

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

①① **N° de publication :** **3 125 877**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②① **N° d'enregistrement national :** **21 08295**
⑤① Int Cl⁸ : **G 01 J 5/06 (2020.12), G 01 J 5/20, H 01 L 27/14**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **PROCÉDE DE RÉALISATION D'UN MICRO-BOLOMETRE D'IMAGERIE INFRAROUGE AVEUGLE ET MICRO-BOLOMETRE ASSOCIE.**

②② **Date de dépôt :** 30.07.21.

③③ **Priorité :**

④③ **Date de mise à la disposition du public
de la demande :** 03.02.23 Bulletin 23/05.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention :** 30.06.23 Bulletin 23/26.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux
apparentés :**

○ **Demande(s) d'extension :**

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

⑦② **Inventeur(s) :** LUDURCZAK Willy et CORTIAL
Sébastien.

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

⑦④ **Mandataire(s) :** CABINET LAURENT ET CHARRAS.

FR 3 125 877 - B1



Description

Titre de l'invention : PROCEDE DE REALISATION D'UN MICRO-BOLOMETRE D'IMAGERIE INFRAROUGE AVEUGLE ET MICRO-BOLOMETRE ASSOCIE

Domaine de l'invention

- [0001] La présente invention a trait au domaine de la détection de rayonnements électromagnétiques et, plus précisément, à la compensation des erreurs de détection des détecteurs infrarouges mettant en œuvre des micro-bolomètres.
- [0002] L'invention concerne, d'une part, un procédé de réalisation d'un micro-bolomètre d'imagerie infrarouge aveugle présentant une densité d'intégration améliorée et, d'autre part, un micro-bolomètre aveugle associé.

Etat antérieur de la technique

- [0003] Dans le domaine des détecteurs mis en œuvre pour l'imagerie infrarouge, il est connu d'utiliser des dispositifs agencés sous forme matricielle, susceptibles de fonctionner à température ambiante, c'est-à-dire ne nécessitant pas de refroidissement à de très basses températures, contrairement aux dispositifs de détection appelés "détecteurs quantiques" qui eux, nécessitent un fonctionnement à très basse température.
- [0004] Ces détecteurs utilisent traditionnellement la variation d'une grandeur physique d'un matériau ou assemblage de matériaux approprié(s) en fonction de la température, au voisinage de 300K. Dans le cas particulier des détecteurs micro-bolométriques, les plus couramment utilisés, cette grandeur physique est la résistivité électrique, mais d'autres grandeurs peuvent être exploitées, telle la constante diélectrique, la polarisation, la dilatation thermique, l'indice de réfraction, etc.
- [0005] Un tel détecteur non refroidi associe généralement :
- des moyens d'absorption du rayonnement thermique et de conversion de celui-ci en chaleur ;
 - des moyens d'isolation thermique du détecteur, de telle sorte à permettre à celui-ci de s'échauffer sous l'action du rayonnement thermique ;
 - des moyens de thermométrie qui, dans le cadre d'un détecteur micro-bolométrique, mettent en œuvre un élément résistif dont la résistance varie avec la température ;
 - et des moyens de lecture des signaux électriques fournis par les moyens de thermométrie.
- [0006] Les détecteurs destinés à l'imagerie thermique, ou infrarouge, sont classiquement réalisés sous la forme d'une matrice de détecteurs élémentaires, formant des points d'image ou pixels, selon une ou deux dimensions. Pour garantir l'isolation thermique des détecteurs, ces derniers sont suspendus au-dessus d'un substrat via des bras de

soutien. Les moyens d'absorption et les moyens de thermométrie sont alors associés pour former une membrane montée en suspension au-dessus du substrat au moyen de plots sur lesquels sont fixés les bras de soutien.

- [0007] Le substrat comporte usuellement des moyens d'adressage séquentiel des détecteurs élémentaires et des moyens d'excitation électrique et de pré-traitement des signaux électriques générés à partir de ces détecteurs élémentaires. Ce substrat et les moyens intégrés sont communément désignés par le terme « circuit de lecture ».
- [0008] Dans le cas de détecteurs infrarouges utilisant des micro-bolomètres, les moyens de pré-traitement peuvent intégrer des micro-bolomètres dédiés à la compensation d'effets indésirables dégradant la qualité des signaux mesurés. Ces micro-bolomètres dédiés à la compensation sont appelés micro-bolomètres de référence. Un principe de mesure différentielle est alors généralement mis en œuvre, entre un micro-bolomètre sensible et un micro-bolomètre de référence.
- [0009] Par exemple, la température du substrat influe sur les mesures fournies par la membrane. Pour compenser l'influence de la température du substrat sur les signaux issus des micro-bolomètres de détection, il est connu d'utiliser des micro-bolomètres de référence thermalisés, dont la membrane est connectée thermiquement avec le substrat.
- [0010] La solution la plus simple pour connecter thermiquement la membrane avec le substrat consiste à conserver la couche sacrificielle, classiquement utilisée pour réaliser la membrane en suspension. Pour ce faire, un micro-bolomètre sensible est associé à un microbolomètre de référence clampé thermiquement.
- [0011] La limite de ce concept est que le signal différentiel obtenu est le résultat, d'une part, d'un pixel sensible dont la variation de température est composée de la captation du flux incident et des autres sources de chaleur parasites, comme la température du substrat et, d'autre part, d'un pixel de référence dont la température est constante. Cette configuration n'est pas la plus favorable en termes de précision de mesure.
- [0012] L'invention concerne plus spécifiquement les micro-bolomètres de référence dit aveugles qui permettent, en association avec les micro-bolomètres de détection, la mesure différentielle d'une variation de température au moyen d'un matériau thermométrique présent à la fois dans les micro-bolomètres de détection et les micro-bolomètres aveugles.
- [0013] La variation de température détectée par le matériau thermométrique est issue de plusieurs facteurs : le flux utile à détecter, l'auto-échauffement inhérent au mode de lecture, et les flux parasites. Dans le but d'améliorer la précision de mesure, l'écrantage des micro-bolomètres aveugles vise à compenser de manière efficace toute autre source de variation de température autre que celle issue du flux utile à détecter, entre les micro-bolomètres de détection et ceux de compensation. Selon cette

approche, ces deux types de micro-bolomètres présentent préférentiellement les mêmes propriétés thermiques et électriques de sorte à garantir la précision de la mesure.

- [0014] Ces micro-bolomètres aveugles intègrent classiquement une membrane présentant les mêmes propriétés thermiques et électriques que la membrane des micro-bolomètres de détection. Ils intègrent, en outre, un écran d'occultation placé au-dessus de la membrane de sorte à bloquer les rayonnements infrarouges.
- [0015] Tel que décrit dans les documents FR 2966596, FR 3082385 et US 2017/191868, l'écran d'occultation comporte classiquement une couche de réflexion métallique, par exemple une couche d'or, de platine, d'aluminium, de nickel et/ou de titane, permettant de bloquer les rayonnements infrarouges. Cette couche de réflexion peut être montée sur une structure porteuse formée par des pieds entourant la membrane, tel que décrit dans le document US2017/191868. En variante, la couche de réflexion peut être posée sur une structure porteuse comportant des pieds entourant la membrane et une plaque de support s'étendant au-dessus de la membrane, tel que décrit dans les documents FR 2966596 et FR 3082385.
- [0016] Les pieds sont classiquement réalisés à base de silicium, par exemple en silicium amorphe ou en métal. Pour ce faire, une couche sacrificielle en polyimide est déposée sur un micro-bolomètre de sorte à recouvrir la membrane et le substrat autour de la membrane de ce micro-bolomètre. Des ouvertures sont réalisées dans cette couche sacrificielle autour de la membrane jusqu'à atteindre le substrat. Les matériaux à base de silicium ou de métal sont déposés dans ces ouvertures pour former les pieds de la structure porteuse, et éventuellement sur la couche sacrificielle entre les ouvertures pour former la plaque de support de la couche de réflexion. La couche de réflexion est ensuite déposée sur le matériau à base de silicium ou directement sur la couche sacrificielle.
- [0017] Cette méthode de réalisation permet d'obtenir une structure porteuse avec une résistance mécanique suffisante pour garantir le support de l'écran d'occultation.
- [0018] Cependant, la structure porteuse n'est pas optimisée, limitant la densité d'intégration des micro-bolomètres aveugles en raison de l'espace nécessaire pour placer les pieds de la structure porteuse de part et d'autre de la membrane. En effet, les pieds de la structure porteuse ainsi formée présentent classiquement une largeur supérieure à 4 micromètres.
- [0019] Par ailleurs, compte tenu de la méthode de réalisation utilisée, la structuration de cette structure porteuse ne permet pas un compromis optimal entre la libération des couches sacrificielles et la qualité de l'écrantage.
- [0020] En effet, pour éliminer la couche sacrificielle de formation de la structure porteuse et de l'écran d'occultation, et potentiellement de la couche sacrificielle de formation de la membrane en même temps, il est nécessaire de réaliser des événements de libération dans

l'écran d'occultation ou dans la structure porteuse. La libération effective est ensuite obtenue par retrait des couches sacrificielles à travers les événements de libération réalisés. Classiquement, cette libération met en œuvre une gravure par plasma oxygéné pour retirer les couches sacrificielles réalisées en polyimide. Pour obtenir un retrait rapide et efficace des couches sacrificielles, les événements de libération sont classiquement réalisés au sein de l'écran d'occultation, tel que décrit dans le document JP 2011/232157.

