

⑤④ MICRO-BOLOMETRE D'IMAGERIE INFRAROUGE AVEUGLE ET PROCEDE DE REALISATION.

②② Date de dépôt : 28.07.22.

③⑦ Priorité :

⑥⑦ 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 : 02.02.24 Bulletin 24/05.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 14.03.25 Bulletin 25/11.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : BOUDOU Nicolas.

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

⑦④ Mandataire(s) : LAURENT & CHARRAS.



Description

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

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 micro-bolomètre aveugle et, d'autre part, un procédé de réalisation 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.
- [0005] 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.
- [0006] 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.
- [0007] 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.

- [0008] 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 ».
- [0009] 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. Une mesure différentielle est alors généralement réalisée entre un micro-bolomètre sensible et un micro-bolomètre de référence pour filtrer chaque mesure issue d'un micro-bolomètre sensible.
- [0010] Par exemple, certains micro-bolomètres de référence permettent 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. Pour ce faire, ces micro-bolomètres de référence sont thermalisés au substrat, et sont dépourvus de couche absorbante.
- [0011] L'invention concerne plus spécifiquement un autre type de micro-bolomètres de référence ; 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.
- [0012] Ainsi, contrairement aux micro-bolomètres de référence thermalisés avec le substrat, les micro-bolomètres de référence aveugles ne sont pas thermalisés avec le substrat et ils sont pourvus d'un écran d'occultation.
- [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 source de variation de température autre que celle issue du flux utile à détecter, entre les micro-bolomètres de détection et ceux de compensation.
- [0014] 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.
- [0015] Dans le cas des micro-bolomètres aveugles, la formation de l'écran d'occultation sur la membrane complexifie grandement le retrait des couches sacrificielles mises en

œuvre pour former la membrane en suspension et pour former l'écran d'occultation sur celle-ci. En effet, l'écran d'occultation doit être monté en suspension au-dessus de la membrane. Pour ce faire, il est connu d'utiliser une seconde couche sacrificielle déposée sur la membrane et sur la première couche sacrificielle autour de la membrane. Des ouvertures sont réalisées dans cette seconde couche sacrificielle autour de la membrane pour déposer une structure porteuse avant de former l'écran d'occultation sur cette structure porteuse.

[0016] Pour éliminer la seconde couche sacrificielle, et potentiellement la première couche sacrificielle simultanément, il est nécessaire de réaliser au moins un événement de libération dans l'écran d'occultation ou au sein de la structure porteuse. Généralement, l'écran d'occultation ou la structure porteuse sont communs à plusieurs micro-bolomètres aveugles disposés en pied de ligne ou de colonne et un événement est ménagé pour chaque micro-bolomètre aveugle.

[0017] La libération de la membrane des micro-bolomètres, c'est-à-dire la suppression des couches sacrificielles, est ensuite réalisée par retrait des couches sacrificielles à travers les événements de libération réalisés. Classiquement, le procédé de libération met en œuvre une gravure par plasma oxygéné pour retirer des couches sacrificielles typiquement réalisées en polyimide.

[0018] Ainsi, tel que décrit dans le document JP 2011/232157, les événements de libération sont utilisés de sorte que 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 formé par l'écran d'occultation.

[0019] La réalisation des événements de libération au sein de l'écran d'occultation pose cependant un problème technique.

[0020] En effet, une partie des rayonnements infrarouges peut passer à travers ces événements de libération et entraîner un échauffement indésirable 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.

[0021] Pour résoudre ce problème technique, une solution consiste à former les événements de libération dans une zone de l'écran d'occultation qui n'est pas situé en regard de la membrane. Pour ce faire, le document EP 3 243 052 propose 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 respectivement aux plans du substrat, de la membrane et de l'écran d'occultation, et ce plan de marche parallèle peut être utilisé pour positionner les événements de libération.

[0022] 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 inhérente à la présence des événements de libération, car ces derniers peuvent être ménagés au même niveau que le plan de la membrane, limitant ainsi la propagation des rayonnements parasites susceptibles de passer à travers les événements de libération pour atteindre la membrane. Cependant, cette solution nécessite un élargissement de la structure porteuse pour placer les événements de libération, limitant ainsi la densité d'intégration de ces micro-bolomètres aveugles.

- [0023] En outre, pour limiter efficacement la propagation des rayonnements parasites susceptibles de passer à travers les événements de libération et corollairement d'atteindre la membrane, il est classiquement requis de limiter la section des événements de libération, même en utilisant des événements déportés sur une marche intermédiaire d'une structure porteuse en marche d'escalier. Par exemple, le document EP 2 633 279 propose d'utiliser un événement de libération pour chaque micro-bolomètre aveugle avec une taille inférieure à 1 micromètre afin d'atténuer efficacement la transmission des rayonnements infrarouges à travers l'événement de libération.
- [0024] Dans le cadre de l'invention, il a été déterminé numériquement que, pour un événement de libération de section carrée situé au-dessus d'une membrane bolométrique, la limite de longueur de chaque côté de l'événement est de 1.6 micromètre pour obtenir des rayonnements parasites acceptables, c'est-à-dire un pouvoir d'écrantage d'au moins 99%. La section de l'événement de libération de cette simulation est donc de $2.56 \mu\text{m}^2$.
- [0025] Au sens de l'invention, le « *pouvoir d'écrantage* » correspond au pourcentage de flux incident bloqué par l'écran d'occultation. La réponse électro-optique d'un micro-bolomètre, également appelée réponse résiduelle, est la différence de niveau continu mesurée lorsque ce micro-bolomètre est successivement illuminé par deux corps noirs à des températures différentes. Cette réponse résiduelle s'exprime donc en V/K ou, plus habituellement, en mV/K.
- [0026] Pour évaluer le pouvoir d'écrantage, il est ainsi possible de mesurer la réponse résiduelle d'un micro-bolomètre aveugle et celle d'un micro-bolomètre de détection situé à proximité du micro-bolomètre aveugle. Le pouvoir d'écrantage correspond alors au rapport entre les deux réponses, soit la réponse du micro-bolomètre de détection diminuée de la réponse du micro-bolomètre aveugle sur la réponse du micro-bolomètre de détection. De préférence, les valeurs de réponses sont issues d'une moyenne sur un ensemble de micro-bolomètres de détection et aveugles.
- [0027] En raison de la limitation des dimensions des événements de libération, la vitesse de libération, c'est-à-dire la durée nécessaire pour retirer tout le volume des couches sacrificielles à travers lesdits 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.

