lumineux à une longueur d'onde spécifiquement adaptée à la génération de l'effet photo-acoustique dans le gaz à étudier.

[0127] Les parois internes de la cellule 20 de gaz possède un traitement optique réfléchissant à l'infrarouge afin de maximiser le flux laser qui interagit avec les atomes ou molécules gazeuses à étudier. La cellule possède, par exemple, un facteur de réflexion optique supérieur à 50% et préférentiellement supérieur à 75%.

[0128] L'ensemble puce-embase du capteur photo-acoustique 1 selon l'invention peut être choisi parmi les ensembles puce-embase décrits dans les figures 2 à 8 de la présente description. Les caractéristiques de ces ensembles puce-embase sont décrites plus en détail dans les figures 2 à 8.

[0129] La [Fig.2] représente un ensemble puce-embase 100 selon un premier mode de réalisation.

[0130] Dans ce mode de réalisation, l'ensemble puce-embase 100 comprend une puce laser 101 et une embase 111 sur laquelle est posée la puce laser 101.

[0131] La puce laser 101 comprend :

- Un substrat 105 comprenant :
- deux faces latérales 107,
- une face inférieure 109,
- une face supérieure 108,
- Trois unités laser à semi-conducteur 102 disposées sur la face supérieure 108 du substrat 105, lesdites trois unités laser 102 étant réparties entre lesdites deux faces latérales 107 du substrat 105 avec un espacement E entre deux unités laser 102 voisines.

[0132] Dans cet exemple, la largeur l du substrat 105 est égale à la largeur de la puce laser.

[0133] Autrement dit, les trois unités laser 2 sont réparties sur la largeur l du substrat 105.

De cette manière, toute la largeur l du substrat, et donc de la puce laser est exploitée. Ceci permet d'améliorer le rendement de production de la puce laser 101.

[0134] Le substrat 105 de la puce laser 101 comprend ici une largeur l inférieure à 4 fois l'épaisseur e dudit substrat. Dans cet exemple, la largeur l du substrat est 1,5 à 3 fois supérieure à l'épaisseur e, de préférence 2,5 fois supérieure à l'épaisseur e dudit substrat 105.

[0135] De cette manière, la surface de matériau utilisée pour la production de la puce laser 101 est réduite, le coût de production de la puce laser 101 est donc réduit. En outre, le ratio largeur l/épaisseur e du substrat 105 de la puce laser 101 lui confère la résistance nécessaire pour ne pas subir de cassures lors de l'étape de clivage. La largeur l du substrat 105 est par exemple comprise entre 250µm et 300µm, et l'épaisseur e de la

puce laser 101 est par exemple comprise entre 120 μ m et 150 μ m.

[0136] Dans ce mode de réalisation, la puce laser 101 est en configuration dite « en haut » ou « up » en anglais, c'est-à-dire que les unités laser 102 sont plus proches de la face supérieure 108 du substrat 105 que de la face inférieure 109 du substrat 105. Plus précisément, les unités laser 102 sont ici disposées sur la face supérieure 108 du substrat 105 de la puce laser 101.

[0137] La puce laser 101 comprend ici trois électrodes 103 de polarité positive, chacune de ces trois électrodes 103 est configurée pour être en contact électrique avec une unité laser 102. Les trois électrodes 103 de polarité positive sont chacune superposées à une unité laser 102 et sont disposées sur la face supérieure 108 du substrat 105 de la puce laser 101. La puce laser 101 comprend ici une électrode 103 de polarité négative configurée pour être en contact électrique avec les trois unités laser 102 à la fois. L'électrode 103 de polarité négative est ici disposée sur la face inférieure 109 du substrat 105 de la puce laser 101. Les électrodes 103 sont ici formées par dépôt d'un matériau électriquement conducteur, notamment un matériau métallique, tel que de l'or.

[0138] La puce laser 101 comprend une couche électriquement isolante 104 configurée pour isoler électriquement les unités laser 102 disposées sur une même face du substrat 105 les unes des autres, ici les unités laser 102 disposées sur la face supérieure 108 du substrat 105. La couche électriquement isolante 104 est formée par dépôt d'un matériau électriquement isolant, choisi parmi le silicone ou encore le caoutchouc, sur la face supérieure 108 du substrat 105. La couche électriquement isolante 104 est disposée entre la face supérieure 108 du substrat 105 et les électrodes 103 disposées sur la face supérieure 108 du substrat.

[0139] La puce laser 101 comprend des murets 106, lesdits murets 106 sont recouverts de ladite couche électriquement isolante 104. Ces murets 106 sont disposés entre deux unités laser 102 voisines de sorte à aplanir la surface supérieure de la puce laser.

[0140] L'espacement E entre deux unités laser 102 voisines est suffisamment important pour que les électrodes 103 d'une même face n'entrent pas en contact électrique les unes avec les autres. L'espacement E entre deux unités laser 102 voisines est constant, autrement dit l'espacement E entre une première et une deuxième unité laser 102 est le même que l'espacement E entre la deuxième et une troisième unité laser 102. Cet espacement E est par exemple de 100 μ m. Dans un exemple de réalisation non représenté ici, l'espacement E varier entre deux électrodes 103 voisines.

[0141] Pour rendre la manipulation plus facile, la puce laser 101 est fixée sur l'embase 111. L'embase 111 est parallélépipédique et de dimension 5mm \times 6mm \times 1,2mm. L'embase 111 comprend un élément de gestion thermique, notamment un élément Pelletier. L'embase 111 comprend une base 115 comprenant un matériau ayant des propriétés de

dissipation thermique, notamment de l'AlN. Ainsi, l'embase 111 a également pour fonction d'assurer une bonne gestion thermique de la puce laser 101.

