

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ DETECTEUR INFRAROUGE ET PROCEDE DE REALISATION ASSOCIE.

②② Date de dépôt : 06.02.23.

③③ Priorité :

⑥③ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *LYNRED Société par actions  
simplifiée — FR.*

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 09.08.24 Bulletin 24/32.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 07.03.25 Bulletin 25/10.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑦② Inventeur(s) : LE BOTERF Pascal, BOUDOU  
Nicolas et LEMETTRE Sylvain.

⑦③ Titulaire(s) : LYNRED Société par actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : LAURENT ET CHARRAS.



## Description

### Titre de l'invention : DETECTEUR INFRAROUGE ET PROCEDE DE REALISATION ASSOCIE

#### Domaine de l'invention

- [0001] L'invention a trait au domaine de la détection infrarouge, et notamment la détection mettant en œuvre des micro-bolomètres.
- [0002] Plus particulièrement, l'invention vise à limiter les déflexions susceptibles d'apparaître entre une fenêtre optique et un substrat d'embase d'un détecteur infrarouge. Cette limitation des déflexions permet notamment d'obtenir des détecteurs infrarouges avec un grand nombre de pixels et/ou avec une précision accrue.
- [0003] Ainsi, l'invention peut être mise en œuvre dans de nombreux domaines pour lesquels les images infrarouges sont actuellement utilisées, tels que les domaines de l'aérospatial, de la sécurité, de la défense, du transport, de la thermographie, de l'inspection industrielle, de l'inspection de bâtiments, du loisir, de la santé...

#### Etat de la technique

- [0004] Tel que schématiquement illustré sur la [Fig.1], un détecteur infrarouge **100** se présente classiquement sous la forme d'une cavité hermétique **16** intégrant un réseau de micro-bolomètres **19**. Chaque micro-bolomètre **19** comporte une membrane **15** montée en suspension sur un substrat d'embase **11** au moyen de clous d'ancrage **14**. La cavité hermétique **16** est généralement constituée par une fenêtre optique **12** et des parois latérales **13** fixées entre le substrat d'embase **11** et la fenêtre optique **12**.
- [0005] Un micro-bolomètre **19** est par exemple conçu pour présenter un maximum de sensibilité sur la gamme de longueurs d'onde d'intérêt 8-14 micromètres, tout en étant peu sensible au flux en dehors de cette bande spectrale. Intrinsèquement, la fenêtre optique non traitée présente une transmittance plus large que la gamme de longueurs d'onde d'intérêt.
- [0006] Pour améliorer les performances du détecteur infrarouge **100**, cette fenêtre optique est traitée ou structurée au regard des micro-bolomètres **19**. Typiquement, cette fenêtre optique est destinée à atténuer les longueurs d'onde comprises entre 2 et 8 micromètres, et à former un filtre anti-reflet pour les longueurs d'onde d'intérêt comprises entre 8 et 14 micromètres. Pour ce faire, la fenêtre optique **12** peut comporter un premier filtre **17** et un second filtre **18**, formés respectivement sur la face inférieure et la face supérieure de la fenêtre optique **12**.
- [0007] Par ailleurs, pour certaines applications, il est recherché d'obtenir plusieurs mesures de responsivité distinctes pour un même point d'une image infrarouge, par exemple avec plusieurs micro-bolomètres **19** sensibles dans des bandes spectrales différentes.

Par exemple, à partir de plusieurs mesures de responsivité distinctes, il est possible de déterminer la température absolue, c'est-à-dire une mesure de la température d'un objet d'intérêt sans utiliser d'objet de référence.

- [0008] Pour ce faire, des filtres distincts peuvent être associés à des micro-bolomètres **19** distincts. Ce mode de réalisation nécessite cependant de limiter la distance entre la fenêtre optique **12** et les micro-bolomètres **19** afin que les rayonnements infrarouges destinés à un micro-bolomètre **19** spécifique traversent principalement le filtre associé.
- [0009] Il peut également être recherché de limiter la distance entre la fenêtre optique **12** et les micro-bolomètres **19** pour simplifier le processus de fabrication.
- [0010] En outre, les performances du détecteur infrarouge **100** sont également liées au niveau de vide régnant au sein de la cavité hermétique **16**. Afin de garantir l'isolation thermique des micro-bolomètres **19**, nécessaire pour aboutir aux performances attendues, le niveau de vide dans la cavité hermétique **16** doit typiquement être inférieur à  $10^{-2}$  mbar. Pour garantir ce niveau de vide, la fenêtre optique **12** est scellée sous vide sur une extrémité supérieure des parois latérales **13** au-dessus du substrat d'embase **11** et des micro-bolomètres **19**.
- [0011] Après ce scellement sous vide, le niveau de vide peut entraîner une déflexion de la fenêtre optique **12** et/ou du substrat d'embase **11**, tel qu'illustré sur la [Fig.1]. Ces déflexions réduisent la distance **H<sub>min</sub>** entre la fenêtre optique **12** et le substrat d'embase **11**. Ainsi, pour des applications dans lesquelles la distance entre la fenêtre optique **12** et les micro-bolomètres **19** est faible, de l'ordre de 10 à 20 micromètres, si les déflexions sont trop importantes, typiquement supérieures à 10 micromètres, la fenêtre optique **12** peut entrer en contact avec les micro-bolomètres **19**, voire les détruire ou les dégrader. En outre, la déflexion de la fenêtre optique **12** peut également entraîner une dégradation des propriétés de filtrage des filtres **17-18** et perturber le signal optique reçu par les micro-bolomètres **19**.
- [0012] La déflexion dépend principalement du niveau de vide dans la cavité hermétique **16**, de la pression externe, c'est-à-dire la pression du milieu dans lequel est situé le détecteur, de la surface du détecteur infrarouge **100**, de l'épaisseur **E<sub>s</sub>** et de la nature du substrat d'embase **11**, et de l'épaisseur **E<sub>f</sub>** et de la nature de la fenêtre optique **12**.
- [0013] En pratique, pour une application dans laquelle le niveau de vide interne et la pression externe à la cavité **16** sont connus, il est possible de déterminer les limites de surface possible pour le détecteur infrarouge **100** en fonction de l'épaisseur **E<sub>s</sub>** et de la nature du substrat d'embase **11** et de l'épaisseur **E<sub>f</sub>** et de la nature de la fenêtre optique **12**.
- [0014] Par exemple, pour un vide interne de  $10^{-2}$  mbar et une pression externe d'un bar et une épaisseur **E<sub>s</sub>** du substrat d'embase **11** de 725 micromètres, il a été déterminé qu'il

est possible d'obtenir un détecteur infrarouge **100** de 1600 par 1200 pixels avec un pas pixel de 12 micromètres et une distance lors du scellement entre la fenêtre optique **12** et les micro-bolomètres **19** de 10 micromètres, mais pas un détecteur infrarouge **100** de 2048 par 1536 pixels avec une épaisseur **Ef** de la fenêtre optique **12** de 725 micromètres. En effet, pour un détecteur infrarouge **100** de 2048 par 1536 pixels, il a été déterminé numériquement que la déflexion de la fenêtre optique **12** est supérieure à 10 micromètres. Dans ces conditions, les propriétés de filtrage des filtres **17-18** sont tellement dégradées que l'effet de cette dégradation est visible sur l'image infrarouge obtenue.

[0015] Dans un autre exemple avec un pas pixel de 12 micromètres et une distance lors du scellement entre la fenêtre optique **12** et les micro-bolomètres **19** de 10 micromètres, pour un vide interne de  $10^{-2}$  mbar et une pression externe d'un bar et une épaisseur **Es** du substrat d'embase **11** de 725 micromètres, il a été déterminé qu'il est possible d'obtenir un détecteur infrarouge **100** de 1024 par 768 pixels, mais pas un détecteur infrarouge **100** de 1280 par 1024 pixels avec une épaisseur **Ef** de la fenêtre optique **12** de 300 micromètres. Dans cet exemple, un détecteur infrarouge **100** de 1280 par 1024 pixels entraînerait une déflexion de la fenêtre optique **12** supérieure à 10 micromètres et une dégradation visible des propriétés de filtrage des filtres **17-18**.