- [0028] 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.
- [0029] 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.
- [0030] Ainsi, cette sur-gravure peut dégrader la précision de la compensation réalisée par les micro-bolomètres de compensation.
- [0031] Plus précisément, il est recherché une différence relative entre les résistances des micro-bolomètres aveugles et celle des micro-bolomètres de détection inférieure à 1%.
- [0032] Au sens de l'invention, la « *différence relative* » correspond au pourcentage de différence de résistance entre un micro-bolomètre aveugle et celle d'un micro-bolomètre de détection situé à proximité du micro-bolomètre aveugle. Cette résistance peut être simplement mesurée aux bornes du micro-bolomètre aveugle et aux bornes du micro-bolomètre de détection dans une chambre obscure, c'est-à-dire sans rayonnement infrarouge capté par le micro-bolomètre de détection. La différence relative correspond donc au rapport entre les deux mesures de résistance, soit la mesure de résistance du micro-bolomètre de détection diminuée de la mesure de résistance du micro-bolomètre aveugle sur la mesure de résistance du micro-bolomètre de détection. De préférence, les mesures sont issues d'une moyenne sur un ensemble de micro-bolomètres de détection et aveugles.
- [0033] Le problème technique que l'invention entend résoudre consiste donc à obtenir un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge comportant des événements de libération limitant les rayonnements parasites et permettant d'aboutir à une vitesse de libération de la membrane du micro-bolomètre aveugle acceptable et proche de celle des membranes des micro-bolomètres de détection, en limitant la différence entre la résistance d'un micro-bolomètre aveugle et celle d'un micro-bolomètre de détection.

Exposé de l'invention

- [0034] Afin de répondre à ce problème technique, l'invention propose d'utiliser au moins deux événements de libération par micro-bolomètre aveugle présentant des dimensions suffisamment réduites pour limiter la transmission des rayonnements infrarouges.

- [0035] En effet, l'invention est issue de l'observation selon laquelle la multiplication des événements de libération de petites dimensions n'augmente pas la transmittance des rayonnements infrarouges à travers l'écran d'occultation. En raison de cette observation contre-intuitive, l'homme du métier, qui naturellement aurait considéré que la transmittance des rayonnements infrarouges est directement proportionnelle à la surface ouverte de l'écran d'occultation, également appelé taux d'ouverture, n'aurait pas emprunté cette voie.
- [0036] Au sens de l'invention, le « *taux d'ouverture* » de l'écran d'occultation correspond ainsi à la surface totale des événements de libération formés en regard d'un micro-bolomètre aveugle sur la surface totale du micro-bolomètre aveugle.
- [0037] Pour des raisons de simplification du procédé de fabrication, l'état de la technique propose toujours d'utiliser un seul événement de libération lorsque celui-ci est disposé en regard du micro-bolomètre aveugle.
- [0038] Fort de l'observation de l'invention selon laquelle ces deux contraintes ne sont pas inextricablement liées, il est désormais possible de limiter la durée de libération de la membrane du micro-bolomètre aveugle sans dégrader la transmittance des rayonnements infrarouges à travers l'écran d'occultation en multipliant les événements à travers ledit écran.
- [0039] Pour obtenir cet effet surprenant, il a été observé qu'il est nécessaire d'utiliser un écran d'occultation avec une couche métallique suffisamment épaisse, typiquement une couche métallique présentant une épaisseur supérieure à 150 nanomètres.
- [0040] Par ailleurs, chaque événement de libération doit présenter un taux d'ouverture inférieur à 30% et une taille inférieure à 3 micromètres.
- [0041] Au sens de l'invention, la « *taille* » d'un événement de libération correspond à la plus grande dimension dudit événement, par exemple la diagonale d'un événement carré ou rectangulaire ou le diamètre d'un événement circulaire.
- [0042] Selon un premier 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 du substrat ;
 - 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 ; et
 - un événement de libération ménagé au sein dudit écran d'occultation et destiné à permettre le retrait d'au moins une couche sacrificielle mise en œuvre lors du procédé de fabrication du micro-bolomètre aveugle.