[0142] L'embase 111 comprend ici deux pistes électriques 112 de polarité différente, les deux pistes électriques étant disposées sur une face supérieure 117 de la base 115. L'une des pistes électriques 112 est de polarité négative, et l'autre piste électrique 112 est de polarité positive. La piste électrique 112 de polarité positive est ici en contact électrique avec l'une des électrodes 103 de polarité positive de la puce laser 101, et la piste électrique 112 de polarité négative est en contact électrique avec l'électrode 103 de polarité négative de la puce laser 101. Un champ électrique se crée ainsi entre les deux électrodes 103 et un courant électrique circule dans l'unité laser 102. La piste électrique 112 de polarité positive est ici en contact électrique avec l'électrode 103 de polarité positive par l'intermédiaire d'un connecteur électrique 113 qui peut être un fil d'or qui relie ladite piste électrique 112 et ladite électrode 103, ledit connecteur électrique 113 est relié avec ladite électrode par l'intermédiaire d'une zone de contact électrique 114, ici une soudure à base d'or. La piste électrique 112 de polarité négative est en contact électrique avec l'électrode 103 de polarité négative de la puce laser 101 par l'intermédiaire d'une zone de jonction 116 entre ladite piste électrique 112 et ladite électrode 103.

[0143] L'avantage d'un tel mode de réalisation est que seule l'unité laser 102 la plus performante est en contact électrique avec l'embase 111, c'est-à-dire celle avec un meilleur rendement.

[0144] La [Fig.3] représente un deuxième exemple de réalisation d'un ensemble puce-embase 200 selon l'invention. Dans cet exemple de réalisation, la puce laser 201 comprend les mêmes caractéristiques que dans le mode de réalisation de la [Fig.2] mis à part que deux unités laser 202 sont en contact électrique chacune avec une électrode de polarité positive 203 différente et avec une électrode 203 de polarité négative commune.

[0145] Le substrat 205 de la puce laser 201 comprend donc une largeur l inférieure à 4 fois l'épaisseur dudit substrat. Dans cet exemple, la largeur l du substrat est 1,5 à 3 fois supérieure à l'épaisseur e , de préférence 2,5 fois supérieure à l'épaisseur e dudit substrat 205.

[0146] La puce laser comprend ici trois unités laser 202.

[0147] L'embase 211 comprend ici trois pistes électriques 212 de polarité différente, les trois pistes électriques étant disposées sur la face supérieure 217 de la base 215 de l'embase 211. L'une des pistes électriques 212 est de polarité négative, et les deux autres pistes électrique 212 sont de polarité positive. Les deux pistes électriques 212 de polarité positive sont en contact électrique avec des électrodes 203 distinctes de polarité positive de la puce laser 201, chacune des électrodes 203 étant reliée à une

unité laser 202. La piste électrique 212 de polarité négative est en contact électrique avec l'électrode 203 de polarité négative de la puce laser 201. Chaque unité laser 202 en contact avec une électrode positive 203 et une électrode négative 203 sont ainsi traversées par un courant électrique.

- [0148] Les pistes électriques 212 de polarité positive sont ici en contact électrique avec les électrodes 203 de polarité positive par l'intermédiaire de connecteurs électriques 213 qui peuvent être des fils d'or qui relient lesdites pistes électriques 212 auxdites électrodes 203. Lesdits connecteurs électriques 213 sont reliés électrodes 203 par l'intermédiaire d'une soudure 214 à base d'or. La piste électrique 212 de polarité négative est en contact électrique avec l'électrode 203 de polarité négative par l'intermédiaire d'une zone de jonction 216 entre ladite piste électrique 212 et ladite électrode 203.
- [0149] L'avantage d'un tel mode de réalisation est que seules les deux unités laser 202 les plus performantes sont en contact électrique avec l'embase 211 et donc traversées par un courant. Autrement dit, les unités laser 202 avec un meilleur rendement optique sont choisies.
- [0150] Dans cet exemple, les deux unités laser 202 en contact électrique avec l'embase 211 peuvent être configurées pour émettre un rayonnement lumineux à la même longueur d'onde ou un rayonnement lumineux à des longueurs d'onde différentes.
- [0151] Un autre avantage de ce mode de réalisation est qu'une des unités laser 202 en contact électrique avec l'embase 211 peut être configurée pour recevoir un courant électrique suffisamment faible pour ne pas émettre de rayonnement lumineux et suffisamment fort pour émettre de la chaleur, l'autre unité laser 202 en contact électrique avec l'embase 211 est configurée pour recevoir un courant électrique suffisamment fort pour émettre un rayonnement lumineux. De cette manière, l'unité laser émettant de la chaleur intervient dans la gestion thermique de l'ensemble puce-embase 200 ce qui permet de réduire les coûts associés à la gestion thermique d'un tel ensemble sans pour autant provoquer des interférences lumineuses.
- [0152] De manière avantageuse, il est possible que les unités laser 202, soient configurées pour émettre un rayonnement lumineux à une longueur d'onde donnée dans des conditions atmosphériques différentes, notamment à des températures différentes. Ainsi, seule l'unité laser 202 émettant la longueur d'onde désirée dans les conditions environnante peut-être mise en fonctionnement de sorte de ne pas alimenter la deuxième unité laser 202 en énergie inutilement.
- [0153] La [Fig.4] représente un troisième exemple de réalisation d'un ensemble puce-embase 300 selon l'invention. Dans cet exemple de réalisation, la puce laser 301 comprend les mêmes caractéristiques que dans le mode de réalisation de la [Fig.2] mis à part que toutes les unités laser 302 sont en contact électrique avec une électrode de

polarité positive 303 différente et avec une électrode de polarité négative 303 commune.