[0016] Ainsi, le phénomène de déflexion limite les possibilités de réalisation d'un détecteur infrarouge **100** pour des applications dans lesquelles la distance entre la fenêtre optique **12** et les micro-bolomètres **19** est faible. Le problème technique que se propose de résoudre l'invention consiste donc à proposer un détecteur infrarouge présentant un substrat et une fenêtre optique de grande taille et/ou fins tout en limitant la déflexion.

### **Exposé de l'invention**

[0017] L'invention propose de répondre à ce problème technique en plaçant des espaceurs entre l'extrémité supérieure d'au moins une partie des clous d'ancrage et la surface inférieure de la fenêtre optique. Ces espaceurs forment une butée mécanique propres à s'opposer à ces déflexions de la fenêtre optique et/ou du substrat d'embase.

[0018] Ainsi, l'invention concerne un détecteur infrarouge comprenant :

- un substrat d'embase supportant un réseau de micro-bolomètres, chaque micro-bolomètre étant monté en suspension au-dessus dudit substrat au moyen de clous d'ancrage s'étendant sensiblement perpendiculairement par rapport au substrat d'embase;
- des parois latérales s'étendant sensiblement perpendiculairement par rapport au substrat d'embase ; et
- une fenêtre optique fixée sur une extrémité supérieure des parois latérales au-dessus des micro-bolomètres ;

le substrat d'embase, les parois latérales et la fenêtre optique formant une cavité hermétique sous vide au sein de laquelle sont présents les micro-bolomètres.

[0019] L'invention se caractérise en ce que le détecteur infrarouge comprend également des espaceurs s'étendant à l'aplomb d'au moins 10% des clous d'ancrage, ces espaceurs étant également orientés sensiblement perpendiculairement par rapport au substrat d'embase, lesdits espaceurs formant une butée apte à coopérer avec la face inférieure de la fenêtre optique, ou avec l'extrémité supérieure des clous d'ancrage, et ainsi limiter les déflexions de la fenêtre optique et/ou du substrat.

[0020] L'invention permet ainsi de limiter les déflexions de la fenêtre optique et/ou du substrat. Avec ces déflexions limitées, il est désormais possible de limiter l'épaisseur de la fenêtre optique et du substrat d'embase sans risquer de dégrader les micro-bolomètres après scellement sous vide de la cavité hermétique. En effet, la fenêtre optique ne risque plus de rentrer en contact avec les membranes en suspension des micro-bolomètres.

[0021] Pour des besoins d'encombrement, il est également possible de limiter le volume de la cavité hermétique en réduisant la distance entre la fenêtre optique et le substrat d'embase.

[0022] En reprenant l'exemple de l'état de la technique, avec un pas pixel de 12 micromètres, une distance lors du scellement entre la fenêtre optique et les micro-bolomètres de 10 micromètres, un vide interne de  $10^{-2}$  mbar et une pression externe d'un bar, une épaisseur du substrat d'embase et de la fenêtre optique de 725 micromètres, il est désormais possible avec l'invention d'obtenir un détecteur infrarouge de 2048 par 1536 pixels.

[0023] Pour obtenir cet effet de limitation des déflexions, au moins 10% des clous d'ancrage doivent être associés à un espaceur orienté sensiblement perpendiculairement par rapport au substrat d'embase.

[0024] Ces espaceurs peuvent être répartis uniformément sur les clous d'ancrage, par exemple sur tous les clous d'ancrage ou tous les 2, 4 ou 8 clous d'ancrage d'une ligne.

[0025] En variante, les espaceurs peuvent également être répartis selon une loi de répartition non-uniforme qui fait croître le nombre d'espaceurs au niveau du centre du détecteur infrarouge. Ce mode de réalisation permet de limiter le nombre d'espaceurs en plaçant un grand nombre d'espaceurs dans les zones les plus sensibles aux déflexions, typiquement le centre du détecteur infrarouge.

[0026] Pour garantir le support mécanique de la fenêtre optique, les espaceurs peuvent présenter une section transversale comprise entre 0.5 et 1.5 micromètre carré.

[0027] En outre, la hauteur des espaceurs peut être au moins deux fois supérieure à celle des clous d'ancrage, typiquement une hauteur de 5 micromètres comparativement à une hauteur des clous d'ancrage de l'ordre de 2 micromètres.

- [0028] En pratique, le contact entre les espaceurs et la fenêtre optique ou les clous d'ancrage est observé après scellement sous vide de la cavité. Ainsi, avant le scellement sous vide de la cavité, les espaceurs peuvent être préalablement fixés sur la fenêtre optique ou sur les clous d'ancrage. Pour obtenir le scellement sous vide de la cavité, le substrat d'embase et la fenêtre optique sont placés dans un four de scellement sous vide. Après le scellement, la pression remonte dans le four de scellement et des déflexions de la fenêtre optique ou du substrat d'embase peuvent alors apparaître.
- [0029] Ainsi, dans un mode de réalisation, les espaceurs sont réalisés sur la face inférieure de la fenêtre optique et entrent en contact avec les clous d'ancrage du substrat d'embase après scellement sous vide de la cavité formée autour des micro-bolomètres par le substrat d'embase, les parois latérales et la fenêtre optique.
- [0030] Selon un autre mode de réalisation, les espaceurs sont réalisés dans le prolongement des clous d'ancrage du substrat d'embase et entrent en contact avec la fenêtre optique après scellement sous vide de la cavité formée autour des micro-bolomètres par le substrat d'embase, les parois latérales et la fenêtre optique.
- [0031] Dans ce mode de réalisation, il peut être nécessaire de prévoir des zones de réception des espaceurs sur la fenêtre optique. Ainsi, la fenêtre optique peut être pourvue de zones planes destinées à coopérer avec l'extrémité supérieure des espaceurs après scellement sous vide de la cavité.
- [0032] En effet, la fenêtre optique peut être munie sur sa face supérieure d'un filtre multicouche interférentiel ou d'un réseau périodique de diffraction, et sur sa face inférieure, d'un filtre multicouche interférentiel ou d'un réseau périodique de diffraction. Lorsque la face inférieure est structurée par un réseau périodique de diffraction, il est avantageux de prévoir des zones planes pour recevoir les espaceurs et limiter les dégradations possibles des motifs dudit réseau.
- [0033] En variante, pour protéger les motifs du réseau périodique de diffraction sans limiter la surface utile de ce dernier sur la face inférieure de la fenêtre optique, un support supérieur, transparent aux rayonnements dans la gamme de longueurs d'onde d'intérêt des micro-bolomètres, peut être formé sur les espaceurs. Dans ce mode de réalisation, le détecteur infrarouge comprend un support supérieur fixé à l'extrémité supérieure des espaceurs et placé entre les espaceurs et la fenêtre optique après scellement sous vide de la cavité. La gamme de longueurs d'onde d'intérêt correspond typiquement à la gamme de 8-14 micromètres.
- [0034] Pour réaliser les espaceurs sur les clous d'ancrage, l'invention peut mettre en œuvre des étapes de fabrication additives connues en utilisant plusieurs couches sacrificielles.
- [0035] Ainsi, l'invention concerne également un procédé de réalisation d'un détecteur infrarouge comprenant les étapes suivantes :
- dépôt et structuration d'une première couche sacrificielle sur un substrat d'embase ;

- formation de clous d’ancrage à travers la première couche sacrificielle jusqu’à atteindre le substrat d’embase ;
- formation de membranes sur la première couche sacrificielle et les clous d’ancrage ;
- dépôt et structuration d’une seconde couche sacrificielle sur les membranes et la première couche sacrificielle ;
- formation d’espaceurs à travers la seconde couche sacrificielle et dans le prolongement d’une partie au moins des clous d’ancrage ; et
- suppression des couches sacrificielles de sorte à libérer les micro-bolomètres formés par les membranes et les clous d’ancrage ;
- réalisation d’une fenêtre optique ;
- formation de parois latérales sur le substrat d’embase ou la fenêtre optique et autour des micro-bolomètres ; les parois latérales étant réalisées avant la suppression des couches sacrificielles lorsqu’elles sont formées sur le substrat d’embase ;
- report de la fenêtre optique sur le substrat d’embase ; et
- scellement sous vide de la cavité formée par le substrat d’embase, les parois latérales et la fenêtre optique ; les espaceurs formant une butée apte à coopérer avec la face inférieure de la fenêtre optique et ainsi limiter les déflexions de la fenêtre optique et/ou du substrat.

