

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 934 044

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

08 54857

⑤1 Int Cl⁸ : G 01 J 5/20 (2006.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 17.07.08.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 22.01.10 Bulletin 10/03.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE Etablissement public à caractère industriel et
commercial — FR.

⑦2 Inventeur(s) : AGNESE PATRICK et ARNAUD
AGNES.

⑦3 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMI-
QUE Etablissement public à caractère industriel et com-
mercial.

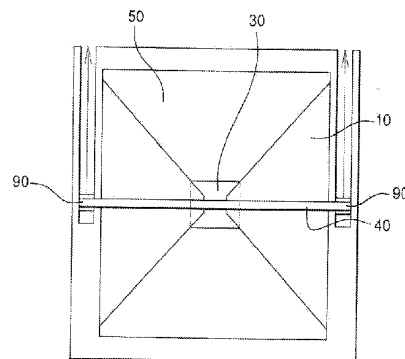
⑦4 Mandataire(s) : CABINET LAURENT ET CHARRAS.

⑤4 DETECTEUR BOLOMETRIQUE D'ONDES ELECTROMAGNETIQUES.

⑤7 Ce détecteur bolométrique d'un rayonnement électro-
magnétique comprend:

- une antenne réceptrice (10) destinée à collecter le rayonnement électromagnétique et à ainsi assurer le couplage électromagnétique;
- une charge résistive (30) couplée de manière capacitive à l'antenne (10) et apte à convertir la puissance électromagnétique collectée en puissance calorifique;
- un élément thermométrique (40) relié à la charge résistive (30) et isolée thermiquement d'un substrat support susceptible de recevoir un circuit électronique intégrant des moyens d'excitation électrique (stimuli) et de prétraitement des signaux électriques générés par ledit détecteur.

La charge résistive (30) est suspendue au-dessus de l'antenne réceptrice (10) au moyen du seul élément thermométrique (40), lui-même relié électriquement et mécaniquement au substrat support.



FR 2 934 044 - A1



DETECTEUR BOLOMETRIQUE D'ONDES ELECTROMAGNETIQUES

DOMAINE TECHNIQUE

- 5 L'invention concerne un détecteur bolométrique, plus particulièrement destiné à réaliser la détection d'ondes électromagnétiques du domaine de l'infrarouge au domaine du visible voire au-delà, c'est-à-dire permettant la détection d'ondes électromagnétiques de longueurs d'onde de quelques micromètres jusqu'au domaine submillimétrique (quelques centaines de micromètres), voire millimétrique.
- 10 La détection des ondes millimétriques et plus particulièrement submillimétriques présente un certain nombre d'intérêts notamment sur le plan scientifique et technique. Parmi les domaines d'application connus figurent la détection spatiale, astrophysique en particulier, mais également les imageurs, la radioastronomie depuis les télescopes au sol, l'imagerie biomédicale, etc....
- 15 On connaît essentiellement deux principes physiques différents pour réaliser la détection des ondes millimétriques et submillimétriques.
- 20 Le premier d'entre eux consiste à détecter les ondes électromagnétiques au moyen d'une antenne de telle sorte à créer un signal électrique, dont le traitement est effectué par un circuit électronique fonctionnant à la fréquence de l'onde. L'inconvénient des détecteurs fonctionnant selon ce premier principe est d'être fortement limité en fréquences.
- 25 Au surplus, attendu que de tels détecteurs sont généralement agencés selon une structure matricielle, les circuits correspondants génèrent une dissipation de chaleur relativement élevée, de l'ordre de 1 Watt pour une matrice 32x32, constituant un autre inconvénient.
- 30 Le second principe technique connu consiste à mettre en œuvre une antenne de détection des ondes électromagnétiques, propre à créer un flux calorifique, dont la mesure correspond au signal recherché. Les détecteurs utilisés dans le cadre de ce principe sont traditionnellement constitués par la famille des détecteurs bolométriques.

De manière connue, les détecteurs thermiques, famille à laquelle appartiennent les détecteurs bolométriques, absorbent la puissance d'un rayonnement électromagnétique incident, la convertissent en chaleur, qui se transforme ensuite en un signal résultant de l'élévation de température corrélative par rapport à une température de référence, dans une
5 plage déterminée, permettant d'associer à ces variations de températures des signaux électriques correspondant à la mesure effective du flux électromagnétique incident. On conçoit cependant, que dès lors que l'on mesure une variation faible de température, ledit détecteur doit être le plus isolé possible sur le plan thermique.

10 Sous l'effet du rayonnement incident, le détecteur s'échauffe et transmet l'élévation de température corrélative au matériau thermométrique sensible. Cette augmentation de température engendre une variation d'une propriété dudit matériau sensible, telle qu'une apparition de charges électriques par effet pyroélectrique, la variation de la capacité par
15 changement de la constante diélectrique pour les détecteurs capacitifs, la variation de la tension par effet thermoélectrique pour les thermocouples, et la variation de la résistance pour les détecteurs bolométriques.