- [0043] L'invention se caractérise en ce que l'écran d'occultation comprend :
- au moins une couche métallique présentant une épaisseur supérieure à 150 nanomètres ; et
 - au moins deux événements de libération, chaque événement de libération présentant un taux d'ouverture inférieur à 30% et une taille inférieure à 3 micromètres.
- [0044] L'invention permet d'obtenir un micro-bolomètre aveugle, ou un ensemble de micro-bolomètres aveugles réalisés collectivement, avec un pouvoir d'écrantage d'au moins 99% et une différence relative entre les résistances des micro-bolomètres aveugles et celle des micro-bolomètres de détection inférieure à 1%.
- [0045] Cette amélioration de la différence relative est inhérente à la réduction de la durée de libération car le temps d'exposition des membranes des micro-bolomètres de détection est désormais plus proche du temps d'exposition des membranes des micro-bolomètres aveugles, et le risque de sur-gravure des membranes des micro-bolomètres de détection est limité.
- [0046] Cette réduction de la durée de libération dépend du taux d'ouverture de l'écran d'occultation. L'augmentation possible de ce taux d'ouverture pour conserver un pouvoir d'écrantage d'au moins 99% dépend du pouvoir d'écrantage initial de l'écran d'occultation, c'est-à-dire de la nature et de l'épaisseur de la couche métallique intégrée dans ledit écran. Bien entendu, il est possible de mettre en œuvre l'invention pour obtenir un pouvoir d'écrantage inférieur à 99%.
- [0047] Par exemple, pour un écran d'occultation comportant une couche métallique réalisée en titane ou en chrome, l'épaisseur de la couche métallique est préférentiellement supérieure à 400 nanomètres et le taux d'ouverture est préférentiellement inférieur à 25%.
- [0048] Dans un autre exemple dans lequel l'écran d'occultation comporte une couche métallique réalisée en aluminium, en or, en argent, en cuivre, en platine, en molybdène ou en tungstène, l'épaisseur de la couche métallique est préférentiellement supérieure à 100 nanomètres et le taux d'ouverture est préférentiellement inférieur à 25%.
- [0049] Ainsi, la variation du taux d'ouverture possible dépend de l'épaisseur et de la nature de la couche métallique constitutive de l'écran d'occultation.
- [0050] Par ailleurs, le taux d'ouverture peut être obtenu avec des événements de libération de formes variables sans changer l'invention.
- [0051] Par exemple, les événements de libération peuvent être de forme carrée, rectangulaire, circulaire, hexagonale...
- [0052] Il est néanmoins important que la taille de chaque événement soit inférieure à 3 micromètres.
- [0053] Les événements peuvent être placés aléatoirement dans l'écran d'occultation ou organisés sous la forme d'un réseau périodique d'au moins quatre événements de libération par micro-

bolomètre aveugle, les événements de libération étant par exemple agencés en lignes et en colonnes.

[0054] Au sens de l'invention, un « *réseau périodique* » indique que les événements de chaque micro-bolomètre aveugle sont régulièrement espacés les uns des autres par un pas régulier. Avec au moins deux lignes et deux colonnes, le réseau périodique est formé au minimum avec quatre événements de libération. Bien entendu, il est possible d'utiliser plus de deux colonnes ou plus de deux lignes.

[0055] Par exemple, pour un réseau périodique de trois lignes et de trois colonnes, alors que la section maximum d'un seul événement de libération a précédemment été estimée à $2.56 \mu\text{m}^2$ pour obtenir un pouvoir d'écrantage supérieur à 99%, il a été observé qu'il est possible d'utiliser un réseau périodique de 9 événements de libération de section circulaire avec un diamètre de 1.4 micromètre et un pas de 4 micromètres entre les événements et d'obtenir également un pouvoir d'écrantage supérieur à 99%. Avec cette configuration particulière, la section de chaque événement de libération est de $1.54 \mu\text{m}^2$ et la section totale est de $13.85 \mu\text{m}^2$. La vitesse de libération étant directement liée à la section totale des événements de libération de chaque micro-bolomètre aveugle, le passage d'une section de $2.56 \mu\text{m}^2$ à une section totale de $13.85 \mu\text{m}^2$ permet d'améliorer significativement la vitesse de libération. Il est donc possible d'obtenir une différence relative entre les résistances des micro-bolomètres aveugles et celle des micro-bolomètres de détection inférieure à 1%.

[0056] Les simulations de l'invention ont montré que l'invention est particulièrement efficace avec des réseaux de neuf ou seize événements de libération, avec trois lignes et trois colonnes ou avec quatre lignes et quatre colonnes.

[0057] Selon un second aspect, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge comprenant les étapes suivantes :

- réalisation de la membrane sur une première couche sacrificielle déposée sur un substrat ;
- dépôt d'une seconde couche sacrificielle sur la membrane et sur la première couche sacrificielle ;
- réalisation d'ouvertures à la périphérie de la membrane au sein desdites première et seconde couches sacrificielles jusqu'à atteindre le substrat ;
- dépôt d'au moins une couche d'aveuglement sur la seconde couche sacrificielle et dans les ouvertures, de sorte à former un écran d'occultation et une structure porteuse ; ladite au moins une couche d'aveuglement comportant au moins une couche métallique présentant une épaisseur supérieure à 150 nanomètres ;
- réalisation d'au moins deux événements de libération dans l'écran d'occultation, chaque événement de libération présentant un taux d'ouverture inférieur à 30% et une taille inférieure à 3 micromètres ; et

– retrait des première et seconde couches sacrificielles au moyen d'un fluide de gravure à travers les événements de libération ainsi formés.