- [0021] En réalisant les événements au sein de l'écran d'occultation, les flux de gaz réactifs et produits de réaction pénètrent et sortent de la cavité formée par l'écran d'occultation et la structure porteuse perpendiculairement au plan dudit écran. Ce plan étant parallèle aux plans dans lesquels s'inscrivent respectivement la membrane et le substrat, la direction de libération, c'est-à-dire le sens du flux des gaz réactifs et des produits de réaction utilisés lors du procédé de libération pour traverser une paroi de la structure porteuse, est donc perpendiculaire aux plans de substrat, de membrane et d'occultation. Plus généralement, dans tous les procédés de libération existants, la direction de libération est toujours perpendiculaire au plan de la membrane. Par exemple, pour former des cavités hermétiques de façon monolithique autour d'un micro-bolomètre de détection, il est connu du document US 8,525,323 de réaliser un événement de libération dans la partie supérieure du boîtier d'encapsulation et de former un bouchon pour refermer l'événement de libération après le retrait des couches sacrificielles.
- [0022] La réalisation des événements de libération dans l'écran d'occultation pose cependant un problème technique.
- [0023] En effet, une partie des rayonnements infrarouges peut passer à travers les événements de libération lorsqu'ils sont structurés horizontalement en face supérieure de la structure d'écrantage et entraîner un échauffement non désiré de la membrane. Il s'ensuit que l'aveuglement du micro-bolomètre n'est pas parfait, et la compensation n'est pas toujours efficace, dégradant ainsi l'image globale issue du capteur infrarouge.
- [0024] Le document EP 3 243 052 propose de résoudre ce problème technique au moyen d'une structure porteuse en forme de marches d'escalier, c'est à dire avec au moins une marche intermédiaire entre le plan du substrat et le plan de l'écran d'occultation. Ainsi, la structure porteuse présente un plan de marche parallèle aux plans du substrat, de la membrane et de l'écran d'occultation. Les événements de libération sont ménagés sur le plan de marche de sorte que la direction de libération est toujours perpendiculaire aux plans de substrat, de membrane et d'occultation.
- [0025] Il s'ensuit que des rayonnements infrarouges avec un faible angle d'incidence par rapport au plan du substrat sont susceptibles de pénétrer dans la cavité et d'atteindre la membrane par l'intermédiaire du réflecteur, classiquement disposé sur le substrat.
- [0026] Cette solution consistant à déporter les événements de libération sur une surface horizontale d'une marche intermédiaire d'une structure en escalier permet effectivement

de limiter la dégradation des propriétés optiques de l'écran d'occultation en raison de la présence desdits événements non plus à l'aplomb de la membrane, mais en dessous du plan de ladite membrane, réduisant ainsi la propagation des rayonnements parasites susceptibles de passer à travers les événements pour atteindre la membrane.

- [0027] Cependant, cette solution est techniquement complexe à réaliser, car la formation d'une structure porteuse en marche d'escalier nécessite au moins deux niveaux de couches sacrificielles, et la réalisation des événements de libération nécessite une étape de gravure supplémentaire.
- [0028] Cette solution nécessite un nombre plus élevé d'étapes technologiques, et apparaît comme défavorable pour la densité d'intégration, c'est-à-dire l'optimisation de la surface occupée par la structure.
- [0029] En outre, pour limiter efficacement la propagation des rayonnements parasites pouvant passer à travers les événements de libération pour atteindre la membrane, il est nécessaire de réduire la section des événements, même en utilisant des événements déportés sur une marche intermédiaire d'une structure porteuse en marche d'escalier.
- [0030] Par exemple, il a été déterminé numériquement que, pour un seul événement de libération de section carrée situé au-dessus d'une membrane bolométrique au pas de 12 micromètres, la limite de longueur de chaque côté de l'événement est de 1.6 micromètres pour obtenir des rayonnements parasites acceptables. La section de l'événement de libération de cette simulation est donc $2.56 \mu\text{m}^2$.
- [0031] Avec ces dimensions limites des événements de libération, la vitesse de libération, c'est-à-dire la durée nécessaire pour retirer tout le volume de couches sacrificielles à travers les événements, est particulièrement longue. Par exemple, la vitesse de libération d'une membrane à travers les événements peut être de l'ordre d'une heure, tandis que les membranes des micro-bolomètres de détection, c'est-à-dire les membranes non recouvertes par les écrans d'occultation, peuvent être libérées en 15 minutes.
- [0032] Cette différence dans les durées de libération des membranes peut entraîner une sur-gravure des membranes des micro-bolomètres de détection par rapport aux membranes des micro-bolomètres de compensation. Bien que les membranes des micro-bolomètres de compensation et des micro-bolomètres de détection soient préférentiellement réalisées simultanément pour présenter les mêmes propriétés thermiques et électriques, cette sur-gravure des membranes des micro-bolomètres de détection peut conduire à des écarts entre les propriétés thermiques et électriques des micro-bolomètres de détection et des micro-bolomètres de compensation. Ainsi, cette sur-gravure peut dégrader la précision de la compensation réalisée par les micro-bolomètres de compensation.
- [0033] Le problème technique que l'invention entend résoudre consiste donc à obtenir un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge présentant une densité d'intégration

améliorée et facilitant la réalisation des événements de libération limitant les rayonnements parasites.

Exposé de l'invention

- [0034] Pour répondre à ce problème technique, l'invention propose de former la structure porteuse de l'écran d'occultation avec des pieds comportant des parois externes réalisées en titane ou en nitrure de titane et une âme interne réalisée en tungstène ou en siliciure de tungstène.
- [0035] L'invention est issue d'une observation selon laquelle la formation des pieds d'une structure porteuse avec l'association de parois externes à base de titane et une âme interne à base de tungstène permet d'utiliser les techniques de dépôts chimique en phase vapeur et d'obtenir une résistance mécanique de ladite structure porteuse satisfaisante avec une largeur inférieure à la largeur des pieds des structures porteuses de l'état de la technique.
- [0036] Typiquement, la largeur de la structure porteuse de l'invention peut être inférieure à 1 micromètre alors que la largeur des structures porteuses de l'état de la technique est classiquement supérieure à 4 micromètres.
- [0037] Il s'ensuit que l'invention permet d'obtenir un micro-bolomètre d'imagerie infrarouge aveugle avec une densité d'intégration améliorée, car la largeur de la structure porteuse, de part et d'autre de la membrane du micro-bolomètre, est limitée.
- [0038] Ainsi, selon un premier aspect, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge, ledit micro-bolomètre aveugle comprenant une membrane, comportant au moins deux électrodes et un élément thermo-résistif, ladite membrane étant montée en suspension au-dessus d'un substrat par des clous d'ancrage, et un écran d'occultation monté en suspension au-dessus de la membrane et du substrat au moyen d'une structure porteuse fixée sur le substrat, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- réalisation de la membrane sur une première couche sacrificielle déposée sur le substrat ;
 - dépôt d'une seconde couche sacrificielle réalisée en oxyde de silicium sur la membrane et sur la première couche sacrificielle ;
 - réalisation d'ouvertures de part et d'autre de la membrane au sein d'au moins ladite seconde couche sacrificielle ;
 - dépôt chimique en phase vapeur de titane ou de nitrure de titane de sorte à former les parois externes des pieds d'une structure porteuse, reposant directement ou indirectement sur le substrat ;
 - dépôt chimique en phase vapeur de tungstène ou de siliciure de tungstène de sorte à former l'âme interne des pieds ;

- dépôt et structuration d'un écran d'occultation sur les pieds et sur ladite seconde couche sacrificielle ou sur les pieds et sur une plaque de support d'une structure porteuse ; et
- retrait des première et seconde couches sacrificielles au moyen d'un fluide de gravure.

- [0039] Outre la réduction de la largeur des pieds de la structure porteuse, l'invention permet également d'améliorer les possibilités de structuration de la structure porteuse.
- [0040] En effet, les parois externes et l'âme interne peuvent désormais être réalisées par dépôt chimique en phase vapeur au lieu d'utiliser le dépôt par pulvérisation cathodique, utilisée dans l'état de la technique. Le dépôt chimique en phase vapeur est plus connu sous l'acronyme CVD pour « *Chemical Vapor Deposition* » dans la littérature anglo-saxonne.
- [0041] Le dépôt CVD permet le dépôt de couches plus fines que le dépôt par pulvérisation cathodique, si bien que l'épaisseur des parois externes peuvent être comprise entre 5 et 20 nanomètres alors que l'épaisseur de l'âme interne peut être comprise entre 0,5 et 0,8 micromètre. Au sens de l'invention, « l'épaisseur » des parois externes ou de l'âme interne correspond à la section moyenne de ces éléments dans les pieds, déterminée selon un plan parallèle aux plans du substrat, de la membrane et de l'écran d'occultation.
- [0042] L'invention est avantageusement mise en œuvre avec des couches sacrificielles réalisées en oxyde de silicium, car l'acide fluorhydrique, classiquement utilisé pour obtenir le retrait de ces couches sacrificielles, est inerte vis-à-vis des couches à base de titane, de nitrure de titane, de tungstène ou de siliciure de tungstène.
- [0043] L'utilisation de couches sacrificielles en oxyde de silicium permet également de mettre en œuvre une gravure précise de ces couches sacrificielles lors de la formation des ouvertures destinées à former les structures porteuses.
- [0044] En outre, il est également possible de graver ces couches sacrificielles avec des ouvertures discontinues de sorte à former des événements latéraux dans la structure porteuse, et selon des règles de dessin réduites, à savoir de manière à former des ouvertures inférieures ou égales à 1 micromètre et distantes de 1 micromètre ou moins.
- [0045] Ainsi, au moins un événement de libération peut être ménagé dans au moins une paroi latérale des pieds de la structure porteuse, de sorte à permettre un retrait des couches sacrificielles selon une direction parallèle aux plans de substrat, de membrane et d'occultation, contrairement à l'état de la technique qui propose un retrait selon une direction perpendiculaire à ces plans.
- [0046] L'écran d'occultation peut être réalisé directement sur les pieds et sur la seconde couche sacrificielle. En variante, pour réaliser l'écran d'occultation indépendamment des contraintes de support de l'écran au-dessus de la membrane, l'écran d'occultation

peut être réalisé sur les pieds et sur une plaque de support de la structure porteuse.

- [0047] Pour ce faire, la plaque de support peut être formée pour une ou plusieurs couches. De préférence, l'étape de dépôt chimique en phase vapeur de titane ou en nitrure de titane de sorte à former les parois externes permet également de former une couche à base de titane d'une plaque de support formée sur la seconde couche sacrificielle. De même, l'étape de dépôt chimique en phase vapeur de tungstène ou en siliciure de tungstène de sorte à former l'âme interne permet également de former une couche à base de tungstène d'une plaque de support formée sur la seconde couche sacrificielle.
- [0048] Cette couche de tungstène ou en siliciure de tungstène vise principalement à garantir la résistance mécanique des pieds de la structure porteuse. Il peut donc être recherché de supprimer la couche à base de tungstène de la plaque de support pour réduire les effets de contrainte mécanique liés à ce type de dépôt. Pour ce faire, dans le cas d'une couche en siliciure de tungstène, le procédé comprend également une étape de gravure du siliciure de tungstène déposé de sorte à supprimer la couche à base siliciure de tungstène de la plaque de support. En effet, la gravure du siliciure de tungstène est très sélective sur le titane, si bien qu'il est possible de supprimer une couche en siliciure de tungstène sans dégrader la couche à base de titane.
- [0049] De préférence, pour graver efficacement une couche à base de tungstène, le procédé comporte une étape de dépôt d'une couche d'aluminium par dépôt physique en phase vapeur (PVD) sur la couche à base de titane, réalisée avant l'étape de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) du tungstène ou du siliciure de tungstène de sorte à former l'âme interne des pieds. Cette couche en aluminium permet de former une couche d'arrêt pour la gravure de la couche à base de tungstène.
- [0050] En outre, cette couche en aluminium peut ensuite être également gravée par gravure humide et sélective sur la couche à base de titane, de sorte que seule la couche d'aluminium présente dans les pieds de la structure porteuse reste visible sur le microbolomètre aveugle ainsi formé.
- [0051] Par ailleurs, pour favoriser les qualités thermiques ou mécaniques de la plaque de support, celle-ci peut intégrer une couche de silicium. Pour ce faire, le procédé comprend également une étape de dépôt chimique en phase vapeur de silicium de sorte à former une troisième couche de la plaque de support, sur la couche à base de tungstène ou sur la couche à base de titane en cas de suppression de la couche à base de tungstène. Cette couche de silicium peut également être déposée sur la deuxième couche sacrificielle avant la formation des ouvertures qui accueilleront ensuite les parois latérales des structures d'écrantage. Cette couche de silicium est gravée lors de la même étape de structuration des couches sacrificielles, et avant de procéder aux dépôts des couches à base de titane et de tungstène. Dans cette configuration le dépôt de la couche à base de titane est donc effectué sur la couche de silicium.