[0036] Ce procédé permet de réutiliser des étapes connues de fabrication additive pour réaliser les espaceurs sur les clous d’ancrage. Il est ainsi possible d’obtenir un détecteur infrarouge avec des espaceurs limitant les déflexions tout en utilisant les outils de production classiques des détecteurs infrarouges.

### **Brève description des figures**

- [0037] L’invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, donnée uniquement à titre d’exemple, et réalisée en relation avec les dessins annexés, dans lesquels des références identiques désignent des éléments identiques ou analogues, et dans lesquels :
- [0038] La [Fig.1] illustre une vue schématique en section d’un détecteur infrarouge de l’état de la technique ;
- [0039] La [Fig.2] illustre une vue schématique en section d’un détecteur infrarouge selon un premier mode de réalisation de l’invention avant l’étape de scellement sous vide du boîtier ;
- [0040] La [Fig.3] illustre une vue schématique en section du détecteur infrarouge de la [Fig.2] après l’étape de scellement sous vide du boîtier ;
- [0041] La [Fig.4] illustre une vue schématique en section d’un détecteur infrarouge selon un deuxième mode de réalisation de l’invention avant l’étape de scellement sous vide du boîtier ;

- [0042] La [Fig.5] illustre une vue schématique en section du détecteur infrarouge de la [Fig.4] après l'étape de scellement sous vide du boîtier ;
- [0043] La [Fig.6] illustre une vue schématique en section d'un détecteur infrarouge selon un troisième mode de réalisation de l'invention avant l'étape de scellement sous vide du boîtier ;
- [0044] La [Fig.7] illustre une vue schématique en section du détecteur infrarouge de la [Fig.6] après l'étape de scellement sous vide du boîtier ;
- [0045] La [Fig.8] illustre une vue schématique en section d'un détecteur infrarouge selon un quatrième mode de réalisation de l'invention avant l'étape de scellement sous vide du boîtier ;
- [0046] La [Fig.9] illustre une vue schématique en section du détecteur infrarouge de la [Fig.8] après l'étape de scellement sous vide du boîtier ; et
- [0047] Les [Fig.10], [Fig.11], [Fig.12], [Fig.13], [Fig.14], [Fig.15], [Fig.16] illustrent une vue schématique en section des étapes de réalisation d'un substrat d'embase du détecteur infrarouge de la [Fig.2].

### **Description détaillée de l'invention**

- [0048] Pour limiter la déflexion entre la fenêtre optique **12** et le substrat d'embase **11** d'un détecteur infrarouge, l'invention propose d'utiliser des espaceurs **20**. Les figures 3, 5, 7 et 9 illustrent quatre modes de réalisation différents permettant de limiter cette déflexion.
- [0049] Dans tous ces modes de réalisation, le substrat d'embase **11** supporte un réseau de micro-bolomètres **19**. Plus précisément, chaque micro-bolomètre **19** comporte une membrane **15** montée en suspension au-dessus du substrat d'embase **11** au moyen de clous d'ancrage **14**. Par exemple, chaque membrane **15** peut être montée sur deux ou quatre clous d'ancrage **14** au moyen de bras de suspension visant à limiter la conduction thermique entre la membrane **15** et le substrat d'embase **11**. Par ailleurs, le substrat d'embase **11** peut également supporter un réflecteur disposé sous les membranes **15**.
- [0050] Les micro-bolomètres **19** sont classiquement disposés sous la forme d'un réseau de lignes et de colonnes pour former les points d'image, ou pixels, d'une image infrarouge.
- [0051] Outre les micro-bolomètres **19** représentés sur les figures 2 à 9, d'autres types de micro-bolomètres **19** peuvent également être structurés sur le substrat d'embase **11**, par exemple des micro-bolomètres thermalisés avec le substrat, afin de rejeter une composante non utile du signal, appelée mode commun, qui peut être largement prédominante. La réjection de cette composante permet de lire le signal utile en utilisant au maximum la dynamique électrique du circuit de lecture.

- [0052] Dans le mode de réalisation des figures 2 à 7, des espaceurs **20** sont formés sur plusieurs clous d'ancrage **14** des micro-bolomètres **19** de détection.
- [0053] Plus précisément, selon l'invention, les espaceurs **20** s'étendent à l'aplomb d'au moins 10 % des clous d'ancrage **14** et sensiblement perpendiculairement par rapport au substrat d'embase **11**. Dans l'exemple des figures 2 à 7, un micro-bolomètre **19** sur deux présente des espaceurs **20** fixés sur des clous d'ancrage **14**. En variante, la répartition des espaceurs **20** peut prendre différentes formes sans changer l'invention, pour peu qu'au moins 10 % des clous d'ancrage **14** soient surmontés par des espaceurs **20**. Ainsi, la répartition des espaceurs **20** peut être uniforme. Ces espaceurs **20** peuvent notamment être placés sur tous les clous d'ancrage **14**, sur un clou d'ancrage **14** sur deux, sur un clou d'ancrage **14** sur quatre ou encore sur un clou d'ancrage **14** sur huit, sans changer l'invention.
- [0054] Par ailleurs, la répartition des clous d'ancrage **14** peut également être non uniforme, c'est-à-dire que davantage d'espaceurs **20** sont placés dans certaines zones du détecteur infrarouge **10 a-10d**. Typiquement, il peut être recherché d'avoir un espaceur **20** positionné sur chaque clou d'ancrage **14** sur une zone sensiblement centrale du détecteur infrarouge **10a-10d**, alors qu'une zone en périphérie présente un espaceur **20** sur deux ou sur quatre clous d'ancrages **14**. La limite entre la zone centrale et la zone périphérique du détecteur infrarouge **10a-10d** peut être déterminée de sorte que la zone centrale couvre une surface deux fois plus faible que la zone périphérique, ou par toute autre définition mathématique.
- [0055] Outre le substrat d'embase **11** et ses micro-bolomètres **19**, un détecteur infrarouge **10a - 10d** comporte également une fenêtre optique **12** fixée sur une extrémité supérieure de parois latérales **13** et au-dessus des micro-bolomètres **19**. Les parois latérales **13** peuvent être formées indépendamment du substrat d'embase **11** et de la fenêtre optique **12** et fixées sur le substrat d'embase **11** avant le report de la fenêtre optique **12**. En variante, il est possible de structurer le substrat d'embase **11** ou la fenêtre optique **12** de sorte à former des parois latérales **13**.
- [0056] Par exemple, ces parois latérales **13** peuvent être réalisées en silicium amorphe permettant d'encapsuler latéralement les micro-bolomètres **19**. Quelle que soit la technologie de formation des parois latérales **13**, celles-ci s'étendent sensiblement perpendiculairement par rapport au substrat d'embase **11** et permettent de former une cavité hermétique sous vide **16** par la fixation de la fenêtre optique **12** sur les extrémités supérieures desdites parois.
- [0057] Pour limiter les déflexions, les espaceurs **20** forment une butée entre les clous ancrage **14** des micro-bolomètres **19** et la fenêtre optique **12**. Classiquement, la fenêtre optique **12** est structurée par des filtres permettant de limiter les rayonnements incidents sur les micro-bolomètres **19**.