[0058] L'utilisation de plusieurs événements de libération avec un taux d'ouverture inférieur à 30% et une taille inférieure à 3 micromètres permet de limiter la durée de libération de la membrane du micro-bolomètre aveugle. Ainsi, l'étape de retrait des première et seconde couches sacrificielles est préférentiellement réalisée pendant une durée inférieure à 10 minutes.

Brève description des figures

[0059] 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 :

[0060] [Fig.1] est une vue schématique en section d'un micro-bolomètre aveugle selon un mode de réalisation de l'invention.

[0061] [Fig.2] est une vue schématique de dessus du micro-bolomètre aveugle de la [Fig.1].

[0062] [Fig.3] est une vue schématique en section d'une première étape de réalisation du micro-bolomètre aveugle de la [Fig.1].

[0063] [Fig.4] est une vue schématique en section d'une deuxième étape de réalisation du micro-bolomètre aveugle de la [Fig.1].

[0064] [Fig.5] est une vue schématique en section d'une troisième étape de réalisation du micro-bolomètre aveugle de la [Fig.1].

[0065] [Fig.6] est une vue schématique en section d'une quatrième étape de réalisation du micro-bolomètre aveugle de la [Fig.1].

[0066] [Fig.7] est une vue schématique en section d'une cinquième étape de réalisation du micro-bolomètre aveugle de la [Fig.1].

[0067] [Fig.8] est une vue schématique en section d'une sixième étape de réalisation du micro-bolomètre aveugle de la [Fig.1].

Description détaillée de l'invention

[0068] Les figures 1 et 2 illustrent un micro-bolomètre aveugle **10** comprenant une membrane **14** montée en suspension sur un substrat **11** par des clous d'ancrage **15**. La membrane **14** comporte un élément thermo-résistif et au moins deux électrodes connectées sur les clous d'ancrage **15** pour mesurer la résistance du matériau thermo-résistif qui varie en fonction de la température de celui-ci.

[0069] Pour bloquer les rayonnements infrarouges pouvant atteindre la membrane **14**, un écran d'occultation **19** est fixé au-dessus de la membrane **14**. Plus précisément, l'écran d'occultation **19** se présente comme une plaque soutenue par une structure porteuse **30** fixée sur le substrat **11** à la périphérie de la membrane **14**.

- [0070] Dans l'exemple des figures 1 et 2, la structure porteuse **30** présente des pieds **20** s'étendant depuis l'écran d'occultation **19** jusqu'au substrat **11** au moyen de deux parois latérales **31** en forme de V. En variante, la structure porteuse **30** peut reposer sur des plots déposés sur le substrat **11**.
- [0071] Selon l'invention, l'écran d'occultation **19** comprend au moins deux événements de libération **32** présentant un taux d'ouverture inférieur à 30% et une taille inférieure à 3 micromètres. Tel qu'illustré sur la [Fig.2], les événements de libération **32** peuvent être de forme carrée et agencés en lignes et en colonnes pour former un réseau périodique de seize événements de libération **32**. En variante, les événements de libération **32** peuvent prendre d'autres formes, par exemple une forme rectangulaire, circulaire ou hexagonale.
- [0072] Il est également possible de former un réseau de 4 ou 9 événements de libération **32** ou même de réaliser plusieurs événements de libération **32** distincts sans changer l'invention.
- [0073] En outre, pour garantir un écrantage efficace des rayonnements infrarouges avec les multiples événements de libération **32**, l'écran d'occultation **19** doit intégrer au moins une couche métallique présentant une épaisseur supérieure à 150 nanomètres.
- [0074] Cette couche métallique peut être la seule couche constitutive de l'écran d'occultation **19**, également utilisée pour former les parois latérales **31** de la structure porteuse **30**. En variante, la couche métallique peut être déposée sur une couche de support ou interposée entre deux couches d'encapsulation. Ainsi, la structure porteuse **30** peut intégrer ou non la couche métallique constitutive de l'écran d'occultation **19**.
- [0075] L'épaisseur de la couche métallique dépend du matériau utilisé. Pour une couche métallique réalisée en titane ou en chrome, l'épaisseur de la couche métallique est préférentiellement supérieure à 400 nanomètres et le taux d'ouverture est inférieur à 25%. Pour une couche métallique réalisée en aluminium, en or, en argent, en cuivre, en platine, en molybdène ou en tungstène, l'épaisseur de la couche métallique est préférentiellement supérieure à 100 nanomètres et le taux d'ouverture est inférieur à 25%.
- [0076] L'invention sera mieux comprise en référence aux figures 3 à 8 qui illustrent le procédé de réalisation du micro-bolomètre aveugle **10** des figures 1 et 2.
- [0077] Tel qu'illustré sur la [Fig.3], une première couche sacrificielle **12** est déposée sur le substrat **11** de sorte à permettre la formation de la membrane **14**. Le substrat **11** intègre les éléments d'adressage et de lecture du micro-bolomètre **10**.
- [0078] 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 SiO_2 .