- [0052] Dans ce mode de réalisation, la couche de silicium déposée pour former la troisième couche de la plaque de support peut également être utilisée pour former un insert dans les pieds. En effet, lorsque la largeur de l'ouverture est supérieure au double des épaisseurs des couches à base de titane et de tungstène, une partie interne des pieds peut ne pas être remplie par la couche à base de tungstène. Ce mode de réalisation permet de combler cette partie en formant un insert au centre des pieds.
- [0053] Par ailleurs, la forme de la structure porteuse peut varier sans changer l'invention. La structure porteuse peut être formée d'un seul pied continu, par exemple faisant le tour du micro-bolomètre, ou de plusieurs pieds distincts.
- [0054] Typiquement, l'écran d'occultation et les pieds constituent un ensemble monobloc. En variante, les pieds peuvent être réalisés distinctement de l'écran d'occultation.
- [0055] En outre, l'écran d'occultation peut s'étendre au-dessus de plusieurs membranes de sorte à former un ensemble de micro-bolomètres aveugles d'imagerie infrarouge présentant un écran d'occultation commun et soutenu par des pieds communs. Par exemple, deux pieds peuvent s'étendre de part et d'autre de plusieurs membranes juxtaposées de sorte à soutenir un écran d'occultation commun à plusieurs micro-bolomètres aveugles d'imagerie infrarouge.
- [0056] Dans ce mode de réalisation, la structure porteuse comporte au moins deux pieds s'étendant de part et d'autre de la membrane depuis l'écran d'occultation jusqu'au substrat.
- [0057] Dans ce mode de réalisation, la structure porteuse est constituée de deux pieds permettant de supporter l'écran d'occultation et de le fixer sur le substrat. En outre, la structure porteuse et l'écran d'occultation sont préférentiellement réalisés lors des mêmes étapes de dépôt.
- [0058] Selon un autre mode de réalisation, la structure porteuse comprend :
- un ensemble de plots juxtaposés sur le substrat de part et d'autre des clous d'ancrage de la membrane ; et
 - au moins deux pieds s'étendant de part et d'autre de ladite membrane depuis l'écran d'occultation jusqu'auxdits plots.
- [0059] Dans ce mode de réalisation, la structure porteuse est constituée de deux parties : des plots et des pieds fixés sur les plots, l'écran d'occultation et les pieds constituant un ensemble monobloc.
- [0060] Par ailleurs, des événements de libération peuvent être formés entre les plots et dans les pieds s'étendant de part et d'autre de la membrane depuis l'écran d'occultation jusqu'auxdits plots.
- [0061] Ces plots peuvent être réalisés en même temps et avec la même technique que la formation des clous d'ancrage des micro-bolomètres afin de ne pas rajouter d'étapes de structuration supplémentaire, et selon par exemple le même principe que le procédé

décrit dans le document FR2008003 du Demandeur. Cette structuration en deux étages de la structure porteuse permet de réaliser les événements latéraux avec une dimension verticale inférieure à 2 micromètres, ce qui est bien inférieure aux longueurs d'onde à écranter qui se situent entre 8 et 14 micromètres. Par ailleurs, cette structuration en deux étages est intéressante car elle permet de structurer un maillage dense en utilisant des événements et une distance inter-événements inférieure à 1 micromètre. Ainsi, cette structuration en deux étages permet d'obtenir un compromis optimisé entre la qualité de la libération des micro-bolomètres écrantés, la qualité de l'écrantage, et la qualité de la tenue mécanique de l'ensemble.

- [0062] De préférence, pour limiter la quantité de rayonnements infrarouges susceptible de pénétrer dans la cavité formée autour de la membrane à travers au moins un événement de libération, l'étape de structuration de l'écran d'occultation, et éventuellement de la plaque de support permet de former un surplomb s'étendant dans le plan de l'écran d'occultation et dans la direction opposée à la membrane.
- [0063] Selon un deuxième aspect, l'invention concerne un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge comprenant :
- un substrat ;
 - une membrane, comportant au moins deux électrodes et un élément thermo-résistif, montée en suspension au-dessus dudit substrat ; et
 - un écran d'occultation disposé au-dessus de la membrane de sorte à bloquer les rayonnements infrarouges incidents ; ledit écran d'occultation étant monté en suspension au-dessus de la membrane et du substrat au moyen d'une structure porteuse fixée sur le substrat.
- [0064] L'invention se caractérise en ce que la structure porteuse comprend des pieds reposants directement ou indirectement sur le substrat, comportant des parois externes, réalisées en titane ou en nitrure de titane, et une âme interne, réalisée en tungstène ou en siliciure de tungstène.
- [0065] Selon un troisième aspect, l'invention concerne un détecteur infrarouge comprenant :
- des micro-bolomètres de détection agencés sous forme matricielle sur un substrat ;
 - des micro-bolomètres aveugles montés sur le substrat selon le deuxième aspect de l'invention ;
 - un cordon de support formé sur le substrat et entourant les micro-bolomètres de détection et les micro-bolomètre aveugles ; et
 - une fenêtre optique scellée hermétiquement sur le cordon de support aux moyens de métallisations.

Brève description des figures

- [0066] L'invention sera bien comprise à la lecture de la description qui suit, dont les détails

sont donnés uniquement à titre d'exemple, et développée en relation avec les figures annexées, dans lesquelles des références identiques se rapportent à des éléments identiques :

- [0067] [Fig.1a-c] est une vue schématique en section d'une première étape de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- [0068] [Fig.1a-d] est une vue schématique de dessus de la première étape de réalisation de la [Fig.1a-c] ;
- [0069] [Fig.1b-c] est une vue schématique en section d'une seconde étape de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- [0070] [Fig.1b-d] est une vue schématique de dessus de la seconde étape de réalisation de la [Fig.1b-c] ;
- [0071] [Fig.1c-c] est une vue schématique en section d'une troisième étape de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- [0072] [Fig.1c-d] est une vue schématique de dessus de la troisième étape de réalisation de la [Fig.1c-c] ;
- [0073] [Fig.1d-c] est une vue schématique en section d'une quatrième étape de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- [0074] [Fig.1d-d] est une vue schématique de dessus de la quatrième étape de réalisation de la [Fig.1d-c] ;
- [0075] [Fig.1e-c] est une vue schématique en section d'une cinquième étape de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- [0076] [Fig.1e-d] est une vue schématique de dessus de la cinquième étape de réalisation de la [Fig.1e-c] ;
- [0077] [Fig.1f-c] est une vue schématique en section d'une sixième étape de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- [0078] [Fig.1f-d] est une vue schématique de dessus de la sixième étape de réalisation de la [Fig.1f-c] ;
- [0079] [Fig.1g-c] est une vue schématique en section d'une septième étape de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- [0080] [Fig.1g-d] est une vue schématique de dessus de la septième étape de réalisation de la [Fig.1g-c] ;
- [0081] [Fig.2] est une vue schématique en perspective d'un micro-bolomètre aveugle selon un second mode de réalisation de l'invention ;
- [0082] [Fig.3] est une vue schématique en section d'un micro-bolomètre aveugle selon un troisième mode de réalisation de l'invention ;
- [0083] [Fig.4] est une vue schématique en perspective d'un micro-bolomètre aveugle selon un quatrième mode de réalisation de l'invention ; et
- [0084] [Fig.5] est une vue schématique en section d'un détecteur infrarouge intégrant un

micro-bolomètre de détection et le micro-bolomètre aveugle de la [Fig.4].

Description détaillée de l'invention

- [0085] Les vues en section des figures 1a-c à 1g-c et les vues de dessus des figures 1a-d à 1g-d illustrent un procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge **10a** selon un premier mode de réalisation de l'invention, dans lequel les pieds **20a** d'un micro-bolomètre **10a** s'étendent depuis l'écran d'occultation **19** jusqu'au substrat **11**.
- [0086] Pour ce faire, un substrat **11** est tout d'abord préparé pour intégrer les éléments d'adressage et de lecture du micro-bolomètre **10a**. Tel qu'illustré sur les figures 1a-c et 1a-d, une première couche sacrificielle **12** est déposée sur le substrat **11** de sorte à permettre la formation de la membrane **14**.
- [0087] Des couches peuvent également être déposées sur le substrat **11** avant le dépôt de cette couche sacrificielle **12**, par exemple un réflecteur ou une couche d'arrêt destinée à protéger le circuit de lecture lors de l'étape de retrait de la couche sacrificielle **12**, par exemple une couche réalisée en dioxyde de silicium SiO₂.
- [0088] Des ouvertures **13** sont ensuite gravées dans la première couche sacrificielle **12** par une gravure ionique réactive. La gravure ionique réactive est plus connue sous l'acronyme RIE pour « *Reactive-Ion Etching* » dans la littérature anglo-saxonne.
- [0089] Puis, tel qu'illustré sur les figures 1b-c et 1b-d, les couches formant la membrane **14**, les clous d'ancrage **15**, et les bras de soutien **16** de la membrane **14** sont ensuite déposés dans les ouvertures **13** et sur la première couche sacrificielle **12**. Par exemple, les ouvertures **13** peuvent être remplies par un matériau conducteur formant les clous d'ancrage **15**, tel que du nitrure de titane, ou du tungstène. Les clous d'ancrage **15** peuvent être réalisés selon le principe décrit dans le document FR2008003.
- [0090] Classiquement, les éléments **14** à **16** intègrent au moins des couches métalliques et des couches de support de sorte à former au moins deux électrodes connectées entre le substrat **11** et la membrane **14**. Par exemple, les électrodes peuvent être réalisées en nitrure de titane avec une épaisseur comprise entre 5 et 20 nanomètres. Les couches de support peuvent être réalisées en silicium amorphe avec une épaisseur comprise entre 10 et 100 nanomètres. La membrane **14** comporte également un élément thermo-résistif connecté entre les deux électrodes.
- [0091] Cet élément thermo-résistif peut être réalisé en silicium amorphe, en oxyde de titane ou en oxyde de vanadium et déposé par faisceau ionique avec une épaisseur comprise entre 10 et 200 nanomètres.
- [0092] De préférence, les étapes de réalisation de ces éléments **14** à **16** du micro-bolomètre **10a** sont réalisées simultanément avec celles des micro-bolomètres de détection (non représentés), de sorte que le micro-bolomètre aveugle **10a** formé sur la première

couche sacrificielle **12** présente des propriétés thermiques et résistives identiques à celles des micro-bolomètres de détection. Par exemple, le micro-bolomètre **10a** peut être réalisé conformément aux enseignements du document FR 3045148.