- [0154] Le substrat 305 de la puce laser 301 comprend donc une largeur l inférieure à 4 fois l'épaisseur dudit substrat. Dans cet exemple, la largeur l du substrat est 1,5 à 3 fois supérieure à l'épaisseur e , de préférence 2,5 fois supérieure à l'épaisseur e dudit substrat 305.
- [0155] La puce laser comprend ici trois unités laser 302.
- [0156] L'embase 311 comprend ici quatre pistes électriques 312 de polarité différente, les quatre pistes électriques 312 étant disposées sur la face supérieure 317 de la base 315 de l'embase 311. L'une des pistes électriques 312 est de polarité négative, et les trois autres pistes électrique 312 sont de polarité positive. Les trois pistes électriques 312 sont en contact électrique avec des électrodes 303 distinctes de polarité positive de la puce laser 301, chacune des électrodes 303 de polarité positive étant reliée à une unité laser 302 distincte. La piste électrique 312 de polarité négative est en contact électrique avec une électrode 303 de polarité négative de la puce laser 301. Les unités laser 302 en contact avec une électrode positive et une électrode négative 303 sont ainsi traversées par un courant électrique.
- [0157] Les pistes électriques 312 de polarité positive sont ici en contact électrique avec les électrodes 303 de polarité positive par l'intermédiaire de connecteurs électriques 313 qui peuvent être des fils d'or qui relient lesdites pistes électriques 312 auxdites électrodes 303. Lesdits connecteurs électriques 313 sont reliés électrodes 303 par l'intermédiaire d'une soudure 314 à base d'or. La piste électrique 312 de polarité négative est en contact électrique avec l'électrode 303 de polarité négative par l'intermédiaire d'une zone de jonction 316 entre ladite piste électrique 312 et ladite électrode 303.
- [0158] Dans cet exemple, les deux unités laser 302 en contact électrique avec l'embase 311 peuvent être configurées pour émettre un rayonnement lumineux à la même longueur d'onde ou un rayonnement lumineux à des longueurs d'onde différentes.
- [0159] Un avantage de ce mode de réalisation est qu'une des unités laser 302 en contact électrique avec l'embase 311 peut être configurée pour recevoir un courant électrique suffisamment faible pour ne pas émettre de rayonnement lumineux et suffisamment fort pour émettre de la chaleur, l'autre unité laser 302 en contact électrique avec l'embase 311 est configurée pour recevoir un courant électrique suffisamment fort pour émettre un rayonnement lumineux. De cette manière, l'unité laser 302 émettant de la chaleur intervient dans la gestion thermique de l'ensemble puce-embase 300 ce qui permet de réduire les coûts associés à la gestion thermique d'un tel ensemble sans pour autant provoquer des interférences lumineuses.
- [0160] De manière avantageuse, il est possible que les unités laser 302, soient configurées

pour émettre un rayonnement lumineux à une longueur d'onde donnée dans des conditions atmosphériques différentes, notamment à des températures différentes. Ainsi, l'unité laser 302 émettant la longueur d'onde désirée dans les conditions environnante peut-être mise en fonctionnement uniquement de sorte de ne pas alimenter la deuxième unité laser 302 en énergie inutilement.

- [0161] La [Fig.5] représente un ensemble puce-embase 400 selon un quatrième mode de réalisation.
- [0162] Dans ce mode de réalisation, l'ensemble puce-embase 400 comprend l'ensemble des caractéristiques du mode de réalisation de la [Fig.2] mis-à-part que l'ensemble puce-embase est en position « en bas » ou « down » en anglais, c'est-à-dire que les unités laser 402 sont disposées plus proche de la face inférieure 409 que de la face supérieure 408 du substrat 405.
- [0163] Le substrat 405 de la puce laser 401 comprend donc une largeur l inférieure à 4 fois l'épaisseur dudit substrat. Dans cet exemple, la largeur l du substrat est 1,5 à 3 fois supérieure à l'épaisseur e , de préférence 2,5 fois supérieure à l'épaisseur e dudit substrat 405.
- [0164] La puce laser comprend ici trois unités laser 402.
- [0165] Dans cet exemple, les unités lasers 402 sont disposées sur la face inférieure 409 du substrat 405.
- [0166] Dans cet exemple, seule une électrode positive 403 de la puce laser est reliée électriquement à une piste électrique 412 positive de l'embase 411. Ainsi, seule l'unité laser 402 connectée électriquement avec ladite électrode positive 403 d'une part et à une électrode négative 403 d'autre part est traversée par un courant électrique.
- [0167] La piste électrique 412 de polarité négative est ici en contact électrique avec l'électrode 403 de polarité négative de la puce laser 401 par l'intermédiaire d'un connecteur électrique 413 qui peut être un fil d'or qui relie ladite piste électrique 412 et ladite électrode 403, ledit connecteur électrique 413 est relié électriquement avec ladite électrode par l'intermédiaire d'une soudure 414 à base d'or. La piste électrique 412 de polarité positive est en contact électrique avec l'électrode de polarité positive par l'intermédiaire d'une zone de jonction 416 entre ladite piste électrique 412 et ladite électrode 403.
- [0168] La [Fig.6] représente un cinquième exemple de réalisation d'un ensemble puce-embase 500 selon l'invention.
- [0169] Le substrat 505 de la puce laser 501 comprend donc une largeur l inférieure à 4 fois l'épaisseur dudit substrat. Dans cet exemple, la largeur l du substrat est 1,5 à 3 fois supérieure à l'épaisseur e , de préférence 2,5 fois supérieure à l'épaisseur e dudit substrat 505.
- [0170] La puce laser comprend ici trois unités laser 502.