- [0079] 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.
- [0080] Puis, tel qu'illustré sur la [Fig.4], les couches formant la membrane **14**, les clous d'ancrage **15**, et les bras de soutien de la membrane **14** sont ensuite déposées dans les ouvertures **13** et sur la première couche sacrificielle **12**.
- [0081] 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.
- [0082] Classiquement, les éléments **14** et **15** 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. 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.
- [0083] De préférence, les étapes de réalisation de ces éléments **14** et **15** du micro-bolomètre **10** sont réalisées simultanément avec celles des micro-bolomètres de détection (non représentés), de sorte que le micro-bolomètre aveugle **10** formé sur la première couche sacrificielle **12** présente des propriétés thermiques et résistives identiques à celles des micro-bolomètres de détection. Par exemple, les étapes de réalisation du micro-bolomètre **10** peuvent correspondre à celles décrites dans le document FR 3045148.
- [0084] Après délimitation et structuration de la membrane **14** et des bras de soutien 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, tel qu'illustré sur la [Fig.5]. Cette seconde couche sacrificielle **17** est préférentiellement réalisée en dioxyde de silicium SiO₂.
- [0085] Cette seconde couche sacrificielle **17** est destinée à permettre la formation de la structure de support **30** 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 la [Fig.6].
- [0086] En outre, les couches sacrificielles **12** et **17** peuvent être classiquement réalisées en polyimide.
- [0087] 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 **20** avec des largeurs très fines.

- [0088] Après la réalisation des ouvertures discontinues **18**, la [Fig.7] illustre la réalisation de la structure porteuse **30** et de l'écran d'occultation **19**. Pour ce faire, une couche de titane peut être déposée sur la seconde couche sacrificielle **17** et dans les ouvertures **18** de sorte à former des parois latérales **31** de la structure porteuse **30**, ainsi que l'écran d'occultation **19**. Cette couche de titane peut être déposée par dépôt chimique en phase vapeur avec une épaisseur comprise entre 400 et 600 nanomètres.
- [0089] L'étape illustrée sur la [Fig.8] vise à former les événements de libération **32** et à supprimer l'écran d'occultation **19** 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**.
- [0090] En ce qui concerne les événements de libération **32**, cette étape permet de définir la position, le nombre et la forme des événements de libération **32**. De préférence, cette étape est réalisée par une gravure ionique réactive de l'écran d'occultation **19**.
- [0091] Par exemple, il est possible de former un réseau périodique de 16 événements de libération **32** de forme carrée avec des côtés de 1 micromètre et un pas de 4 micromètres entre lesdits événements **32** et d'obtenir un pouvoir d'écrantage supérieur à 99%. Avec cette configuration particulière, la section de chaque événement de libération **32** est de $1\ \mu\text{m}^2$ et la section totale est de $16\ \mu\text{m}^2$.
- [0092] En variante, il est possible de former un réseau périodique de 9 événements de libération **32** de section circulaire avec un diamètre de 1.4 micromètre et un pas de 4 micromètres entre lesdits événements **32** et d'obtenir également un pouvoir d'écrantage supérieur à 99%. Avec cette configuration particulière, la section de chaque événement de libération **32** est de $1.54\ \mu\text{m}^2$ et la section totale est de $13.85\ \mu\text{m}^2$.
- [0093] A partir de la structure illustrée sur la [Fig.8], il est possible de supprimer les couches sacrificielles **12** et **17** en utilisant les événements de libération **32**. Ainsi, le fluide de gravure est introduit et extrait avec les couches sacrificielles **12** et **17** par l'ensemble de ces événements de libération **32** simultanément. Avec la section totale de l'ensemble des événements de libération **32**, le retrait des couches sacrificielles **12** et **17** peut être réalisé pendant une durée inférieure à 10 minutes.
- [0094] Typiquement, 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.

- [0095] Le retrait des couches sacrificielles **12** et **17** permet d'obtenir le micro-bolomètre **10** illustré sur les figures 1 et 2.
- [0096] Dans l'exemple des figures 1 et 2, l'écran d'occultation **19** recouvre un seul micro-bolomètre aveugle **10**. En variante, un écran d'occultation **19** peut recouvrir plusieurs micro-bolomètres aveugles **10** juxtaposés avec une seule structure porteuse **30** commune à ces différents micro-bolomètres aveugles **10**.
- [0097] Quel que soit le nombre de micro-bolomètres aveugles **10** recouverts par l'écran d'occultation **19**, chaque micro-bolomètre aveugle **10** est disposé en regard d'au moins deux événements de libération **32** formés dans l'écran d'occultation **19** de sorte à obtenir un retrait rapide des couches sacrificielles **12** et **17**.
- [0098] L'invention permet ainsi d'obtenir un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge comportant des événements de libération limitant les rayonnements parasites et permettant d'aboutir à une vitesse de libération acceptable et proche de celle des membranes des micro-bolomètres de détection, sans limiter la densité d'intégration du micro-bolomètre aveugle.