- [0093] Après délimitation et structuration de la membrane **14** et des bras de soutien **16** par une ou plusieurs gravures ioniques réactives, une seconde couche sacrificielle **17** est déposée sur la première couche sacrificielle **12**, sur la membrane **14** et sur les bras de soutien **16**, tel qu'illustré sur les figures 1c-c et 1c-d. Cette seconde couche sacrificielle **17** est préférentiellement réalisée en dioxyde de silicium SiO₂.
- [0094] Cette seconde couche sacrificielle **17** est destinée à permettre la formation de la structure de support **30a** et de l'écran d'occultation **19**, dont la fonction est de masquer la membrane **14** de sorte à la rendre très peu sensible, voire insensible aux rayonnements infrarouges incidents. Pour ce faire, des ouvertures **18** sont gravées dans les deux couches sacrificielles **12** et **17** par une ou plusieurs gravures ioniques réactives jusqu'à atteindre le substrat **11**, tel qu'illustré sur les figures 1d-c et 1d-d. Ces ouvertures **18** peuvent être discontinues de sorte à former des espaces **24a** entre ces ouvertures **18** dans lesquels les deux couches sacrificielles **12** et **17** ne sont pas gravées.
- [0095] Ces espaces **24a** sont destinés à former les événements de libération **32a** de ces couches sacrificielles **12** et **17**, si bien que la section desdits événements **32a** est contrôlée par la hauteur **he1** ([Fig.1d-c]) de l'ensemble des couches sacrificielles **12** et **17** et par la distance entre deux ouvertures **18**, destinée à former la largeur **le1** des événements de libération **32a**, tel qu'illustré sur les figures 1d-c et 1d-d. Par exemple, dans ce mode de réalisation, la largeur **le1** des événements de libération **32a** peut être comprise entre 0,3 et 1 micromètre, alors que la hauteur **he1** peut être comprise entre 2,5 et 5 micromètres.
- [0096] De préférence, la section totale des événements de libération **32a** est supérieure à 3 μm² pour obtenir une vitesse de libération des couches sacrificielles **12** et **17** très faible, c'est-à-dire de l'ordre de 10 à 20 minutes.
- [0097] En outre, les couches sacrificielles **12** et **17** peuvent être classiquement réalisées en polyimide. De préférence, les couches sacrificielles **12** et **17** sont réalisées en oxyde de silicium déposées à basse température, c'est-à-dire à une température inférieure à 400°C par dépôt chimique en phase vapeur. Des couches sacrificielles **12** et **17** réalisées en oxyde de silicium permettent de mettre en œuvre un procédé de gravure particulièrement précis, par exemple une gravure ionique réactive avec un pas de gravure inférieur à 1 micromètre. Ce procédé de gravure permet d'obtenir des pieds **20a** avec des largeurs très fines.
- [0098] Après la réalisation des ouvertures discontinues **18**, les figures 1e-c et 1e-d illustrent la réalisation de la structure porteuse **30a** et de l'écran d'occultation **19**. Une couche de titane ou préférentiellement de nitrure de titane **47** est tout d'abord déposée sur la seconde couche sacrificielle **17** et dans les ouvertures **18** de sorte à former des parois

externes **41a** de la structure porteuse **30a**, ainsi qu'une couche à base de titane **47** d'une plaque de support **46**. Cette couche à base de titane peut être déposée par dépôt chimique en phase vapeur avec une épaisseur comprise entre 5 et 20 nanomètres.

[0099] Ensuite, une couche de tungstène ou de siliciure de tungstène est déposée sur la couche à base de titane de sorte à remplir les ouvertures **18** et à former l'âme interne **42a** de la structure porteuse **30a**. Cette couche à base de tungstène peut également s'étendre sur la couche à base de titane pour former une couche à base de tungstène **48** de la plaque de support **46**. Cette couche à base de tungstène peut être déposée par dépôt chimique en phase vapeur avec une épaisseur comprise entre 0,1 et 1 micromètre.

[0100] La couche de support **46** ainsi formée, permet de supporter l'écran d'occultation **19**. Dans ce mode de réalisation, l'écran d'occultation **19** est déposé sur la couche à base de tungstène **48** de la plaque de support **46**. L'écran d'occultation **19** correspond, par exemple, à une couche métallique réfléchissante de sorte à isoler la membrane **14** des rayonnements infrarouges incidents. Par exemple, l'écran d'occultation **19** peut être constitué d'une couche d'aluminium ou de siliciure d'aluminium d'une épaisseur comprise entre 0,2 et 1,5 micromètre déposée par dépôt physique en phase vapeur.

[0101] En variante, l'écran d'occultation **19** peut être déposé directement sur la seconde couche sacrificielle **17** sans utiliser de plaque de support **46**.

[0102] En outre, la plaque de support **46** peut également être formée avec d'autres couches que celles utilisées pour former la structure porteuse, en ajoutant d'autres couches ou en supprimant une ou plusieurs des couches présentes sur la seconde couche sacrificielle **17**.

[0103] Par exemple, une gravure d'une couche en siliciure de tungstène **48** peut être mise en œuvre avant de déposer l'écran d'occultation **19**, de sorte à utiliser uniquement la couche à base de titane **47** pour former la plaque de support **46**. Pour ce faire, une gravure ionique réactive peut être mise en œuvre.

[0104] L'étape illustrée sur les figures 1f-c et 1f-d vise à supprimer l'écran d'occultation **19** et la plaque de support **46** en dehors de l'emprise attendue du micro-bolomètre aveugle sur le substrat **11**, c'est-à-dire pour éviter que l'écran d'occultation **19** ne s'étende au regard de la membrane d'un micro-bolomètre de détection voisin. Cette étape définit préférentiellement un surplomb **22** sur les bords des ouvertures **18**. Ce surplomb **22** permet de limiter l'angle d'incidence des rayonnements infrarouges susceptibles de pénétrer par les événements de libération **32a** à l'intérieur de la cavité formée autour de la membrane **14**. En effet, avec des événements de libération **32a** ménagés latéralement, des rayonnements infrarouges peuvent toujours pénétrer dans ladite cavité si ces rayonnements présentent un angle d'incidence très faible par rapport au plan **P1** du substrat **11**. Il est possible d'utiliser un surplomb **22** pour limiter la quantité de

rayonnements infrarouges sous faible angle d'incidence susceptible de pénétrer dans la cavité formée autour de la membrane **14** et sous la plaque de support **46**.

- [0105] En effet, plus le surplomb **22** est étendu dans le plan de l'écran d'occultation **19** et dans la direction opposée à la membrane **14**, plus la quantité de rayonnements infrarouges sous faible angle d'incidence susceptible de pénétrer dans la cavité est faible. Ainsi, la coopération du surplomb **22** avec des événements de libération **32a** ménagés latéralement permet de décorrélérer les problématiques de limitation des flux infrarouges parasites, gérées par les dimensions du surplomb **22**, des problématiques de vitesse de libération, générées par l'augmentation de la section des événements de libération **32a**.
- [0106] A partir de la structure illustrée sur les figures 1f-c et 1f-d, il est possible de supprimer les couches sacrificielles **12** et **17** en utilisant les espaces **24a** ménagés entre les pieds **20a**. Ainsi, sous la plaque de support **46**, les pieds **20a** ne sont pas continus et les espaces **24a** précédemment ménagés entre les ouvertures **18** permettent de former des espaces pourvus des deux couches sacrificielles après la formation des pieds **20a**.
- [0107] Lorsque le fluide de gravure, c'est-à-dire typiquement les gaz réactifs, est mis en œuvre pour retirer les première et seconde couche sacrificielles **12** et **17**, le fluide de gravure est tout d'abord appliqué au niveau des couches sacrificielles **12** et **17** présentes dans les espaces entre les pieds **20a** de la structure porteuse **30a** de sorte à former des événements de libération **32a** permettant, ensuite, le retrait des couches sacrificielles présentes sous la plaque de support **46**.
- [0108] En effet, lorsque les couches sacrificielles **12** et **17** sont gravées dans les espaces **24a** entre les pieds **20a**, le fluide de gravure poursuit sa progression autour de la membrane **14**, et les couches sacrificielles **12** et **17** vaporisées peuvent donc être extraites par les événements de libération **32a** ainsi formés. L'extraction des couches sacrificielles n'est donc plus réalisée perpendiculairement par rapport au plan **P1** du substrat **11**, tel que décrit dans l'état de la technique, mais selon une direction **Dr** sensiblement parallèle au plan **P1** du substrat **11**, au plan **P2** de la membrane **14** et au plan **P3** de l'écran d'occultation **19**, tel qu'illustré sur les 1g-c et 1g-d. Le fluide de gravure peut être constitué d'acide fluorhydrique, permettant de supprimer des couches sacrificielles réalisées en oxyde de silicium, ou encore d'un plasma oxygéné permettant de supprimer des couches sacrificielles réalisées en polyimide.
- [0109] Dans l'exemple illustré dans les figures 1a-c à 1g-d, les ouvertures **18** sont ménagées de part et d'autre du micro-bolomètre **10a** si bien que la plaque de support **46** et l'écran d'occultation **19** sont soutenus par des pieds **20a** ménagés sur ces deux côtés du micro-bolomètre **10a**.
- [0110] En variante, lorsqu'il est recherché de former un micro-bolomètre **10a** aveugle unitaire, des pieds peuvent être formés tout autour du micro-bolomètre **10a**. La formation des pieds uniquement de part et d'autre de la plaque de support **46** et de

l'écran d'occultation **19** permet d'utiliser un écran d'occultation **19** unique et continu pour plusieurs micro-bolomètres **10a** aveugles juxtaposés. Par ailleurs, plusieurs pieds peuvent être juxtaposés de chaque côté du micro-bolomètre **10a** sans changer l'invention. En outre, le nombre d'ouvertures **18** et la distance entre ces ouvertures **18** peut varier en fonction des besoins d'occultation et de la vitesse de retrait des couches sacrificielles **12, 17** recherchée.