- [0171] Dans ce mode de réalisation, l'ensemble puce-embase 500 comprend l'ensemble des caractéristiques du mode de réalisation de la [Fig.3] mis-à-part que l'ensemble puce-embase est en position « en bas » ou « down » en anglais, c'est-à-dire que les unités laser 502 sont disposées plus proche de la face inférieure 509 que de la face supérieure 508 du substrat 505.
- [0172] Dans cet exemple, les unités laser 502 sont disposées sur la face inférieure 509 du substrat 505.
- [0173] Dans cet exemple, deux électrodes de polarité positive 503 de la puce laser 501 sont reliées électriquement chacune à une piste électrique 512 positive de l'embase 511. Ainsi, seules les unités laser 502 connectées électriquement auxdites électrodes 503 de polarité positive de la puce laser 501 d'une part et à une électrode négative 503 de la puce laser 501 d'autre part sont traversées par un courant électrique.
- [0174] La piste électrique 512 de polarité négative est ici en contact électrique avec l'électrode 503 de polarité négative de la puce laser 501 par l'intermédiaire d'un connecteur électrique 513 qui peut être un fil d'or qui relie ladite piste électrique 512 et ladite électrode 503, ledit connecteur électrique 513 est relié électriquement avec ladite électrode par l'intermédiaire d'une soudure 514 à base d'or. Les pistes électriques 512 de polarité positive sont en contact électrique avec les électrodes de polarité positive par l'intermédiaire d'une zone de jonction 516 entre lesdites piste électrique 512 et lesdites électrodes 503.
- [0175] La [Fig.7] représente un sixième exemple de réalisation d'un ensemble puce-embase 600 selon l'invention.
- [0176] Le substrat 605 de la puce laser 601 comprend donc une largeur l inférieure à 4 fois l'épaisseur dudit substrat. Dans cet exemple, la largeur l du substrat est 1,5 à 3 fois supérieure à l'épaisseur e , de préférence 2,5 fois supérieure à l'épaisseur e dudit substrat 605.
- [0177] La puce laser comprend ici trois unités laser 602.
- [0178] Dans ce mode de réalisation, l'ensemble puce-embase 600 comprend l'ensemble des caractéristiques du mode de réalisation de la [Fig.4] mis-à-part que l'ensemble puce-embase est en position « en bas » ou « down » en anglais, c'est-à-dire que les unités laser 602 sont disposées plus proche de la face inférieure 609 que de la face supérieure 608 du substrat 605.
- [0179] Dans cet exemple, trois électrodes de polarité positive 603 sont reliées électriquement chacune à une piste électrique 612 positive de l'embase 611. Ainsi, toutes les unités laser 602 connectées électriquement auxdites électrodes 603 de polarité positive d'une part et à une électrode négative 603 d'autre part sont traversées par un courant électrique.
- [0180] La piste électrique 612 de polarité négative est ici en contact électrique avec

l'électrode 603 de polarité négative par l'intermédiaire d'un connecteur électrique 613 qui peut être un fil d'or qui relie ladite piste électrique 612 et ladite électrode 603, ledit connecteur électrique 613 est relié électriquement avec ladite électrode par l'intermédiaire d'une soudure 614 à base d'or. Les pistes électriques 612 de polarité positive sont en contact électrique avec les électrodes de polarité positive par l'intermédiaire d'une zone de jonction 616 entre lesdites piste électrique 612 et lesdites électrodes 603.

- [0181] La [Fig.8] représente un ensemble puce-embase 700 selon un septième mode de réalisation.
- [0182] Dans ce mode de réalisation, l'ensemble puce-embase 700 comprend l'ensemble des caractéristiques du mode de réalisation de la [Fig.2] mis-à-part que les unités laser 702 sont enterrées dans le substrat 705 de la puce 701.
- [0183] Le substrat 705 de la puce laser 701 comprend donc une largeur l inférieure à 4 fois l'épaisseur dudit substrat. Dans cet exemple, la largeur l du substrat est 1,5 à 3 fois supérieure à l'épaisseur e , de préférence 2,5 fois supérieure à l'épaisseur e dudit substrat 705.
- [0184] La puce laser comprend ici trois unités laser 702.
- [0185] Dans ce mode de réalisation, les unités laser 702 sont ici plus proches de la face supérieure 708 du substrat 705 que de la face inférieure 709 du substrat 705.
- [0186] Dans ce mode de réalisation, seule une électrode positive 703 est connectée électriquement à une piste électrique 712 de l'embase. Seule une unité laser 702 est donc traversée par un courant.
- [0187] Dans un autre mode de réalisation, plusieurs électrodes de polarité positive 703 pourraient être connectées électriquement à des pistes électriques de polarité positive 712 comme c'est le cas dans les figures 3 et 4.
- [0188] Dans un mode de réalisation non représenté ici, les unités laser 702 pourraient être enterrées dans le substrat 705 de telle façon qu'elles soient plus proches de la face inférieure 709 du substrat 705 que de la face supérieure 708 du substrat.
- [0189] Dans ce mode de réalisation, le substrat comprend une couche de matériau semi-isolant de part et d'autre des unités lasers 702, de manière à les isoler électriquement les unes des autres.
- [0190] Les autres caractéristiques des modes de réalisation des figures 2 à 7 s'appliquent ici.

Revendications

[Revendication 1]

Puce laser à semi-conducteur (101, 201, 301, 401, 501, 601, 701) comprenant

- Un substrat (105, 205, 305, 405, 505, 605, 705) comprenant :
 - deux faces latérales (107, 207, 307, 407, 507, 607, 707),
 - une face inférieure (109, 209, 309, 409, 509, 609, 709),
 - une face supérieure (108, 208, 308, 408, 508, 608, 708),
- au moins deux lasers semi-conducteurs (202, 302, 402, 502, 602, 702), ces deux lasers (102, 202, 302, 402, 502, 602, 702) étant répartis entre lesdites deux faces latérales (102, 202, 302, 402, 502, 602, 702) avec un espacement (E) entre deux lasers (102, 202, 302, 402, 502, 602, 702) voisins,

ledit substrat (105, 205, 305, 405, 505, 605, 705) présentant une largeur (l), cette largeur étant la distance entre lesdites deux faces latérales (107, 207, 307, 407, 507, 607, 707) du substrat (105, 205, 305, 405, 505, 605, 705) et une épaisseur (e), cette épaisseur (e) étant la distance mesurée entre la face inférieure (109, 209, 309, 409, 509, 609, 709) et la face supérieure (108, 208, 308, 408, 508, 608, 708, 808) du substrat (105, 205, 305, 405, 505, 605, 705) perpendiculairement à la largeur (l), ladite largeur (l) étant inférieure ou égale à 4 fois l'épaisseur (e).