- [0058] Dans l'exemple des figures 2 et 3, la fenêtre optique **12** est structurée avec deux filtres multicouches interférentiels **17** et **18**. L'épaisseur totale **Ef** de la fenêtre optique **12** correspond donc à l'épaisseur du substrat de cette fenêtre optique **12** ajoutée à l'épaisseur des deux filtres multicouches interférentiels **17** et **18**. Tel qu'illustré sur la [Fig.2], lorsque la fenêtre optique **12** est reportée sur le substrat d'embase **11**, les espaceurs **20** ne touchent pas nécessairement la fenêtre optique **12**. Après scellement sous vide, nécessaire pour former le détecteur infrarouge **10 a** illustré sur la [Fig.3], une déflexion apparaît et cette déflexion entraîne un contact entre les espaceurs **20** et la fenêtre optique **12**. Plus précisément, dans l'exemple de la [Fig.3], les espaceurs **20** entrent en contact avec le filtre multicouche interférentiel **17** réalisé sur la face inférieure de la fenêtre optique **12**.
- [0059] La hauteur des clous d'ancrage **14** et des espaceurs **20** permet de définir la hauteur minimum **Hmin** de la cavité **16**. En effet, lorsque la fenêtre optique **12** entre en contact avec les espaceurs **20**, les déflexions de la fenêtre optique **12** et/ou du substrat d'embase **11** sont limitées. Typiquement, la hauteur des clous d'ancrage **14** peut être comprise entre 2 et 2,5 micromètres alors que la hauteur des espaceurs **20** peut être comprise entre 5 et 10 micromètres.
- [0060] Les espaceurs **20** présentent préférentiellement une section inférieure aux clous d'ancrage **14**. Typiquement, les clous d'ancrage **14** peuvent présenter une section de 2 micromètres carré alors que les espaceurs **20** peuvent présenter une section transversale comprise entre 0.5 et 1.5 micromètre carré. Compte tenu de la hauteur et de la section des espaceurs **20**, et s'ils sont réalisés dans le même matériau, ceux-ci sont donc bien moins thermiquement conducteurs que les clous d'ancrage **14**. Par ailleurs, les clous d'ancrage **14** intègrent classiquement des éléments métalliques permettant d'effectuer une reprise de contact avec la membrane **15**. Or, ces éléments métalliques sont naturellement des conducteurs thermiques. En ce qui concerne les espaceurs **20**, ils n'ont aucune fonction de conduction électrique de sorte qu'ils peuvent être réalisés dans un matériau thermiquement isolant, tel que du silicium amorphe.
- [0061] Dans l'exemple des figures 4 et 5, la fenêtre optique **12** présente un réseau périodique de diffraction **21** structuré sur sa face inférieure. Ce réseau périodique de diffraction permet, comme les filtres multicouches interférentiel, de filtrer une partie des rayonnements infrarouges incidents. Cependant, un tel réseau périodique de diffraction est davantage sensible aux risques de détérioration dus au contact avec un espaceur **20**. Pour limiter ce risque, il est possible de prévoir des zones planes **22**, c'est-à-dire des zones dans lesquelles aucune structure d'un réseau périodique de diffraction **21** n'est réalisée. Ces zones planes **22** sont destinées à coopérer avec l'extrémité supérieure des espaceurs **20** après scellement sous vide de la cavité **16**.

- [0062] Typiquement, avec des espaceurs **20** dont la section est d'environ 1 micromètre carré, et une précision d'alignement de la fenêtre optique **12** par rapport au substrat d'embase **11** de l'ordre de 2 micromètres lors du report de la fenêtre optique **12**, il peut être réalisé des zones planes comprises entre 3 et 5 micromètres de côté.
- [0063] Ainsi, pour le détecteur infrarouge **10 b** de la [Fig.5], les espaceurs **20** entrent en contact avec les zones planes **22** de la fenêtre optique **12** après scellement sous vide de la cavité **16**, de sorte à limiter la détérioration possible des réseaux périodiques de diffraction **21**.
- [0064] Dans l'exemple des figures 6 et 7, un support supérieur **23**, transparent aux rayonnements infrarouges dans la gamme de longueurs d'onde d'intérêt des micro-bolomètres **19**, est placé au-dessus des espaceurs **20**. Ce support supérieur **23** permet de constituer une zone d'appui pour la fenêtre optique **12** afin de répartir la pression mécanique de support des espaceurs **20** avec la fenêtre optique **12**. Ce faisant, le risque de détérioration d'un réseau périodique de diffraction **21** formé sur la face inférieure de la fenêtre optique **12** est limité, et il n'est plus nécessaire de ménager des zones planes. Par ailleurs, ce support supérieur s'étend sur toute la surface des micro-bolomètres **19** dans l'exemple des figures 6 et 7. En variante, ce support supérieur **23** peut s'étendre uniquement au centre du détecteur infrarouge **10 c**.
- [0065] Dans l'exemple des figures 8 et 9, des espaceurs **20** sont fixés sur la face inférieure de la fenêtre optique **12** et viennent en contact avec les clous d'ancrage **14** après scellement sous vide de la cavité **16**. Ce mode de réalisation permet également de garantir une hauteur minimale **H<sub>min</sub>** entre la fenêtre optique **12** et le substrat d'embase **11**.
- [0066] Les figures 10 à 16 illustrent un mode de réalisation d'espaceurs **20** sur les clous d'ancrage **14** d'un substrat d'embase **11**.
- [0067] Pour ce faire, une première étape consiste à déposer et à structurer une couche sacrificielle **30** sur un substrat d'embase **11**. Les clous d'ancrage **14** sont ensuite formés lors d'une seconde étape à l'intérieur des motifs de structuration de la couche sacrificielle, tel qu'illustré sur la [Fig.11]. Les membranes **15** des différents micro-bolomètres **19** sont ensuite formées sur la couche sacrificielle **30** et les clous d'ancrage **14**, tel qu'illustré sur la [Fig.12].
- [0068] Une seconde couche sacrificielle **31** est déposée sur les membranes **15** et sur la première couche sacrificielle **30**. Cette seconde couche sacrificielle **31** est également structurée afin de définir des zones pour lesquelles les espaceurs **20** sont appelés à être réalisés, et en l'espèce, dans le prolongement des clous d'ancrage **14**, tel qu'illustré sur la [Fig.13].
- [0069] Tel qu'illustré sur la [Fig.14], les espaceurs **20** peuvent ensuite être formés par dépôt de matière dans les motifs de structuration de la seconde couche sacrificielle **31**. Ce

dépôt peut être constitué de silicium amorphe réalisé par dépôt physique en phase vapeur.