- [0111] En variante, en plus des événements de libération **32a** ménagés latéralement dans l'espace entre les pieds **20a** de l'écran d'occultation **19**, il est possible d'utiliser un ou plusieurs événements de libération ménagés à travers ledit écran **19** pour augmenter la vitesse de libération. Cet événement et l'écran d'occultation **19** sont structurés simultanément par photolithographie et gravure ionique réactive (RIE).
- [0112] Ainsi, dans l'exemple de la [Fig.2], le micro-bolomètre aveugle **10b** comporte un événement de libération central **26** ménagé au centre de l'écran d'occultation **19** et dans la plaque de support **46**.
- [0113] La structure porteuse **30b** du mode de réalisation de la [Fig.2] est également formée avec une couche externe **41b** à base de titane et une âme interne **42b** à base de tungstène.
- [0114] Dans un troisième mode de réalisation illustré sur la [Fig.3], le micro-bolomètre aveugle **10c** intègre une couche de silicium **49** déposée sur la seconde couche sacrificielle **17** avant de former les ouvertures **18** dans les couches sacrificielles **12, 17**. Cette couche de silicium **49** est gravée avec les couches sacrificielles **12, 17** pour former les ouvertures **18**. Le procédé se poursuit alors, tel que décrit en référence à la [Fig.1e-c], avec le dépôt chimique en phase vapeur de la couche externe **41c** et de la couche formant la couche à base de titane **47** de la plaque de support **46** dans les ouvertures ainsi formées.
- [0115] Avant de déposer la couche à base de tungstène, une couche d'aluminium **55** est également déposée par dépôt physique en phase vapeur sur la couche externe **41c** et sur la couche à base de titane **47**. La couche à base de tungstène est ensuite déposée, par dépôt chimique en phase vapeur, de sorte à former l'âme interne **42c**.
- [0116] Pour supprimer la couche à base de tungstène déposée sur la couche d'aluminium **55** en dehors des pieds **20a**, une gravure ionique réactive est mise en œuvre pour graver la couche à base de tungstène **48** avec arrêt sur la couche d'aluminium **55**. Cette couche d'aluminium **55** est ensuite également gravée par gravure humide et sélective sur la couche à base de titane **47**, de sorte que seule la couche d'aluminium **55** présente dans les pieds **20a** de la structure porteuse **30c** reste visible sur le micro-bolomètre aveugle **10c** ainsi formé.
- [0117] Pour finir, l'écran d'occultation **19** est déposé sur la couche à base de titane **47** encore présente sur la couche de silicium **49** et l'âme interne **42c** présente au niveau

des pieds **20a**. Après structuration et libération (retrait des couches sacrificielles), le micro-bolomètre aveugle **10c** présente ainsi une plaque de support intégrant une couche de silicium **49**, surmontée de la couche à base de titane **47** et de l'écran d'occultation **19**.

[0118] Par ailleurs, dans l'exemple des figures 1 à 3, la structure porteuse **30a-30c** de l'écran d'occultation **19** comporte des pieds **20a** s'étendant jusqu'au substrat **11**.

[0119] Pour structurer l'écran d'occultation **19**, les couches **47**, **48**, **49** et **56** peuvent être gravées lors de la même séquence de photolithographie en utilisant une gravure multicouches.

[0120] Alternativement, selon un quatrième mode de réalisation de l'invention, détaillés sur les figures 4 et 5, la structure porteuse **30d** de l'écran d'occultation **19** est composée d'un ensemble de plots ou éléments de support juxtaposés **25** et de pieds **20b** posés sur ces plots **25**.

[0121] Ces plots **25** peuvent être formés en même temps que les clous d'ancrage **15** des micro-bolomètres. Dans cette hypothèse, l'obtention de ces plots **25** ne nécessite pas l'emploi de procédés supplémentaires que ceux utilisés pour réaliser les micro-bolomètre **10d**. En outre, des ouvertures discontinues de la première couche sacrificielle **12** peuvent être utilisées pour réaliser les plots **25** de sorte à obtenir, après la libération, des événements latéraux **32b** ménagés entre les plots.

[0122] Lorsque les plots **25** et les micro-bolomètres sont formés sur le substrat **11**, la seconde couche sacrificielle **17** peut être déposée sur la première couche sacrificielle **12**, sur les plots **25**, sur la membrane **14**, sur les clous d'ancrage **15** et sur les bras de soutien **16**.

[0123] Pour former l'écran d'occultation **19**, la plaque de support **46** et les pieds **20b**, des ouvertures sont gravées dans la seconde couche sacrificielle **17** pour atteindre les plots **25**. Ces ouvertures peuvent être continues ou discontinues et, dans l'exemple de la [Fig.4], ces ouvertures sont discontinues, si bien que des événements de libération **32c** sont formés entre les pieds **20b** de la structure porteuse **30d**. Les éléments de support **25** sont avantageusement réalisés avec les mêmes règles de dessin que les pieds **20b** et selon les mêmes procédés de fabrication, par exemple à l'aide de dépôts chimiques en phase vapeur d'un matériau à base de titane et d'un matériau à base de tungstène, afin de satisfaire la densité d'intégration, la qualité de l'écrantage et la libération facilitée des couches sacrificielles.

[0124] Après la réalisation des ouvertures, tel que décrit en référence à la [Fig.1e-c], une couche de titane ou de nitrure de titane est déposée sur la seconde couche sacrificielle **17** et dans les ouvertures de sorte à former des parois externes **41d** de la structure porteuse **30d** ainsi qu'une couche à base de titane **47** d'une plaque de support **46**. Cette couche à base de titane peut être déposée par dépôt chimique en phase vapeur avec une

épaisseur comprise entre 5 et 20 nanomètres.

- [0125] Ensuite, une couche de tungstène ou de siliciure de tungstène est déposée sur la couche à base de titane de sorte à remplir partiellement les ouvertures **21** et former l'âme interne **42d** de la structure porteuse **30d**. Cette couche à base de tungstène s'étend également sur la couche à base de titane pour former une couche à base de tungstène **48** de la plaque de support **46**. Cette couche à base de tungstène peut être déposée par dépôt chimique en phase vapeur avec une épaisseur comprise entre 0,1 et 1 micromètre.
- [0126] Dans ce mode de réalisation des figures 4 et 5, l'écran d'occultation **19** est déposé sur la couche à base de tungstène **48** de la plaque de support **46**. L'écran d'occultation **19** est, par exemple, constitué d'une couche métallique réfléchissante de sorte à isoler la membrane **14** des rayonnements infrarouges incidents. Par exemple, l'écran d'occultation **19** peut être constitué d'une couche d'aluminium ou de siliciure d'aluminium d'une épaisseur comprise entre 0,2 et 1,5 micromètre déposée par dépôt physique en phase vapeur.
- [0127] En variante, lorsque le dépôt de tungstène ou de siliciure de tungstène n'est pas suffisant pour remplir complètement les pieds **20b**, le remplissage partiel des pieds **20b** peut être comblé par le dépôt d'un insert en silicium, par exemple déposé par dépôt chimique en phase vapeur avec une épaisseur comprise entre 0,2 et 1 micromètre. En outre, cette couche de silicium peut également s'étendre sur la couche à base de tungstène **48** de sorte à former une troisième couche de la plaque de support **46**.
- [0128] Après réalisation de l'écran d'occultation **19**, les couches sacrificielles **12** et **17** sont retirées en utilisant un fluide de gravure pour obtenir le micro-bolomètre aveugle **10d** illustré sur la [Fig.4]. Ce dernier commence par attaquer la première couche sacrificielle **12** présente entre les plots 25, et la seconde couche sacrificielle 17 présente entre les pieds 20b, de sorte à former les événements de libération 32b et 32c, permettant d'extraire les couches sacrificielles 12 et 17 présentes autour de la membrane 14.
- [0129] Ainsi, un grand nombre de variantes sont possibles pour former la structure porteuse **30a-30d**.
- [0130] Lorsque la structure porteuse comporte des événements de libération **32a**, **32b** et **32c** ménagés latéralement et au moins un événement de libération central **26** ménagé au centre de l'écran d'occultation **19** et dans la plaque de support **46**, la structure porteuse ainsi réalisée permet d'obtenir un compromis intéressant entre l'homogénéité de la libération des couches sacrificielles, le temps nécessaire de libération, et la qualité d'écrantage.
- [0131] En outre, la structure porteuse **30a-30d** et l'écran d'occultation **19** peuvent être réalisés concomitamment avec la réalisation d'un micro-bolomètre de détection **50**, tel qu'illustré sur la [Fig.5]. Ainsi, la membrane **14**, les clous d'ancrage 15, et les bras de

soutien 16 de la membrane 14 sont réalisées simultanément pour le micro-bolomètre aveugle 10d et le micro-bolomètre de détection 50. En pratique, le substrat 11 supporte un ensemble de colonnes ou de lignes de micro-bolomètres de détection 50, chaque ligne ou chaque colonne étant associée à un micro-bolomètre aveugle 10d.

- [0132] Outre les micro-bolomètres de détection **50** et les micro-bolomètres aveugle **10d**, le procédé de formation de la structure porteuse **30a-30d** de l'invention peut également être utilisé pour former un cordon de support **51**. Pour ce faire, plusieurs plots juxtaposés et continus **25** sont réalisés de part et d'autre de la ligne ou la colonne formée par les micro-bolomètres de détection **50** et le micro-bolomètre aveugle **10d** associé. Ces plots **25** forment un premier étage du cordon de support **51** et sont conçus de manière à résister intégralement au procédé de libération des couches sacrificielles et à former un élément hermétique, c'est-à-dire que les couches sacrificielles entre les plots **25** et qui constituent le cordon de support **51** sont entièrement protégées par les couches **47** et **48** lors de l'étape de libération.
- [0133] La technique de formation des pieds **20b**, de la plaque de support **46** et de l'écran d'occultation **19** est réutilisée pour former un second étage du cordon de support **51** avec plusieurs pieds **20b** juxtaposés.
- [0134] Sur l'écran d'occultation **19** de ce cordon de support **51**, des métallisations **53** peuvent être déposées par croissance électrolytique et avant la libération des couches sacrificielles, par exemple des métallisations en or et en étain. Ces métallisations **53** permettent de fixer une fenêtre optique **52** qui sera rapportée sur l'ensemble des micro-bolomètres de détection **50** et des micro-bolomètres aveugles **10d** associés. Pour ce faire, cette fenêtre optique **52** présente également des métallisations **54** qui seront scellées sous vide avec les métallisations **53** formées sur les colonnes de support **51** pour obtenir un détecteur infrarouge.
- [0135] La fenêtre optique **52** peut correspondre à un substrat en silicium ou en germanium avec des filtres optiques, par exemple un réseau périodique de diffraction et/ou un filtre interférentiel. L'ensemble obtenu permet d'assurer le niveau de vide nécessaire au fonctionnement du microbolomètre, tout en permettant la transmission du flux optique incident. La fenêtre optique **52** peut également être agrémentée d'un dépôt qui assure une fonction de getter, par exemple à base de zirconium.
- [0136] Quel que soit le mode de réalisation sélectionné, l'invention permet de limiter la largeur de la structure porteuse **30a-30d** et, ainsi, d'améliorer la densité d'intégration des micro-bolomètres aveugles **10a-10d**.
- [0137] L'invention permet également de faciliter la réalisation des événements de libération **32a-32c** et d'obtenir des événements de libération **32a-32c** ménagés sur les parois latérales **31a-31c** de la structure porteuse **30a-30d** de sorte à limiter les rayonnements parasites.
- [0138] Enfin, l'invention se caractérise par un état de surface planarisé au moment de

réaliser la structuration de la couche supérieure d'écrantage, par exemple à base d'aluminium. Ceci s'avère avantageux et permet une mise en œuvre facilitée de l'étape de photolithographie associée.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge (10a-10d), ledit micro-bolomètre aveugle (10a-10d) comprenant :