[Revendication 2]

Puce selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le substrat (105, 205, 305, 405, 505, 605, 705) présente une largeur (l) 1,5 à 3 fois supérieure à l'épaisseur (e).

[Revendication 3]

Puce selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'elle comprend au moins trois unités laser (102, 202, 302, 402, 502, 602, 702), ces trois unités laser (102, 202, 302, 402, 502, 602, 702) étant réparties entre lesdites deux faces latérales (107, 207, 307, 407, 507, 607, 707) du substrat (105, 205, 305, 405, 505, 605, 705) avec un espacement (E) entre deux lasers (102, 202, 302, 402, 502, 602, 702) voisins.

[Revendication 4]

Puce selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les unités laser (102, 202, 302) sont plus proches de la face supérieure

- (108, 208 308) du substrat (105, 205, 305) que de la face inférieure (109, 209, 309) du substrat (105, 205, 305).
- [Revendication 5] Puce selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'elle comprend au moins deux électrodes (103, 203, 303, 403, 503, 603, 703) de polarité différente configurées pour permettre le passage d'un courant électrique dans au moins une unité laser (102, 202, 302, 402, 502, 602, 702) de la puce laser (101, 201, 301, 401, 501, 601, 701).
- [Revendication 6] Puce selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'elle comprend au moins une couche isolante (104, 204, 304, 404, 504, 604, 704) configurée pour isoler électriquement les unités laser (102, 202, 302, 402, 502, 602, 702) disposées sur une même face substrat (105, 205, 305, 405, 505, 605, 705) les unes des autres.
- [Revendication 7] Puce selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le substrat (105, 205, 305, 405, 505, 605, 705) comprend au moins un matériau semiconducteur de type InP ou GaAs ou GaSb ou InAs ou Silicium.
- [Revendication 8] Puce selon l'une des revendication précédente, caractérisée en ce que la puce laser (101, 201, 301, 401, 501, 601, 701) est une puce laser à cascade quantique comprenant des unités laser (102, 202, 302, 402, 502, 602, 702) à cascade quantique.
- [Revendication 9] Puce selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'au moins une unité laser (102, 202, 302, 402, 502, 602, 702) est une unité laser à cascade quantique émettant en régime impulsionnel à 4 à 10 microns.
- [Revendication 10] Ensemble (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700) comprenant :
- Au moins une puce laser (101, 201, 301, 401, 501, 601, 701) telle que revendiquée précédemment,
 - Une embase (111, 211, 311, 411, 511, 611, 711) sur laquelle est montée ladite puce (101, 201, 301, 401, 501, 601, 701).
- [Revendication 11] Ensemble selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'embase (111, 211, 311, 411, 511, 611, 711) comprend au moins deux pistes électriques (112, 212, 312, 412, 512, 612, 712) de polarité différente, chacune des pistes électriques (112, 212, 312, 412, 512, 612, 712) étant configurée pour être en contact électrique avec au moins une électrode (103, 203, 303, 403, 503, 603, 703) de même polarité.
- [Revendication 12] Ensemble selon l'une des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce que

la puce (101, 201, 401, 501, 701) comprend N unités laser (102, 202, 402, 502, 702), N étant supérieur ou égale à deux, au plus N-1 desdites unités laser (102, 202, 402, 502, 702) étant électriquement connectées avec les pistes électriques (112, 212, 412, 512, 712) de l'embase (111, 211, 411, 511, 711).

[Revendication 13] Ensemble selon l'une des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que l'ensemble puce-embase (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700) comprend au moins une puce laser (101, 201, 301, 401, 501, 601, 701) comprenant au moins N unités laser (102, 202, 302, 402, 502, 602, 702), N étant supérieur ou égal à deux, au moins deux unités laser étant configurés pour émettre un rayonnement lumineux à une longueur d'onde donnée dans des conditions atmosphériques différentes, notamment à des températures différentes.

[Revendication 14] Capteur de gaz (1) comprenant :

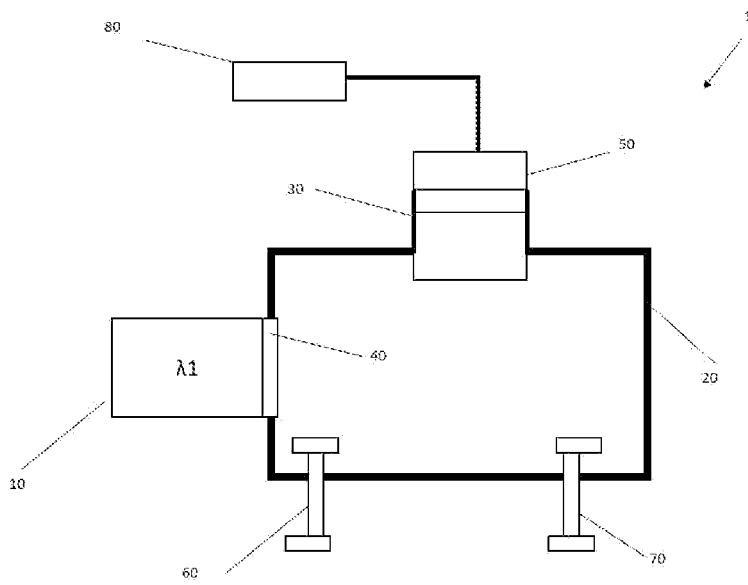
- Une cellule (20) formant un résonateur, comprenant un conduit d'entrée de gaz (60), un conduit de sortie de gaz (70) et au moins une ouverture dite entrée laser (40);
- Au moins un ensemble puce-embase (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700) tel que revendiqué dans les revendications 10 à 13, comprenant au moins deux unités lasers, au moins une desdites deux unités laser étant configurée pour émettre, dans la cellule (20), un rayonnement lumineux présentant une longueur d'onde dont la valeur est spécifiquement adaptée à l'excitation d'un gaz à détecter, de telle sorte qu'une interaction entre le rayonnement lumineux et le gaz à détecter contenu dans la cellule induise la génération d'un signal caractéristique de la présence dudit gaz à une fréquence de résonance de la cellule ; et
- Un dispositif de détection du signal.