- [0070] La fine couche de silicium amorphe **43** déposée sur la seconde couche sacrificielle **31** peut ensuite être supprimée, par exemple par gravure ionique réactive, tel qu'illustré sur la [Fig.15]. En variante, il est possible de conserver cette couche de silicium amorphe **43** pour obtenir le support supérieur **23** des figures 6 et 7. Si cette couche de silicium amorphe **43** est conservée, il est être nécessaire de réaliser des événements dans cette couche de silicium amorphe **43** pour permettre le retrait des deux couches sacrificielles **30** et **31**.
- [0071] Ainsi, après le retrait des deux couches sacrificielles **30** et **31** permettant d'obtenir la libération des micro-bolomètres **19**, les espaceurs **20** sont fixés dans le prolongement d'au moins une partie des clous d'ancrage **14**, tel qu'illustré sur la [Fig.16].
- [0072] Pour obtenir un détecteur infrarouge, il convient également de réaliser la fenêtre optique **12**, de former les parois latérales **13** sur le substrat d'embase **11** ou sur la fenêtre optique **12**, de reporter la fenêtre optique **12** sur le substrat d'embase **11** et de sceller sous vide la fenêtre optique **12** sur le substrat d'embase **11** afin de former la cavité **16**.
- [0073] Lorsque les parois latérales **13** sont formées sur le substrat d'embase **11**, celles-ci sont classiquement formées avant la libération des micro-bolomètres **19**.
- [0074] Ce faisant, l'invention permet d'obtenir une cavité **16** avec une hauteur minimum fixe **H<sub>min</sub>** entre le substrat d'embase **11** et la fenêtre optique **12** si bien qu'il est possible d'utiliser un substrat d'embase **11** avec une épaisseur **E<sub>s</sub>** inférieure aux épaisseurs de l'état de la technique ou encore une fenêtre optique **12** avec une épaisseur **E<sub>s</sub>** inférieure aux épaisseurs de l'état de la technique en s'affranchissant des contraintes de rapprochement de ces deux éléments. Il est également possible de former des détecteurs infrarouges **10a-10d** avec des surfaces de détection supérieures aux surfaces de l'état de la technique.
- [0075] Plus précisément, avec un vide interne de  $10^{-2}$  mbar et une pression externe d'un bar, une épaisseur **E<sub>s</sub>** du substrat d'embase **11** de 725 micromètres, et une épaisseur **E<sub>f</sub>** de la fenêtre optique **12** de 725 micromètres, il est désormais possible d'obtenir des déflexions inférieures à 10 micromètres en formant un détecteur infrarouge **10a - 10d** avec une résolution supérieure ou égale à 2048 par 1536 pixels.
- [0076] Ainsi, en limitant le phénomène de déflexion, l'invention permet d'obtenir un détecteur infrarouge présentant un substrat et une fenêtre optique de grande taille et/ou fins. L'invention permet par exemple de réaliser un détecteur infrarouge avec des filtres distincts pour différents micro-bolomètres ou, plus simplement, de limiter la distance entre la fenêtre optique **12** et les micro-bolomètres **19** pour simplifier le processus de fabrication ou limiter l'encombrement.

## Revendications

[Revendication 1]

Détecteur infrarouge (10a-10d) comprenant :

- un substrat d'embase (11) supportant un réseau de micro-bolomètres (19), chaque micro-bolomètre (19) étant monté en suspension au-dessus dudit substrat au moyen de clous d'ancrage (14) s'étendant sensiblement perpendiculairement par rapport au substrat d'embase (11);
  - des parois latérales (13) s'étendant sensiblement perpendiculairement par rapport au substrat d'embase (11) ; et
  - une fenêtre optique (12) fixée sur une extrémité supérieure des parois latérales (13) au-dessus des micro-bolomètres (19) ; la fenêtre optique (12) ne comportant pas d'évent ;
- le substrat d'embase (11), les parois latérales (13) et la fenêtre optique (12) formant une cavité hermétique sous vide (16) au sein de laquelle sont présents les micro-bolomètres (19) ;

**caractérisé** en ce que le détecteur infrarouge (10a-10d) comprend également des espaceurs (20) s'étendant à l'aplomb d'au moins 10% des clous d'ancrage (14), ces espaceurs (20) étant également orientés sensiblement perpendiculairement par rapport au substrat d'embase (11), lesdits espaceurs (20) formant une butée apte à coopérer avec la face inférieure de la fenêtre optique (12), ou avec l'extrémité supérieure des clous d'ancrage (14), et ainsi limiter les déflexions de la fenêtre optique (12) et/ou du substrat (11).

[Revendication 2]

Détecteur infrarouge selon la revendication 1, **dans lequel** les espaceurs (20) présentent une section transversale comprise entre 0.5 et 1.5 micromètre carré.

[Revendication 3]

Détecteur infrarouge selon la revendication 1 ou 2, **dans lequel** les espaceurs (20) sont répartis uniformément sur les clous d'ancrage (14).

[Revendication 4]

Détecteur infrarouge selon la revendication 1 ou 2, **dans lequel** les espaceurs (20) sont répartis selon une loi de répartition non-uniforme qui fait croître le nombre d'espaceurs (20) au niveau du centre du détecteur infrarouge (10a-10d).

[Revendication 5]

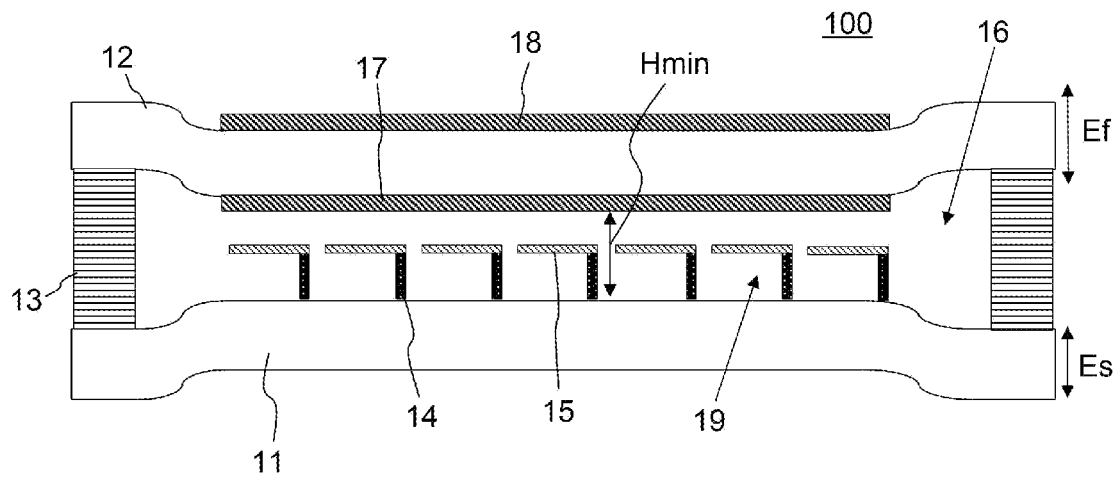
Détecteur infrarouge selon l'une des revendications 1 à 4, **dans lequel** les espaceurs (20) sont réalisés sur la face inférieure de la fenêtre optique (12) et entrent en contact avec les clous d'ancrage du substrat d'embase (11).

- [Revendication 6] Détecteur infrarouge selon l'une des revendications 1 à 4, **dans lequel** les espaceurs (20) sont réalisés dans le prolongement des clous d'ancrage du substrat d'embase (11) et entrent en contact avec la fenêtre optique (12).
- [Revendication 7] Détecteur infrarouge selon la revendication 6, **dans lequel** la fenêtre optique (12) est pourvue de zones planes (22) coopérant avec l'extrémité supérieure des espaceurs (20).
- [Revendication 8] Détecteur infrarouge selon la revendication 6, **dans lequel** le détecteur infrarouge (10a-10d) comprend un support supérieur (23), transparent aux rayonnements dans la gamme de longueurs d'onde d'intérêt des micro-bolomètres (19), fixé à l'extrémité supérieure des espaceurs (20) et placé entre les espaceurs (20) et la fenêtre optique (12).
- [Revendication 9] Détecteur infrarouge selon l'une des revendications 1 à 8, **dans lequel** la fenêtre optique (12) comprend une face supérieure munie d'un filtre multicouche interférentiel (18) ou d'un réseau périodique de diffraction, et une face inférieure munie d'un filtre multicouche interférentiel (17) ou d'un réseau périodique de diffraction (21).
- [Revendication 10] Procédé de réalisation d'un détecteur infrarouge (10a-10d) comprenant les étapes suivantes :
- dépôt et structuration d'une première couche sacrificielle (30) sur un substrat d'embase (11) ;
  - formation de clous d'ancrage (14) à travers la première couche sacrificielle (30) jusqu'à atteindre le substrat d'embase (11) ;
  - formation de membranes (15) sur la première couche sacrificielle (30) et les clous d'ancrage (14) ;
  - dépôt et structuration d'une seconde couche sacrificielle (31) sur les membranes (15) et la première couche sacrificielle (30) ;
  - formation d'espaceurs (20) à travers la seconde couche sacrificielle (31) et dans le prolongement d'une partie au moins des clous d'ancrage (14) ; et
  - suppression des couches sacrificielles (30, 31) de sorte à libérer les micro-bolomètres (19) formés par les membranes (15) et les clous d'ancrage (14) ;
  - réalisation d'une fenêtre optique (12) ;
  - formation de parois latérales (13) sur le substrat d'embase (11) ou sur la fenêtre optique (12) et autour des micro-bolomètres (19) ; les parois latérales (13) étant réalisées avant la suppression des couches

sacrificielles (30, 31) lorsqu'elles sont formées sur le substrat d'embase (11) ;