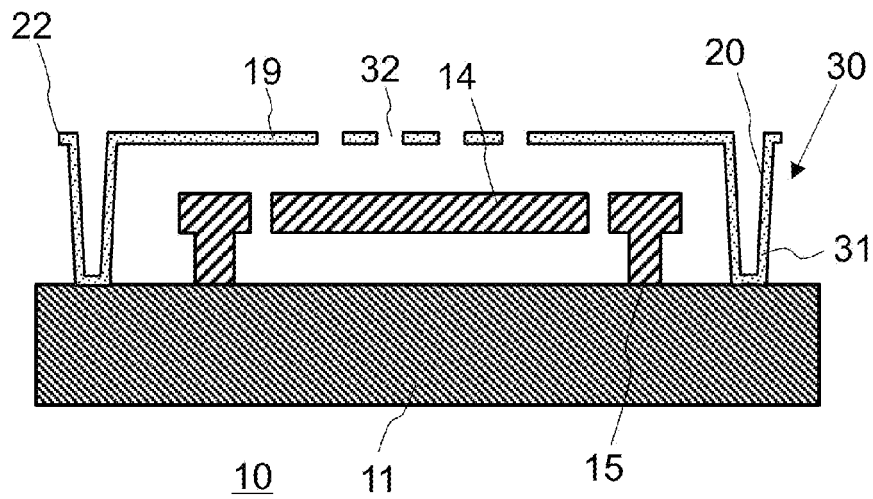
Revendications

- [Revendication 1] Micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge (10) comprenant :
- un substrat (11) ;
 - une membrane (14), comportant au moins deux électrodes et un élément thermo-résistif, montée en suspension au-dessus du substrat (11) ; 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 (20) fixée sur le substrat (11) ;
- caractérisé** en ce que ledit écran d'occultation (19) comprend :
- au moins une couche métallique présentant une épaisseur supérieure à 150 nanomètres ; et
 - au moins deux événements de libération (32) ménagés au sein dudit écran d'occultation (19) en regard de ladite membrane (14) et destinés à permettre le retrait d'au moins une couche sacrificielle (12, 17) mise en œuvre lors du procédé de fabrication du micro-bolomètre aveugle (10), chaque événement de libération (32) présentant une taille inférieure à 3 micromètres, de sorte que ledit écran d'occultation (19) présente un taux d'ouverture inférieur à 30%, le taux d'ouverture étant défini par la surface totale desdits au moins deux événements de libération (32) sur la surface totale dudit micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge (10).
- [Revendication 2] Micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 1, **dans lequel** l'écran d'occultation (19) comporte une couche métallique réalisée en titane ou en chrome, l'épaisseur de la couche métallique étant supérieure à 400 nanomètres et le taux d'ouverture étant inférieur à 25%.
- [Revendication 3] Micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 1, **dans lequel** l'écran d'occultation (19) comporte une couche métallique réalisée en aluminium, en or, en argent, en cuivre, en platine, en molybdène ou en tungstène, l'épaisseur de la couche métallique étant supérieure à 150 nanomètres et le taux d'ouverture étant inférieur à 25%.
- [Revendication 4] Micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon l'une des revendications 1 à 3, **dans lequel** les événements de libération (32) sont

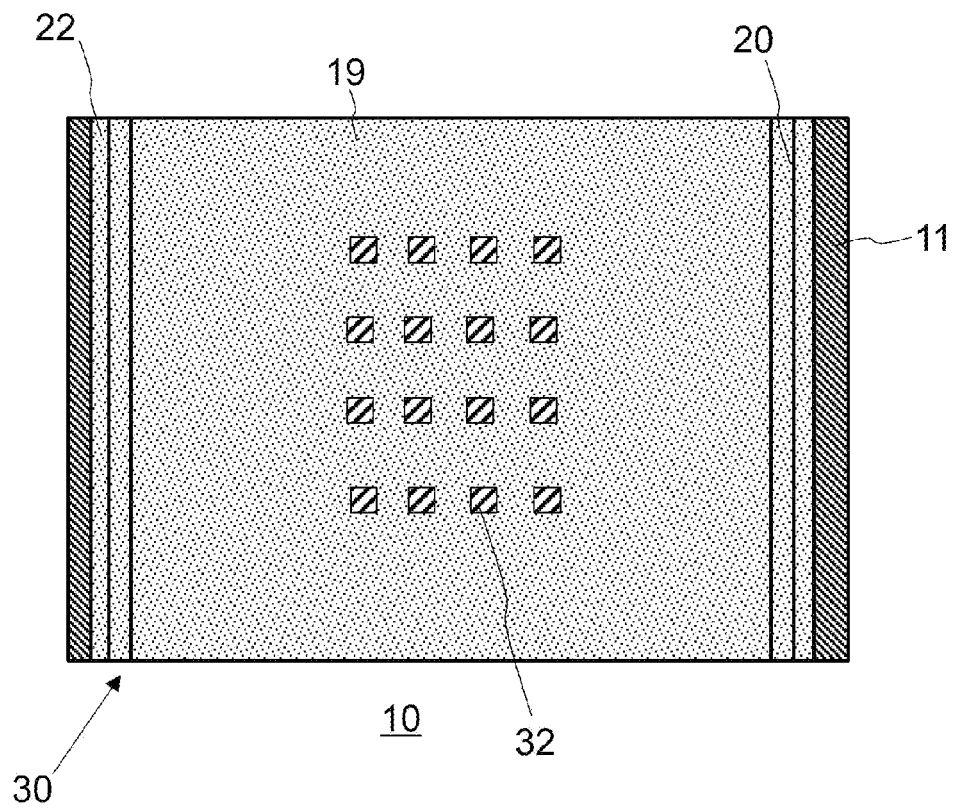
- organisés sous la forme d'un réseau périodique d'au moins quatre événements de libération (32) par micro-bolomètre aveugle (10), les événements de libération (32) étant agencés en lignes et en colonnes.
- [Revendication 5] Micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 4, **dans lequel** les événements de libération (32) sont organisés sous la forme d'un réseau périodique de neuf événements de libération (32) par micro-bolomètre aveugle (10), avec trois lignes et trois colonnes.
- [Revendication 6] Micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 4, **dans lequel** les événements de libération (32) sont organisés sous la forme d'un réseau périodique de seize événements de libération (32) par micro-bolomètre aveugle (10), avec quatre lignes et quatre colonnes.
- [Revendication 7] Procédé de réalisation d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge (10) comprenant les étapes suivantes :
- réalisation d'une membrane comportant au moins deux électrodes et un élément thermo-résistif sur une première couche sacrificielle (12) déposée sur un substrat (11) ;
 - dépôt d'une seconde couche sacrificielle (17) sur la membrane (14) et sur la première couche sacrificielle (12) ;
 - réalisation d'ouvertures (18) à la périphérie de la membrane (14) au sein desdites première et seconde couches sacrificielles (12, 17) jusqu'à atteindre le substrat (11) ;
 - dépôt d'au moins une couche d'aveuglement sur la seconde couche sacrificielle (17) et dans les ouvertures (18), de sorte à former un écran d'occultation (19) et une structure porteuse (20) ; ladite au moins une couche d'aveuglement comportant au moins une couche métallique présentant une épaisseur supérieure à 150 nanomètres ;
 - réalisation d'au moins deux événements de libération (32) dans l'écran d'occultation (19), chaque événement de libération (32) présentant une taille inférieure à 3 micromètres de sorte que ledit écran d'occultation (19) présente un taux d'ouverture inférieur à 30%, le taux d'ouverture étant défini par la surface totale desdits au moins deux événements de libération (32) sur la surface totale dudit micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge (10) ; et
 - retrait des première et seconde couches sacrificielles (12, 17) au moyen d'un fluide de gravure à travers les événements de libération (32) ainsi formés.