- une membrane (14), comportant au moins deux électrodes et un élément thermo-résistif, ladite membrane étant montée en suspension au-dessus d'un substrat (11) par des clous d'ancrage (15), et
- un écran d'occultation (19) monté en suspension au-dessus de la membrane (14) et du substrat (11) au moyen d'une structure porteuse (30a-30d) fixée sur le substrat (11),

le procédé comprenant les étapes suivantes :

- réalisation de la membrane (14) sur une première couche sacrificielle (12) déposée sur le substrat (11) ;
- dépôt d'une seconde couche sacrificielle (17) réalisée en oxyde de silicium sur la membrane (14) et sur la première couche sacrificielle (12) ;
- réalisation d'ouvertures (18) de part et d'autre de la membrane (14) au sein d'au moins ladite seconde couche sacrificielle (17) ;
- dépôt chimique en phase vapeur de titane ou de nitrure de titane de sorte à former les parois externes (41a-41d) de pieds (20a-20b) d'une structure porteuse (30a-30d), reposant directement ou indirectement sur le substrat (11) ;
- dépôt chimique en phase vapeur de tungstène ou de siliciure de tungstène de sorte à former l'âme interne (42a-42d) des pieds (20a-20b) ;
- dépôt et structuration d'un écran d'occultation (19) sur les pieds et sur ladite seconde couche sacrificielle (17) ou sur les pieds et sur une plaque de support (46) de la structure porteuse (30a-30d) ; et
- retrait des première et seconde couches sacrificielles (12, 17) au moyen d'un fluide de gravure.

[Revendication 2]

Procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 1, **dans lequel** les couches sacrificielles (12, 17) sont réalisées en oxyde de silicium.

[Revendication 3]

Procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 1 ou 2, **dans lequel** l'étape de dépôt chimique en phase vapeur de titane ou en nitrure de titane de sorte à former les parois externes (41a-41d) forme également une couche à base

de titane (47) d'une plaque de support (46) sur la seconde couche sacrificielle (17).

- [Revendication 4] Procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon l'une des revendications 1 à 3, **dans lequel** l'étape de dépôt chimique en phase vapeur de tungstène ou de siliciure de tungstène destiné à former l'âme interne (42a-42d) des pieds (20a-20b) forme également une couche à base de tungstène (48) d'une plaque de support (46) sur la seconde couche sacrificielle (17).
- [Revendication 5] Procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 4, **dans lequel**, lorsque la couche à base de tungstène (48) est réalisée en siliciure de tungstène, le procédé comprend également une étape de gravure du siliciure de tungstène déposé de sorte à supprimer la couche à base de tungstène (48) de la plaque de support (46).
- [Revendication 6] Procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 5, **dans lequel** le procédé comprend également une étape de dépôt chimique en phase vapeur de silicium de sorte à former une troisième couche (49) de la plaque de support (46) sur la couche à base de tungstène (48) ou alternativement sur la couche à base de titane (47) ou sous la couche à base de titane (47) en cas de suppression de la couche à base de tungstène (48).
- [Revendication 7] Procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 6, **dans lequel** l'étape de dépôt chimique en phase vapeur de silicium apte à former la troisième couche (49) forme également un insert (50) dans les pieds (20a-20b).
- [Revendication 8] Procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon l'une des revendications 1 à 7, **dans lequel** l'étape de réalisation d'ouvertures (18) de part et d'autre de la membrane (14) au sein d'au moins ladite seconde couche sacrificielle (17) est configurée pour former des ouvertures discontinues de sorte à obtenir, après l'étape de retrait des couches sacrificielles (12, 17), au moins un évent de libération (32a-32c) ménagé dans une paroi latérale (31a-31c) de la structure porteuse (30a-30d).
- [Revendication 9] Procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 8, **dans lequel** l'étape de structuration de l'écran d'occultation (19) et éventuellement de la plaque de support (46) forme un surplomb (22) s'étendant dans le plan de l'écran d'occultation (19) et dans la direction opposée à la membrane (14).

- [Revendication 10] Procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon l'une des revendications 1 à 9, **dans lequel**, avant l'étape de dépôt chimique en phase vapeur du tungstène ou du siliciure de tungstène destiné à former l'âme interne (42a-42d) des pieds (20a-20b), le procédé comprend une étape de dépôt d'une couche d'aluminium (55) par dépôt physique en phase vapeur sur la couche de titane ou de nitrure de titane formant les parois externes (41a-41d) de pieds (20a-20b) de la structure porteuse (30a-30d).
- [Revendication 11] Micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge (10a-10d) comprenant :
 – un substrat (11) ;
 – une membrane (14), comportant au moins deux électrodes et un élément thermo-résistif, montée en suspension au-dessus dudit substrat (11) par des clous d'ancrage (15) ; et
 – un écran d'occultation (19) disposé au-dessus de la membrane (14) de sorte à bloquer les rayonnements infrarouges incidents ; ledit écran d'occultation (19) étant monté en suspension au-dessus de la membrane (14) et du substrat (11) au moyen d'une structure porteuse (30a-30d) fixée sur le substrat (11) ;
caractérisé en ce que la structure porteuse (30a-30d) comprend des pieds (20a-20b) reposants directement ou indirectement sur le substrat (11) et comportant des parois externes (41a-41d), réalisées en titane ou en nitrure de titane, et une âme interne (42a-42d), réalisée en tungstène ou en siliciure de tungstène.
- [Revendication 12] Micro-bolomètre aveugle selon la revendication 11, **dans lequel** l'épaisseur des parois externes (41a-41d) est comprise entre 5 et 20 nanomètres et l'épaisseur de l'âme interne (42a-42d) est comprise entre 0,1 et 1 micromètre.
- [Revendication 13] Micro-bolomètre aveugle selon la revendication 11 ou 12, **dans lequel** la structure porteuse (30a-30d) comprend une plaque de support (46) s'étendant au-dessus de la membrane (14), ledit écran d'occultation (19) étant fixé sur ladite plaque de support (46).
- [Revendication 14] Micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon l'une des revendications 11 à 13, **dans lequel** la structure porteuse (30a-30b) comprend au moins deux pieds (20a) s'étendant de part et d'autre de la membrane (14) depuis l'écran d'occultation (19) jusqu'au substrat (11).
- [Revendication 15] Micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon l'une des revendications 11 à 13, **dans lequel** la structure porteuse (30c-30d) comprend :

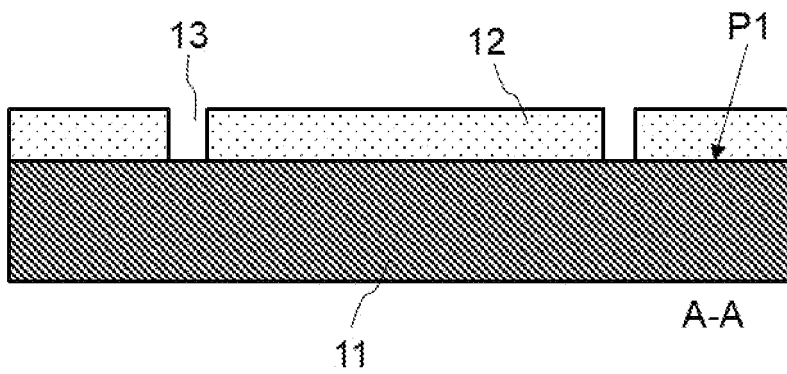
- un ensemble de plots (25a-25b) juxtaposés sur le substrat (11) de part de d'autre des clous d'ancrage (15) de la membrane (14) ; et
- au moins deux pieds (20b) s'étendant de part et d'autre de ladite membrane (14) depuis l'écran d'occultation (19) jusqu'auxdits plots (25a-25b).

[Revendication 16] Micro-bolomètre aveugle selon l'une des revendications 11 à 13, **dans lequel** les pieds (20a-20b) comprennent au moins une paroi latérale (31a-31c), et dans lequel au moins un événement de libération (32a-32c) est ménagé dans ladite au moins une paroi latérale (31a-31c).

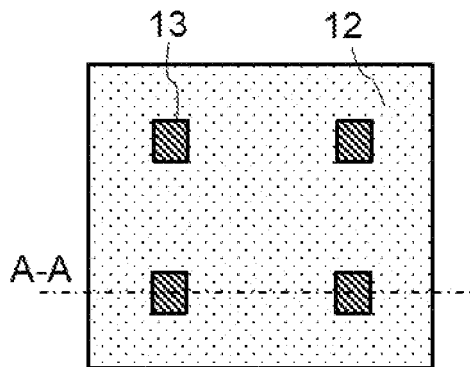
[Revendication 17] Détecteur infrarouge comprenant :

- des micro-bolomètres de détection (50) agencés sous forme matricielle sur un substrat (11) ;
- des micro-bolomètre aveugles (10a-10d) montés sur le substrat (11) selon l'une des revendications 11 à 16 ;
- un cordon de support (51) formé sur le substrat (11) et entourant les micro-bolomètres de détection (50) et les micro-bolomètre aveugles (10a-10d) ; et
- une fenêtre optique (52) scellée hermétiquement sur le cordon de support (51) aux moyens de métallisations (53, 54).