[Revendication 15] Procédé de production d'un ensemble puce-embase (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700) tel que revendiqué précédemment comprenant les étapes suivantes :

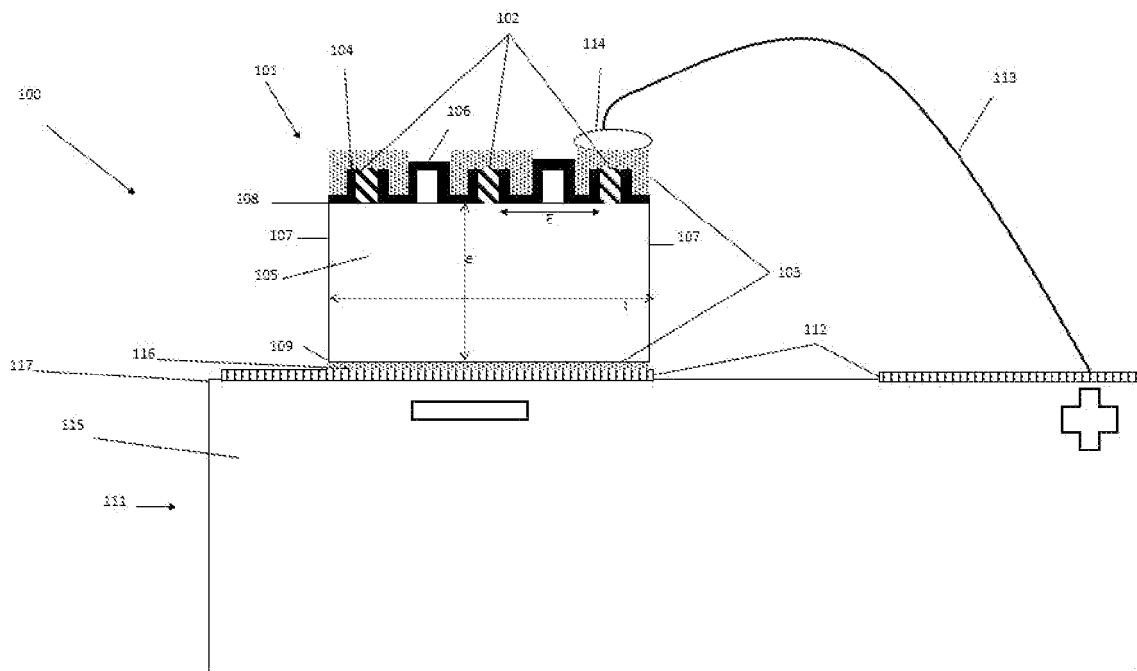
- Formation d'une puce laser par:
 - Dépôt de couches de matière pour former au moins deux unités laser sur un substrat, lesdites unités laser étant espacées d'un espacement dans la dimension de

- la largeur du substrat, ledit substrat présentant une épaisseur correspondant à la distance entre une face supérieure et une face inférieure dudit substrat,
- Clivage du substrat de manière à former deux faces latérales dudit substrat, la largeur du substrat obtenue correspondant à la distance entre les deux faces latérales obtenues, ladite largeur étant comprise inférieure ou égale à 4 fois l'épaisseur dudit substrat,
 - Fixation de la puce obtenue sur une embase.

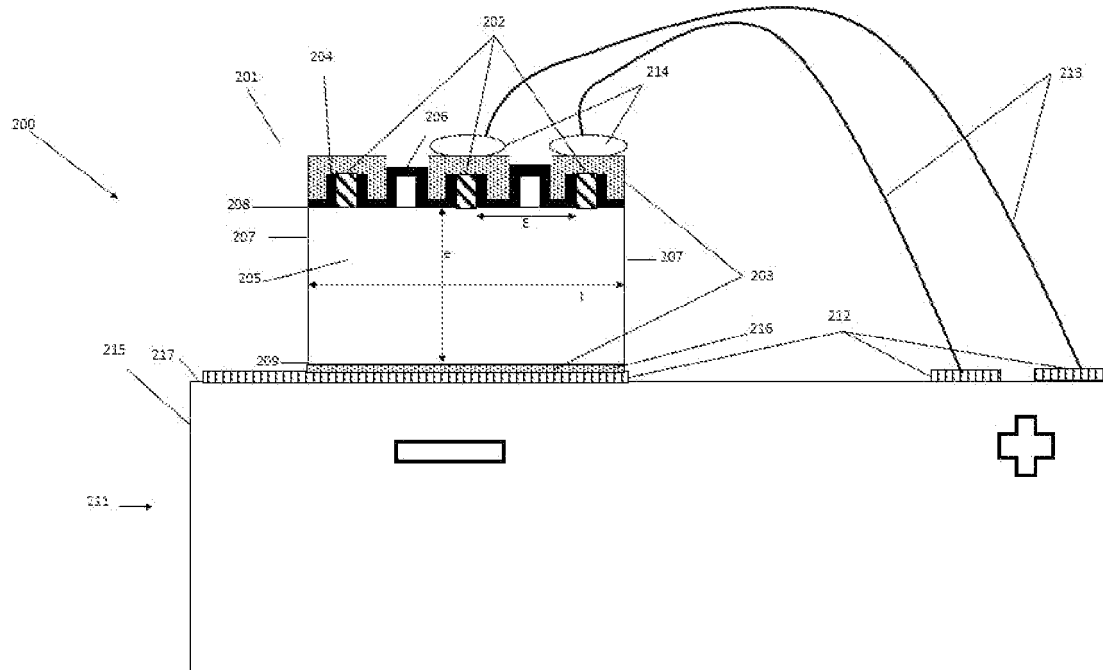
[Fig. 1]