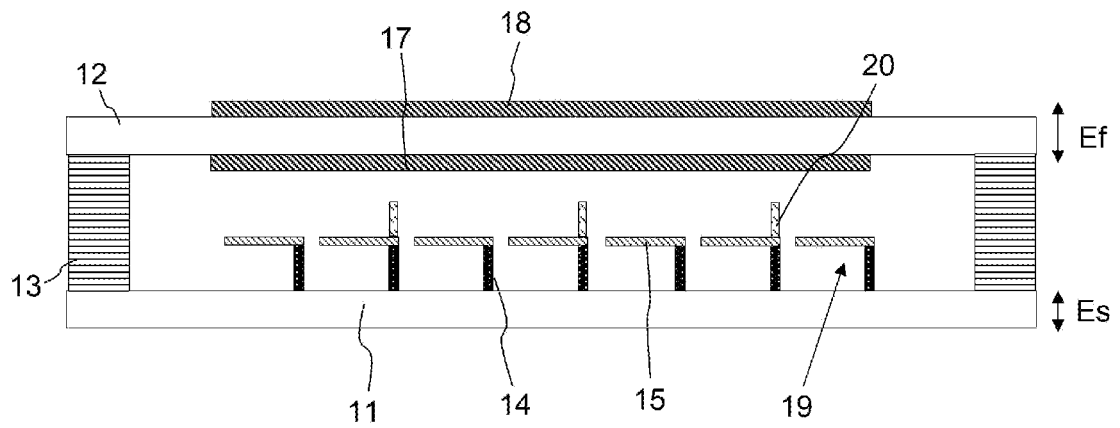
- report de la fenêtre optique (12) sur le substrat d'embase (11) ; et
  - scellement sous vide de la cavité (16) formée par le substrat d'embase (11), les parois latérales (13) et la fenêtre optique (12) ;
- après scellement sous vide de la cavité (16), les espaceurs (20) formant une butée apte à coopérer avec la face inférieure de la fenêtre optique (12) et ainsi limiter les déflexions de la fenêtre optique (12) et/ou du substrat (11).

[Fig. 1]

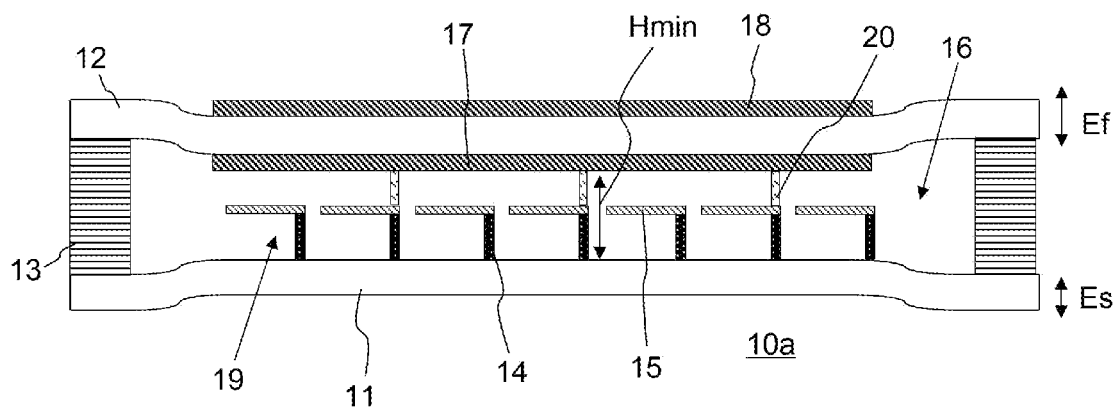


Etat de la technique

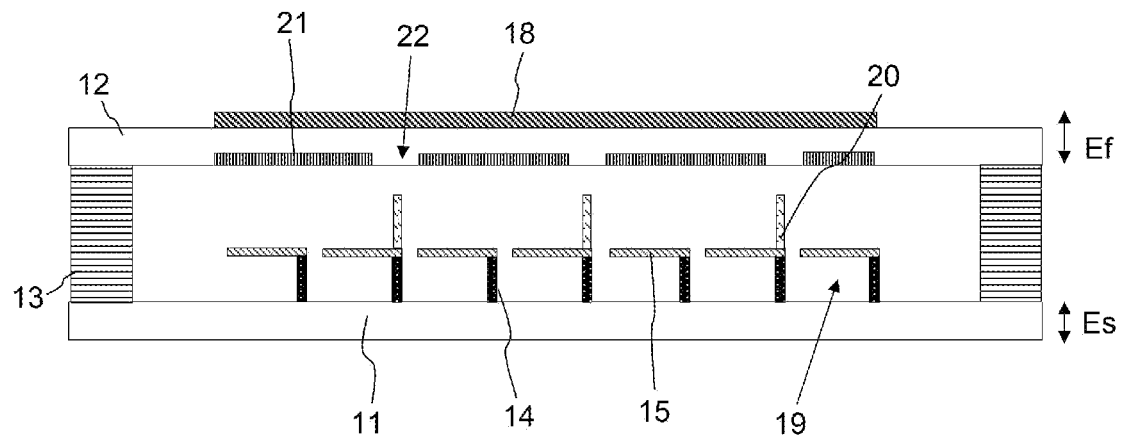
[Fig. 2]



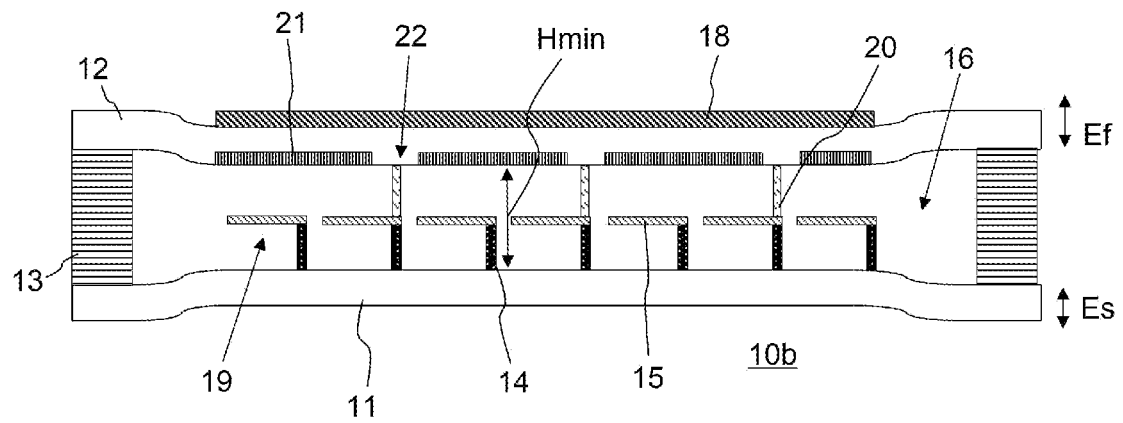
[Fig. 3]