- [Revendication 8] Procédé de fabrication d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 7, ***dans lequel*** la couche métallique entrant dans la constitution de l'écran d'occultation est réalisée en titane ou en chrome, l'épaisseur de ladite couche métallique étant supérieure à 400 nanomètres et le taux d'ouverture est inférieur à 25%.
- [Revendication 9] Procédé de fabrication d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon la revendication 7, ***dans lequel*** la couche métallique entrant dans la constitution de l'écran d'occultation est réalisée en aluminium, en or, en argent, en cuivre, en platine, en molybdène ou en tungstène, l'épaisseur de la couche métallique étant supérieure à 150 nanomètres et le taux d'ouverture est inférieur à 25%.
- [Revendication 10] Procédé de fabrication d'un micro-bolomètre aveugle d'imagerie infrarouge selon l'une des revendications 7 à 9, ***dans lequel*** l'étape de retrait des première et seconde couches sacrificielles (12, 17) est réalisée pendant une durée inférieure à 10 minutes.

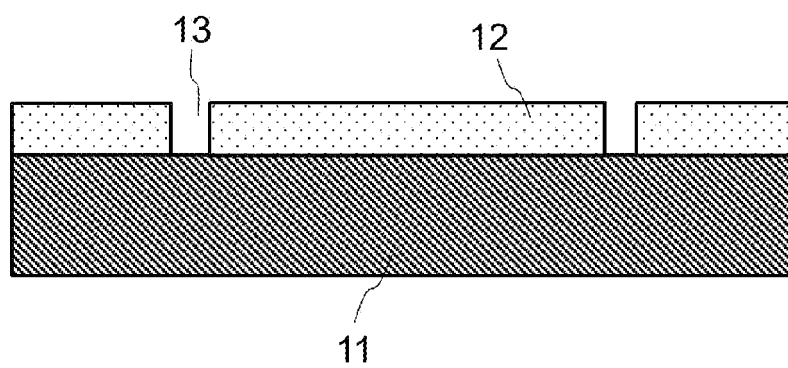
[Fig. 1]



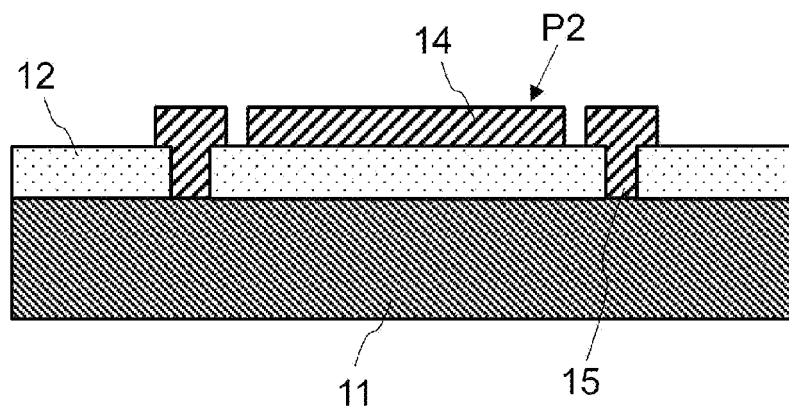
[Fig. 2]