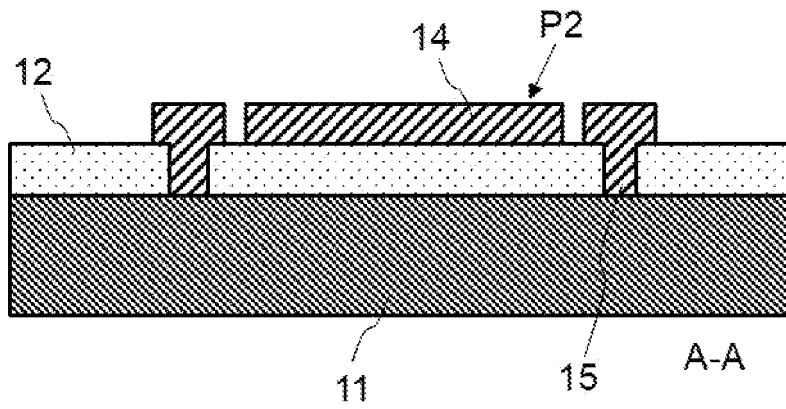
[Fig. 1a-c]



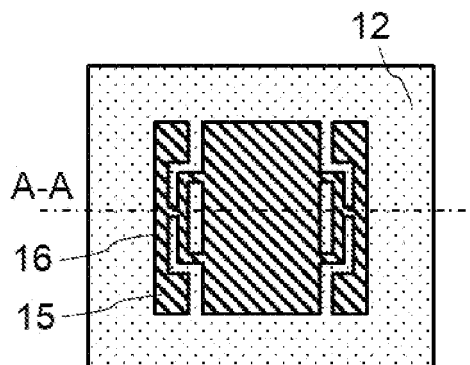
[Fig. 1a-d]



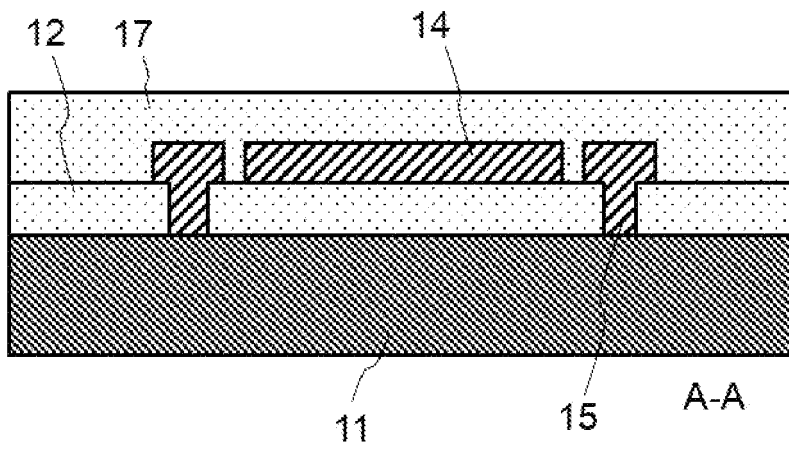
[Fig. 1b-c]



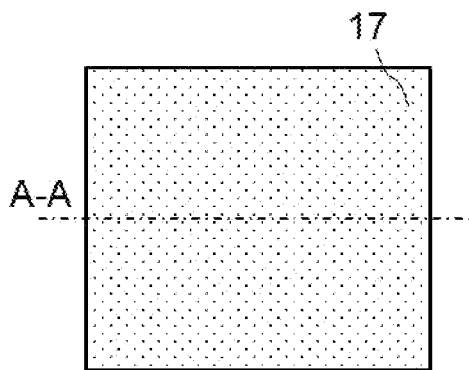
[Fig. 1b-d]



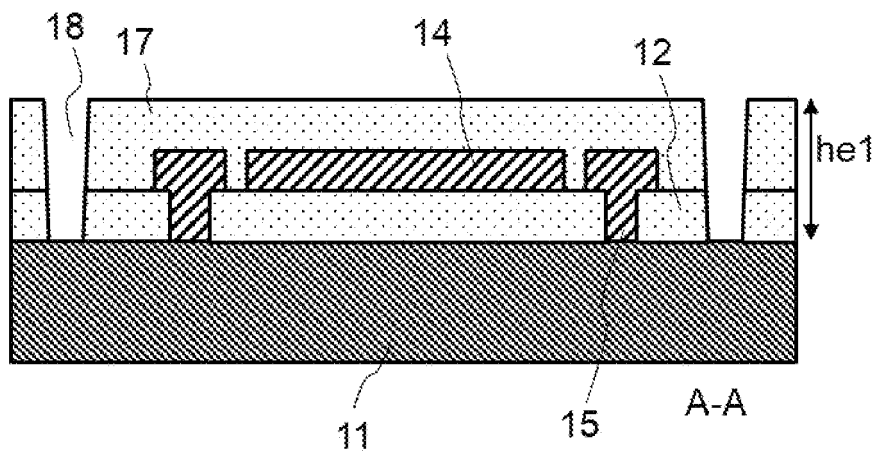
[Fig. 1c-c]



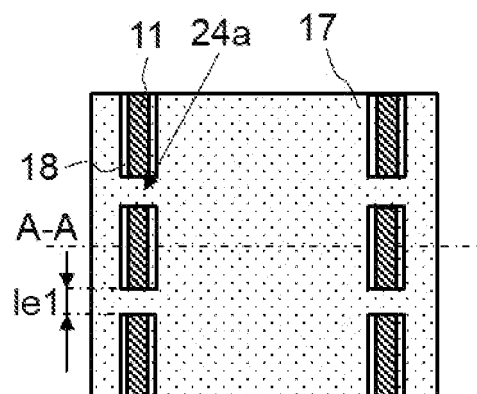
[Fig. 1c-d]



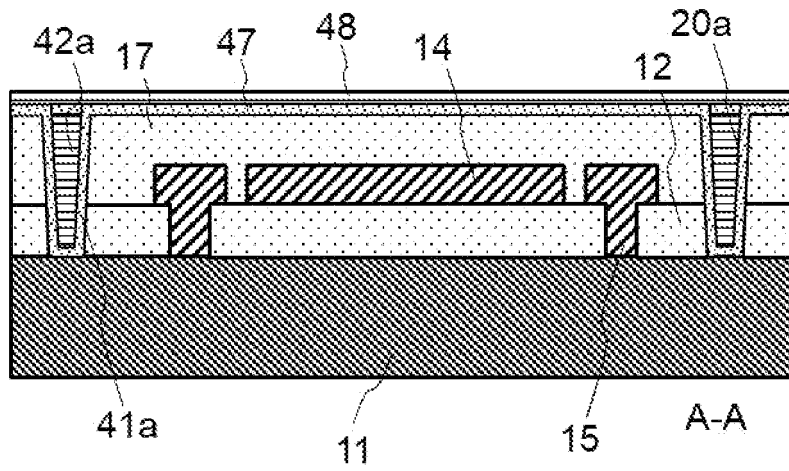
[Fig. 1d-c]



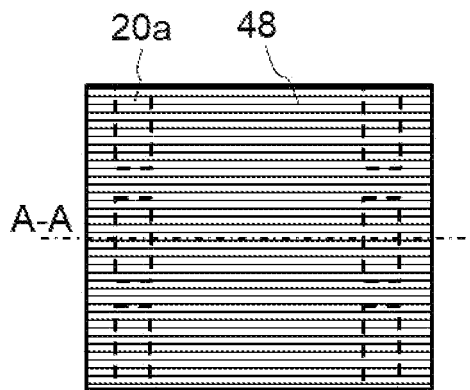
[Fig. 1d-d]



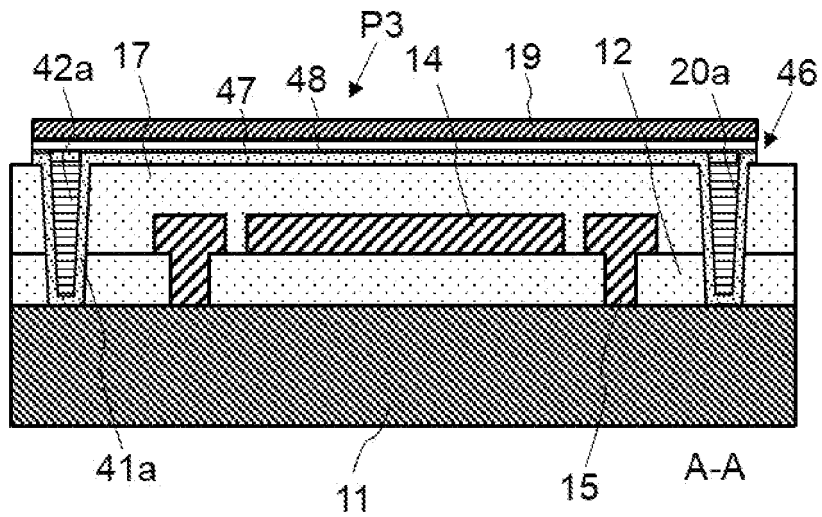
[Fig. 1e-c]



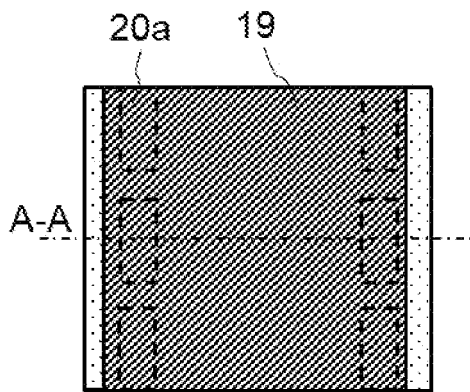
[Fig. 1e-d]



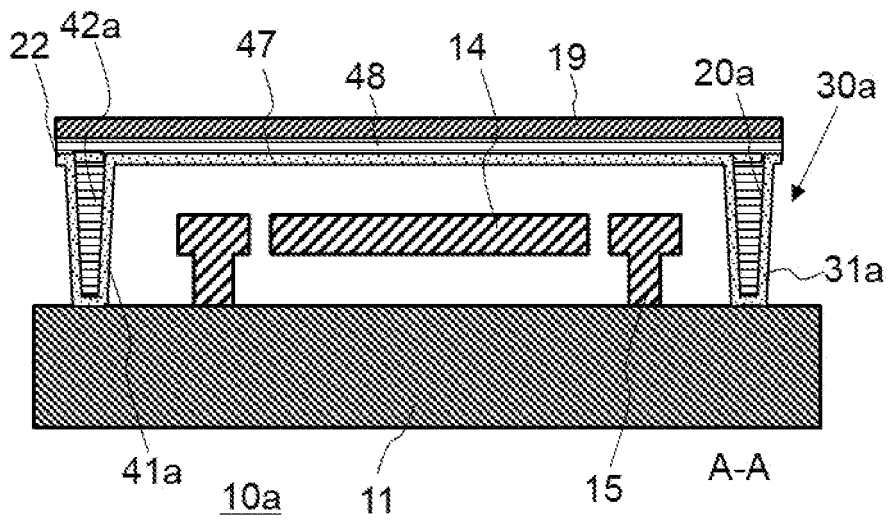
[Fig. 1f-c]