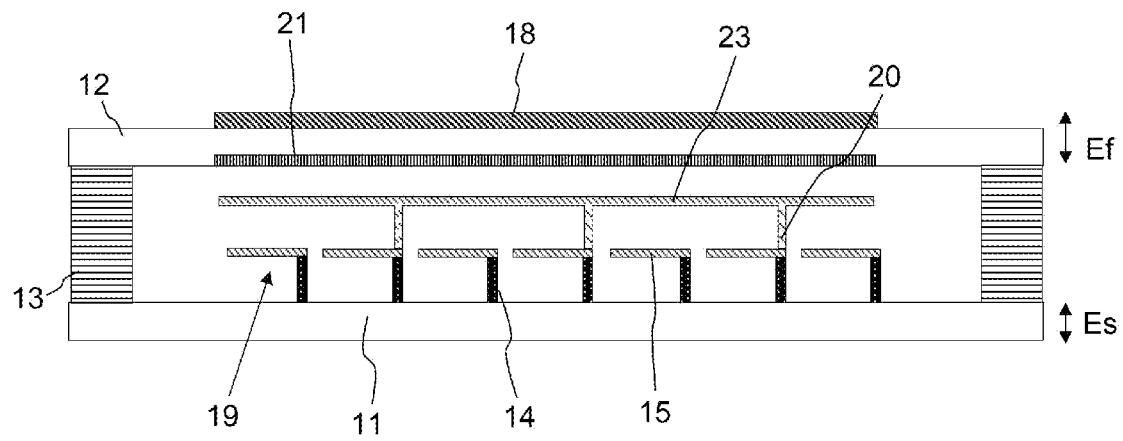
[Fig. 4]



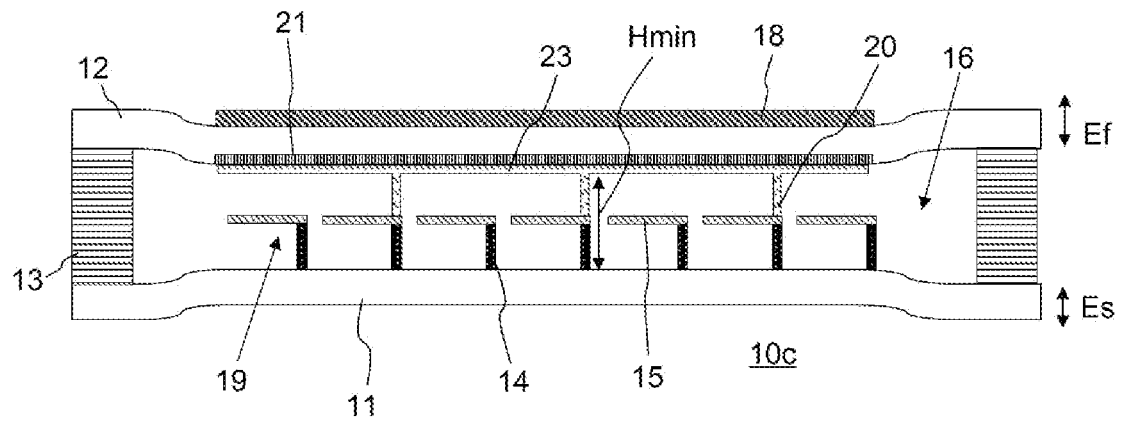
[Fig. 5]



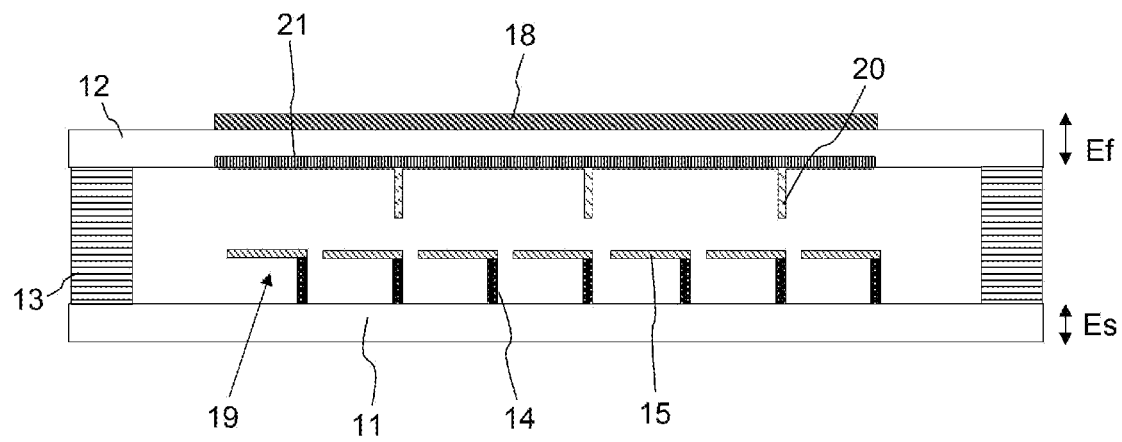
[Fig. 6]



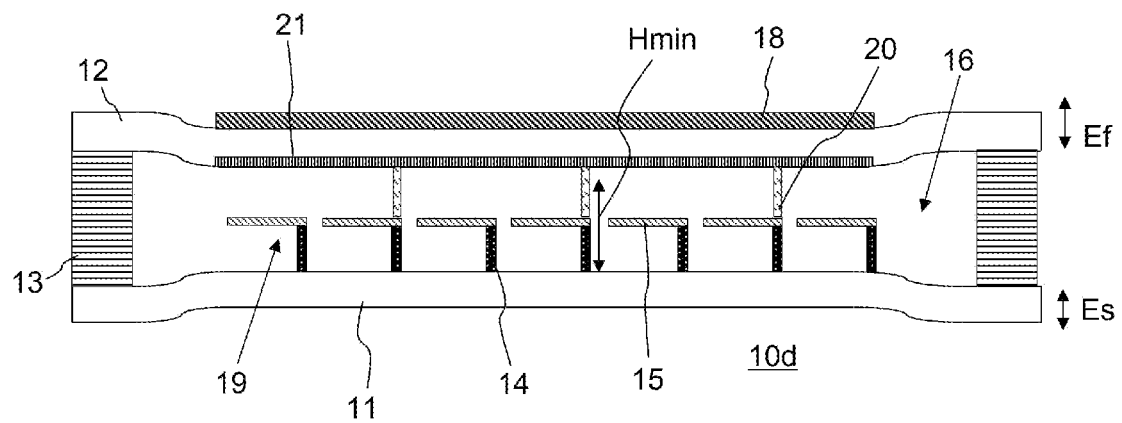
[Fig. 7]



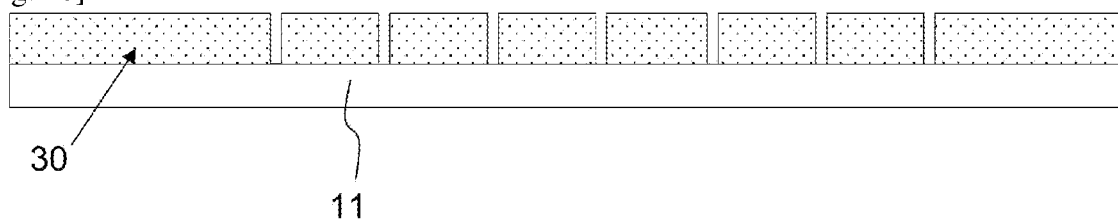
[Fig. 8]



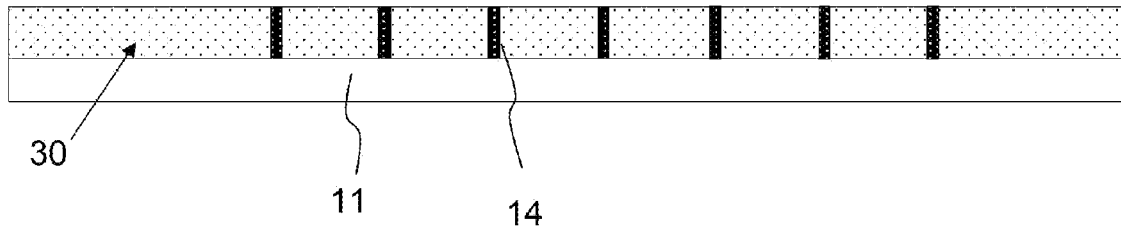
[Fig. 9]