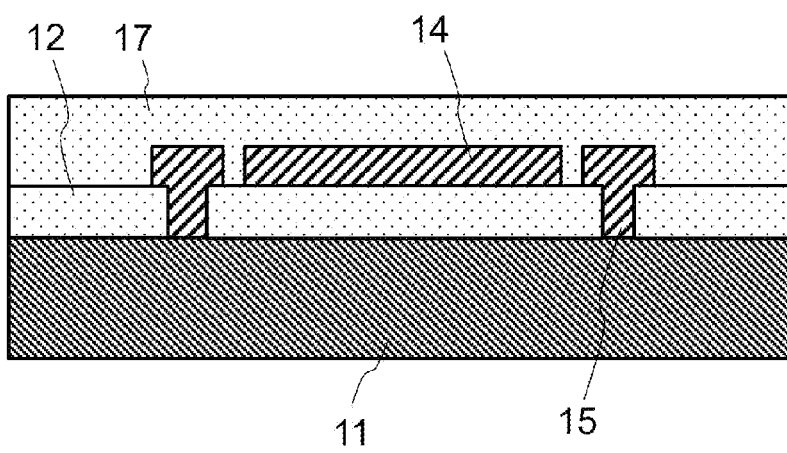
[Fig. 3]



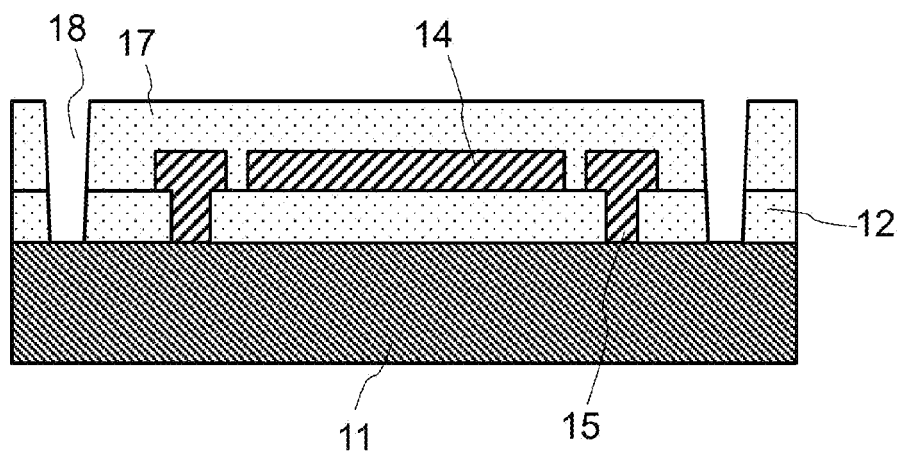
[Fig. 4]



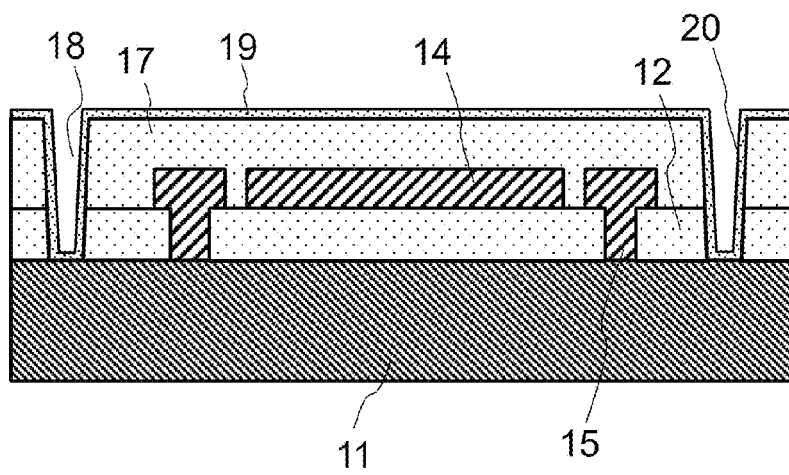
[Fig. 5]



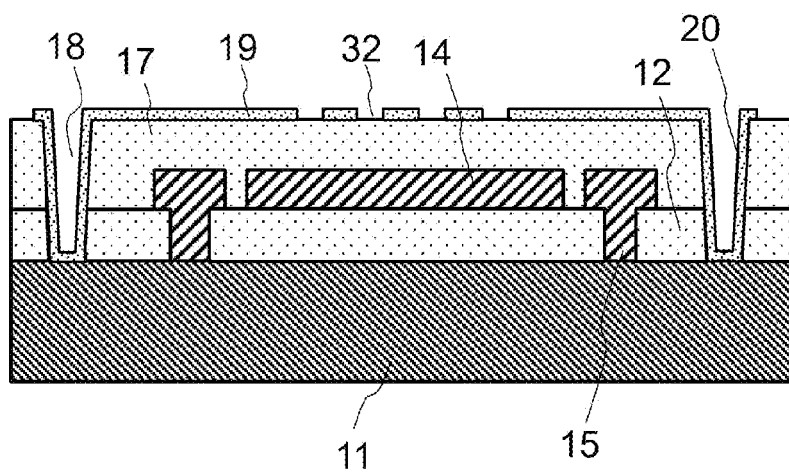
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



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

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

FR 3 118 663 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR])
8 juillet 2022 (2022-07-08)

JP H11 108760 A (NEC CORP)
23 avril 1999 (1999-04-23)

LEE JAE-WUNG ET AL: "Optimization of etch-hole design for the thin film packaging",
2013 IEEE 15TH ELECTRONICS PACKAGING TECHNOLOGY CONFERENCE (EPTC 2013), IEEE,
11 décembre 2013 (2013-12-11),
pages 130-134, XP032569703,
DOI: 10.1109/EPTC.2013.6745698
[extrait le 2014-02-19]

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

NEANT

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

NEANT