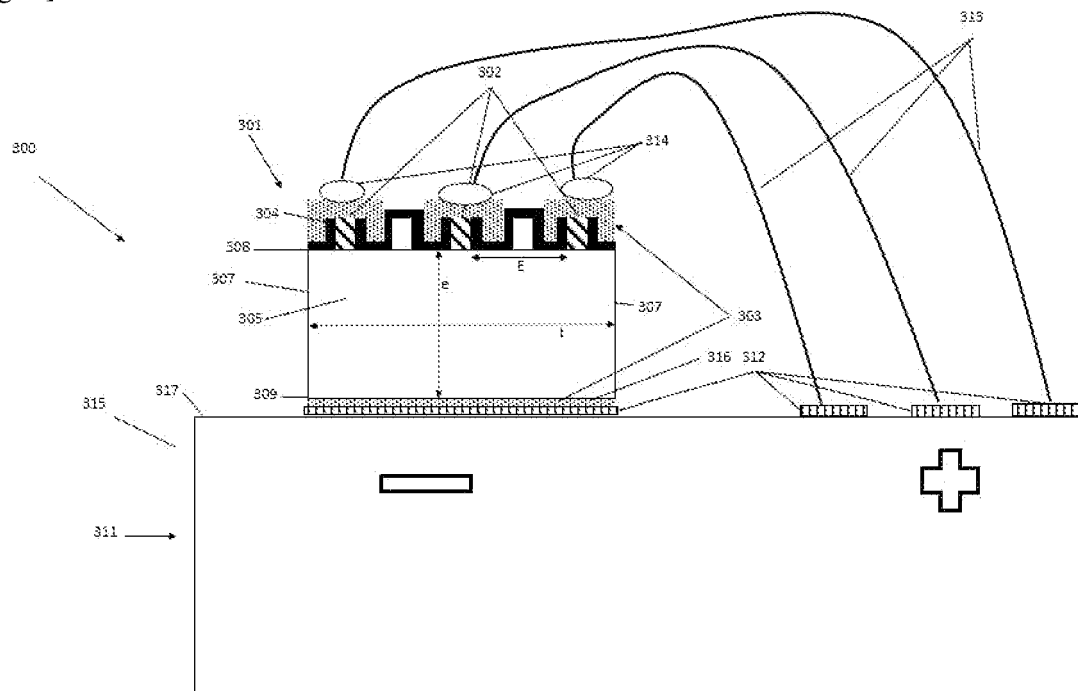
[Fig. 2]



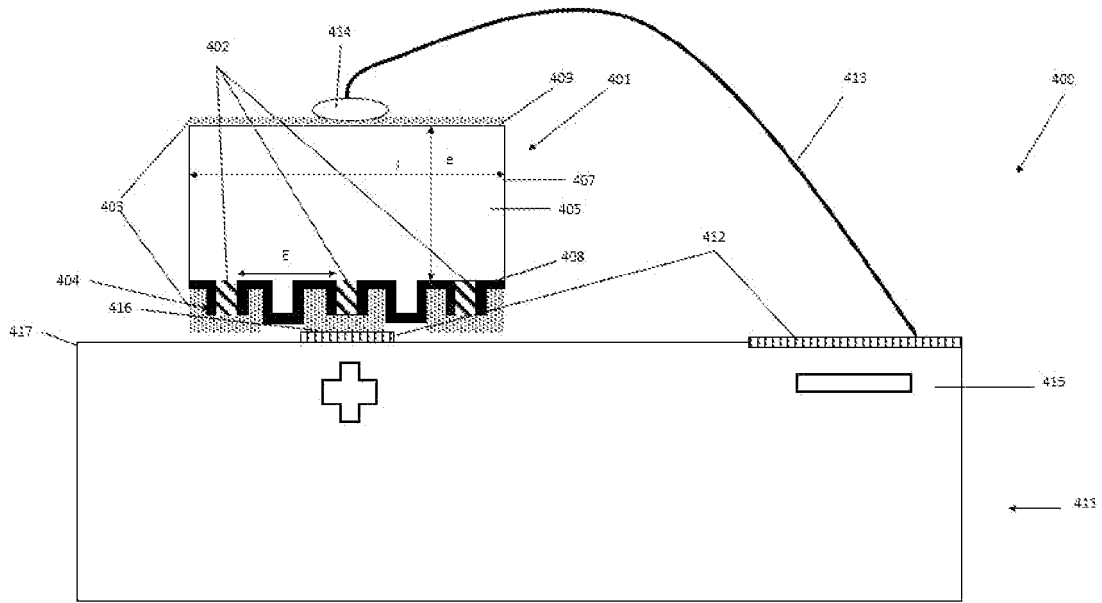
[Fig. 3]