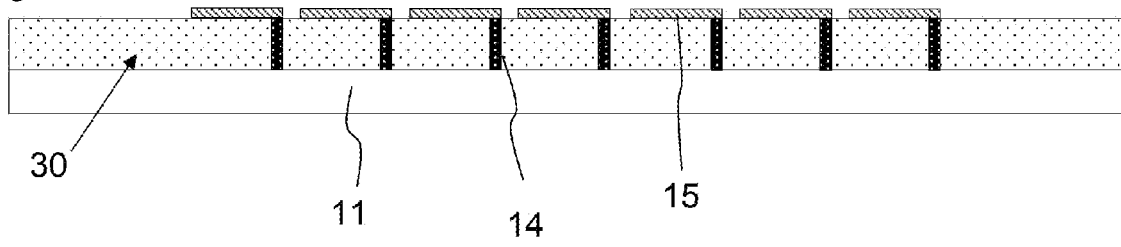
[Fig. 10]



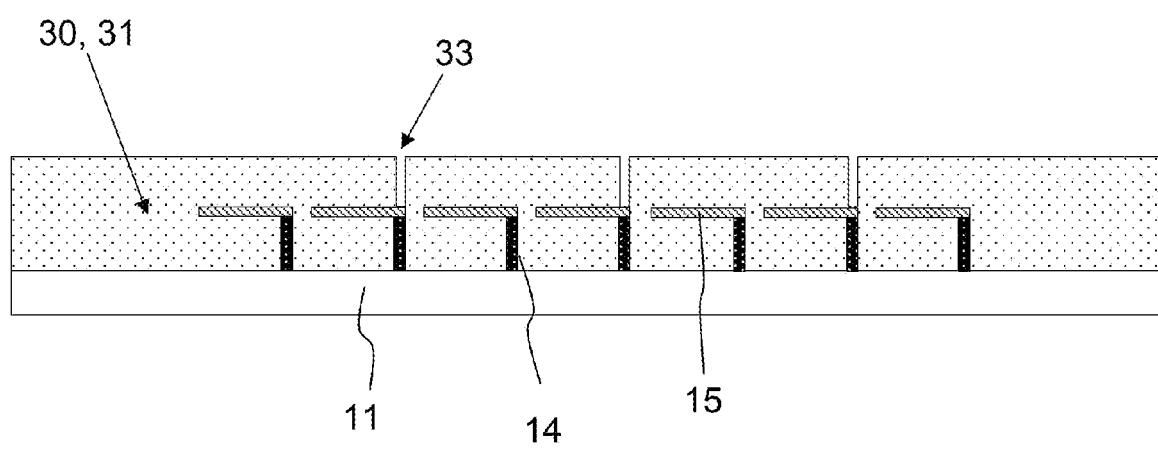
[Fig. 11]



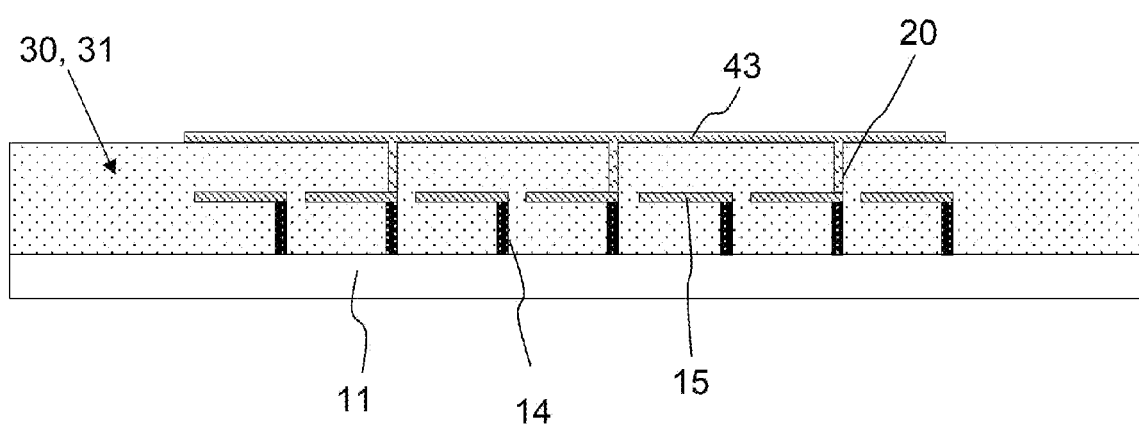
[Fig. 12]



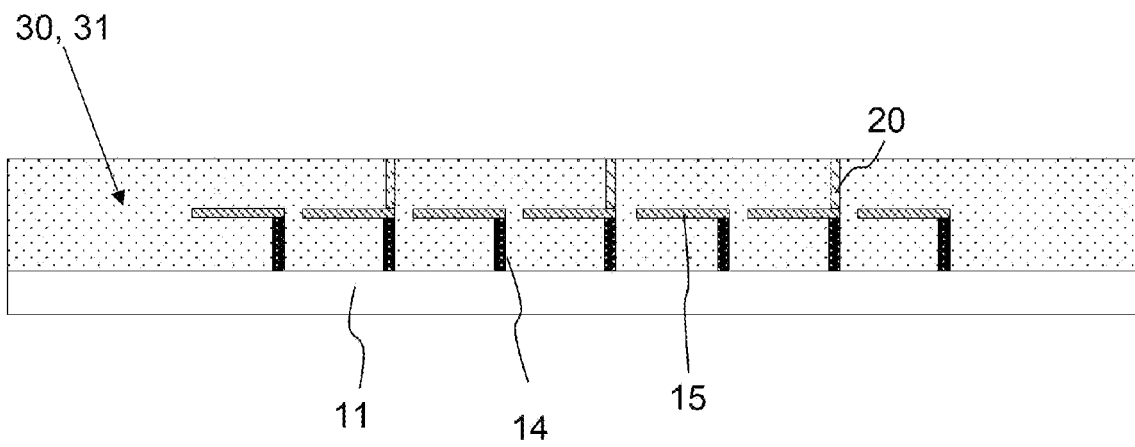
[Fig. 13]



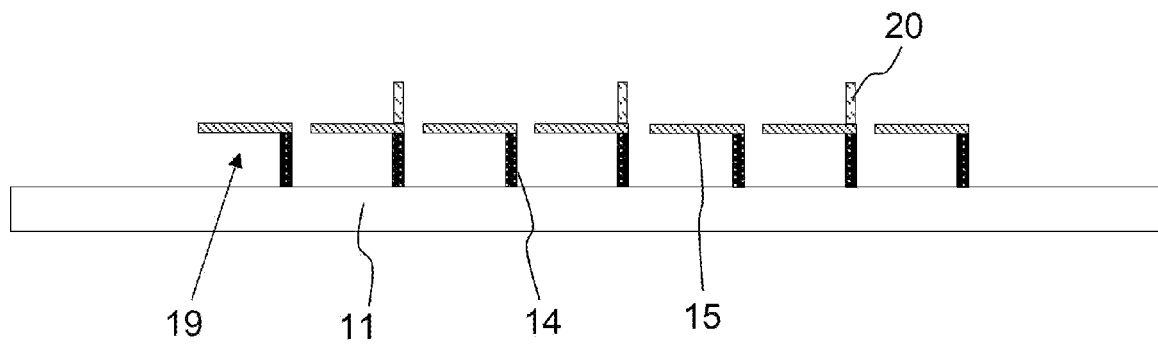
[Fig. 14]



[Fig. 15]



[Fig. 16]



# RAPPORT DE RECHERCHE

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

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

US 2018/321087 A1 (LEDUC PATRICK [FR] ET AL) 8 novembre 2018 (2018-11-08)

US 2002/175284 A1 (VILAIN MICHEL [FR]) 28 novembre 2002 (2002-11-28)

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

WO 2022/058087 A1 (LYNRED [FR]; MSG LITHOGLAS GMBH [DE]) 24 mars 2022 (2022-03-24)

EP 2 335 037 B1 (LYNRED [FR]) 11 décembre 2019 (2019-12-11)

FR 2 985 576 A1 (ULIS [FR]) 12 juillet 2013 (2013-07-12)

US 2016/245701 A1 (YON JEAN-JACQUES [FR] ET AL) 25 août 2016 (2016-08-25)

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

NEANT