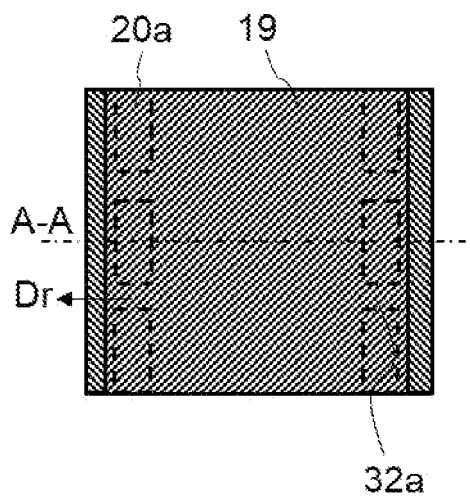
[Fig. 1f-d]



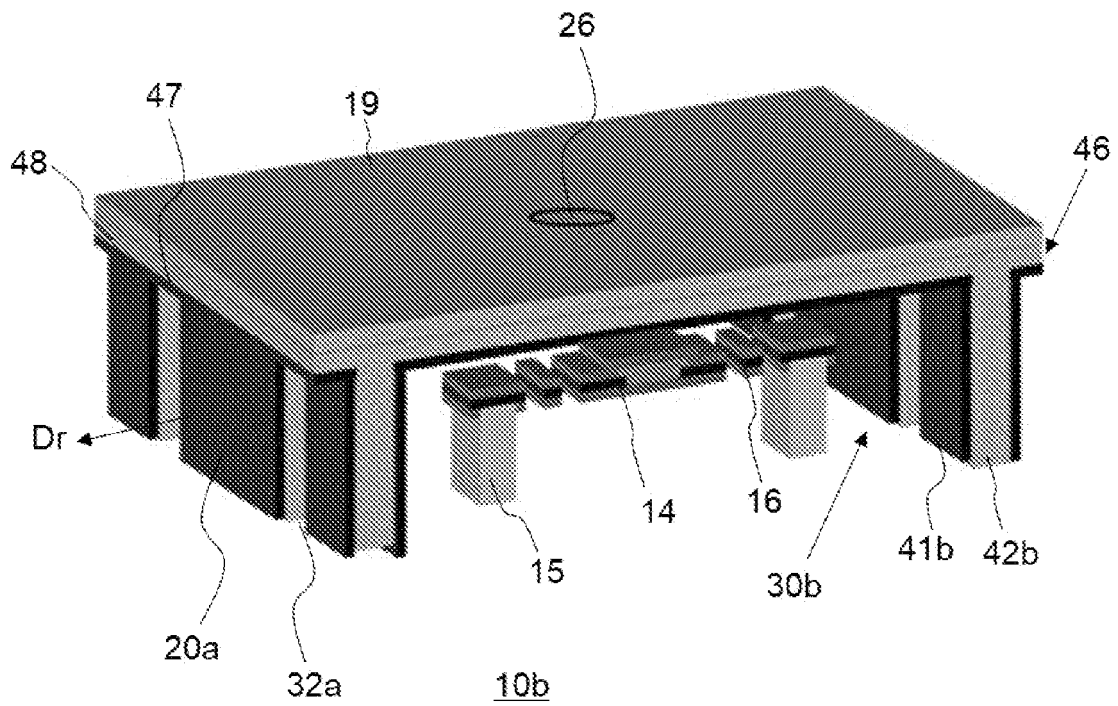
[Fig. 1g-c]



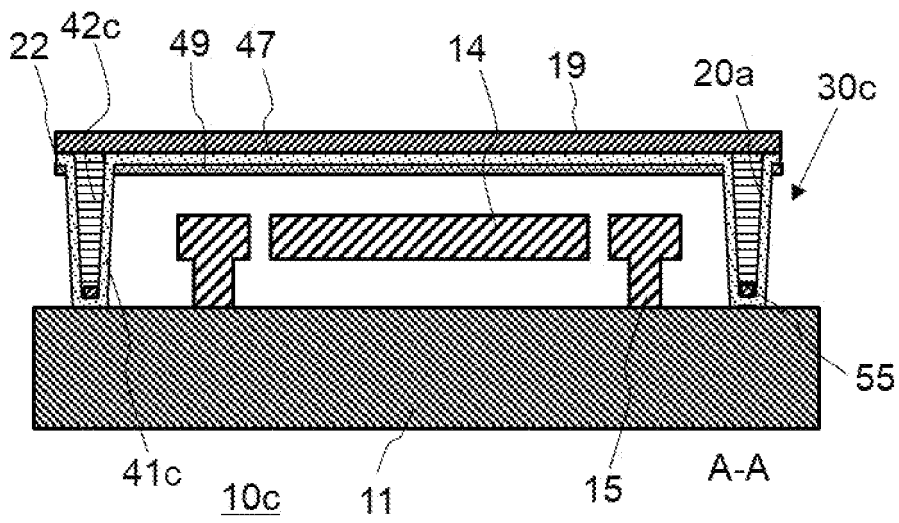
[Fig. 1g-d]



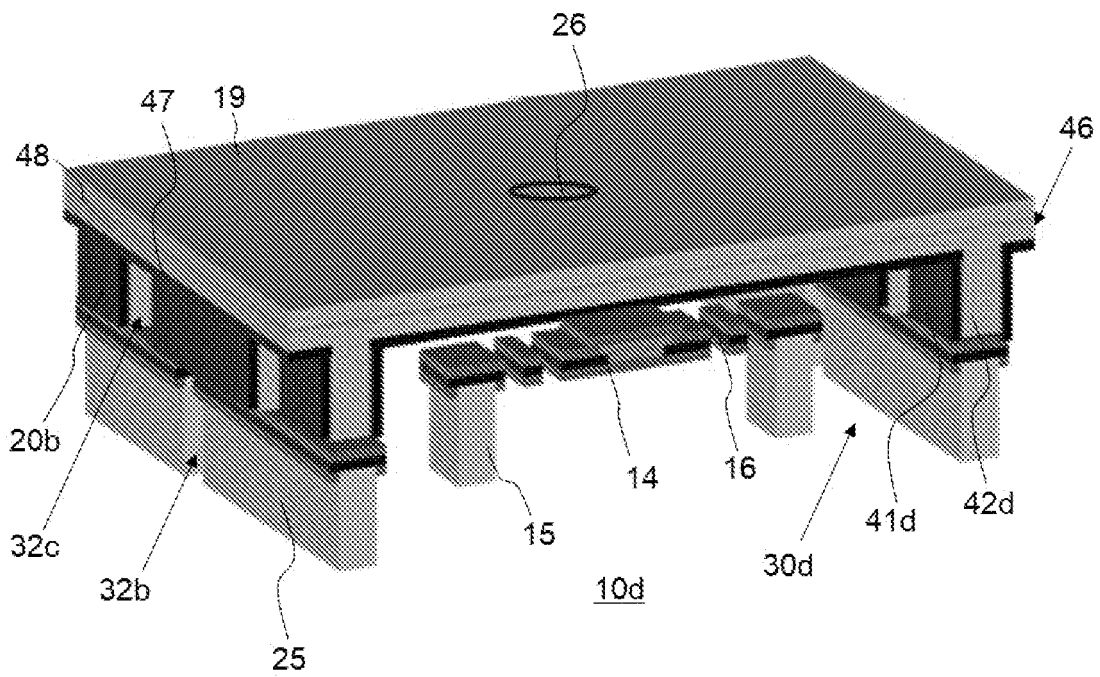
[Fig. 2]



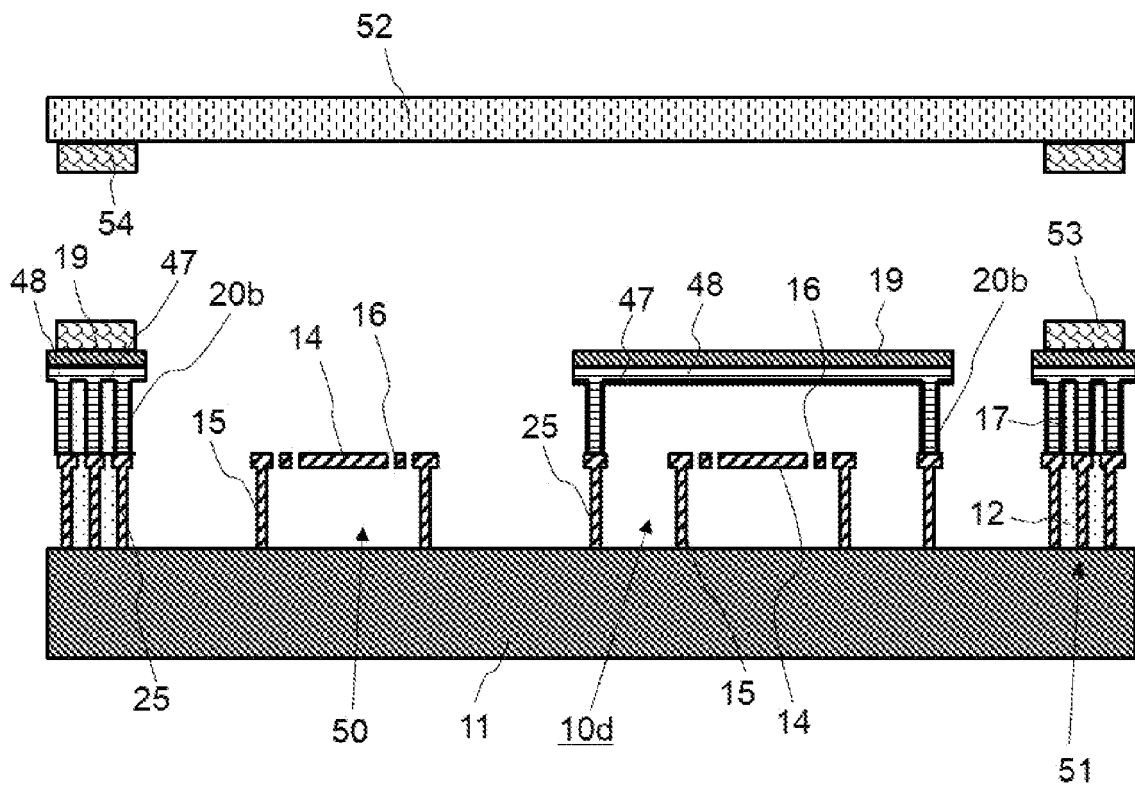
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

NEANT

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

EP 3 239 670 A1 (COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES [FR]) 1 novembre 2017 (2017-11-01)

FR 3 073 941 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 24 mai 2019 (2019-05-24)

EP 3 211 390 A1 (COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES [FR] ET) 30 août 2017 (2017-08-30)

FR 2 966 595 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 27 avril 2012 (2012-04-27)

FR 3 099 248 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 29 janvier 2021 (2021-01-29)

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

NEANT