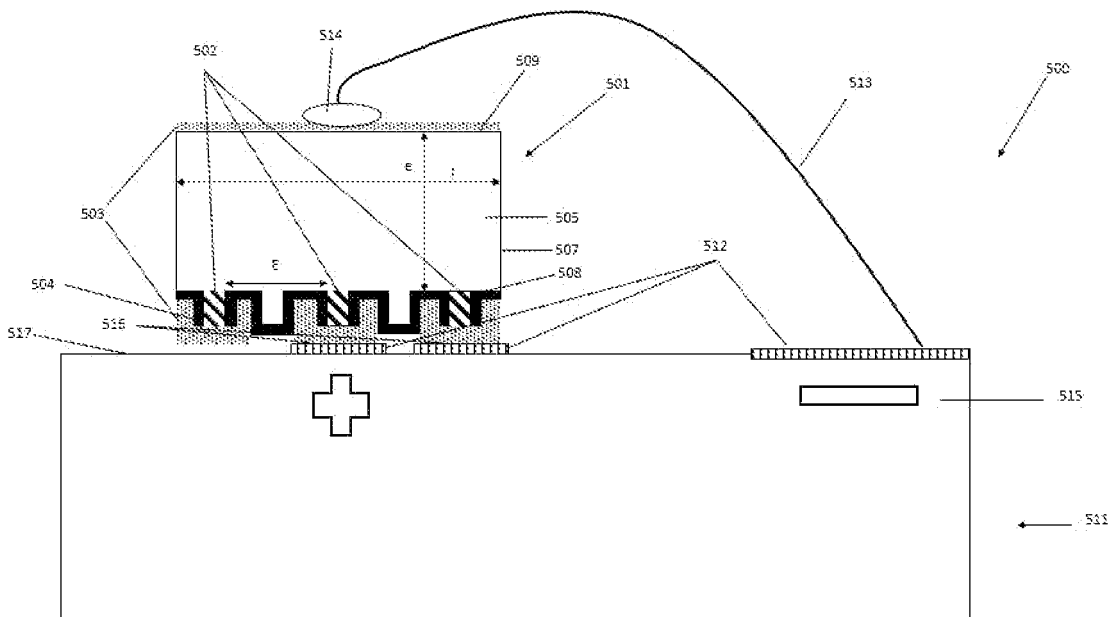
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 910920
FR 2206925

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS | | Revendication(s) concernée(s) | Classement attribué à l'invention par l'INPI |
|---|---|--|---|
| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | | |
| X | WO 2019/021802 A1 (PANASONIC CORP [JP]) 31 janvier 2019 (2019-01-31) * figure 7 * | 1-15 | H01S5/34 G01N21/3504 |
| X | US 2009/135878 A1 (YAMAGUCHI TSUTOMU [JP] ET AL) 28 mai 2009 (2009-05-28) * figure 2 * * tableau 1 * | 1-15 | |
| A | US 7 826 509 B2 (HARVARD COLLEGE [US]) 2 novembre 2010 (2010-11-02) * abrégé; figure 1 * | 1-15 | |
| A | US 2015/263488 A1 (CANEAU CATHERINE GENEVIEVE [US] ET AL) 17 septembre 2015 (2015-09-17) * abrégé; figure 14 * | 1-15 | |
| A | US 2017/040769 A1 (HASHIMOTO JUN-ICHI [JP] ET AL) 9 février 2017 (2017-02-09) * abrégé; figure 3B * | 1-15 | |
| | | | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) |
| | | | H01S G01N |
| Date d'achèvement de la recherche | | Examineur | |
| 24 février 2023 | | Lendroit, Stéphane | |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS | | T : théorie ou principe à la base de l'invention | |
| X : particulièrement pertinent à lui seul | | E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure | |
| Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un | | à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date | |
| autre document de la même catégorie | | de dépôt ou qu'à une date postérieure. | |
| A : arrière-plan technologique | | D : cité dans la demande | |
| O : divulgation non-écrite | | L : cité pour d'autres raisons | |
| P : document intercalaire | | | |
| | | & : membre de la même famille, document correspondant | |

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2206925 FA 910920**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **24-02-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|--|---------------------|--------------------------------------|---------------------|
| WO 2019021802 A1 | 31-01-2019 | DE 112018003816 T5 | 16-04-2020 |
| | | JP WO2019021802 A1 | 28-05-2020 |
| | | US 2020227895 A1 | 16-07-2020 |
| | | WO 2019021802 A1 | 31-01-2019 |
| ----- | | | |
| US 2009135878 A1 | 28-05-2009 | CN 101447640 A | 03-06-2009 |
| | | JP 2009130206 A | 11-06-2009 |
| | | KR 20090054366 A | 29-05-2009 |
| | | TW 200924330 A | 01-06-2009 |
| | | US 2009135878 A1 | 28-05-2009 |
| ----- | | | |
| US 7826509 B2 | 02-11-2010 | EP 2097955 A1 | 09-09-2009 |
| | | JP 2010514163 A | 30-04-2010 |
| | | US 2008144677 A1 | 19-06-2008 |
| | | WO 2008127454 A1 | 23-10-2008 |
| ----- | | | |
| US 2015263488 A1 | 17-09-2015 | CA 2892581 A1 | 05-06-2014 |
| | | CN 105164874 A | 16-12-2015 |
| | | EP 2926421 A1 | 07-10-2015 |
| | | JP 2015536576 A | 21-12-2015 |
| | | TW 201429091 A | 16-07-2014 |
| | | US 2015263488 A1 | 17-09-2015 |
| | | US 2017179685 A1 | 22-06-2017 |
| | | WO 2014085562 A1 | 05-06-2014 |
| ----- | | | |
| US 2017040769 A1 | 09-02-2017 | JP 6597037 B2 | 30-10-2019 |
| | | JP 2017037870 A | 16-02-2017 |
| | | US 2017040769 A1 | 09-02-2017 |
| ----- | | | |