Dans le domaine de la détection infrarouge, l'usage de détecteurs bolométriques est largement répandu. Ces détecteurs sont classiquement constitués d'une membrane
20 suspendue, qui comporte une couche mince (typiquement entre 0.1 et 1 micromètre) réalisée en matériau bolométrique sensible à la température, deux électrodes et un absorbeur, dont la fonction est de capter le rayonnement électromagnétique pour le convertir en chaleur au sein de la structure ainsi définie. La membrane est suspendue au
25 moyen de poutres au-dessus du substrat - support par l'intermédiaire de points d'ancrage ou pions de fixation, propres à isoler ladite membrane du substrat. Ces points d'ancrage ou pions de fixation également dénommés piliers, permettent d'amener les potentiels d'excitation ou stimuli vers les parties conductrices ou électrodes du détecteur bolométrique
30 via des structures planes et allongées, également appelées bras ou poutres d'isolement. Ces bras sont donc conducteurs électriquement mais en revanche doivent présenter une résistance thermique la plus élevée possible.

Afin d'aboutir à des performances satisfaisantes, le matériau bolométrique, c'est-à-dire le matériau sensible, doit présenter une faible masse calorifique, doit être bien isolé
35 thermiquement par rapport au support, et enfin doit présenter une forte sensibilité à l'effet de conversion de l'échauffement en signal électrique.

De manière connue, le substrat - support, généralement réalisé en silicium, reçoit un circuit de lecture constitué d'un circuit électronique intégrant des moyens d'adressage séquentiel ou de multiplexage des détecteurs élémentaires et des moyens d'excitation électrique, par exemple des stimuli, et de pré-traitement des signaux électriques générés par lesdits
5 détecteurs élémentaires. Ce faisant, un tel circuit de lecture permet de sérialiser les signaux issus des différents détecteurs élémentaires et de les transmettre vers un nombre réduit de sorties, afin d'être exploités par un système d'imagerie usuel, tel que par exemple une caméra infrarouge.

10 Avantageusement, afin d'optimiser les performances de ces détecteurs, ceux-ci sont encapsulés sous vide ou sous très faible pression de gaz au sein d'un boîtier, muni alors d'une fenêtre transparente dans la bande de longueurs d'onde concernée.

Traditionnellement, le matériau bolométrique mis en œuvre est constitué de silicium
15 polycristallin ou amorphe de type p ou n faiblement ou fortement résistif, mais peut également être réalisé en oxyde de vanadium (V_2O_5 , VO_2) ou d'un cuprate (YBaCuO) élaboré en une phase semi-conductrice.

La mise en œuvre de tels détecteurs bolométriques a été largement décrite en relation avec
20 la détection dans le domaine de l'infrarouge. Pour cette plage de longueur d'ondes, il est possible de réunir simultanément sur la planche bolométrique les fonctions de thermométrie et d'absorption du rayonnement infrarouge incident.

En effet, un système de détection électromagnétique doit présenter des dimensions voisines
25 de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde considérée afin d'être efficace. Il existe un compromis entre la puissance collectée (proportionnelle à la surface du détecteur) et la résolution spatiale. Les phénomènes de diffraction inhérents à tout système optique limitent la résolution spatiale à une valeur de l'ordre de la longueur d'onde dans les dimensions du plan. Les dimensions optimales pour un détecteur sont donc de cet ordre de grandeur.

30 Ainsi, une planche ou matrice de détecteurs infrarouges de dimensions de $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ est susceptible d'intégrer ces deux fonctions. Ce faisant, l'absorbeur c'est-à-dire la membrane supportant l'élément sensible bolométrique assure à la fois la fonction de couplage électromagnétique avec le rayonnement incident, et donc d'absorption dudit rayonnement,
35 et la fonction de conversion de ce rayonnement en flux calorifique par effet joule.

Or, dans le domaine des longueurs d'onde submillimétriques voire millimétriques, le raisonnement précédent conduirait à aboutir à des membranes de même ordre de grandeur. Or, tant la masse calorifique, la tenue mécanique que les pertes par rayonnement d'une membrane de telles dimensions sont inenvisageables pour la pérennité des détecteurs mis en œuvre outre pour la qualité des mesures à réaliser.

Ce faisant, il devient nécessaire de séparer la fonction de couplage électromagnétique de la fonction de conversion de la puissance électromagnétique en puissance calorifique. La première de ces deux fonctions est réalisée au moyen d'une antenne réceptrice, et la seconde fonction est assurée par une charge résistive associée à l'antenne.

ETAT ANTERIEUR DE LA TECHNIQUE

On connaît de tels dispositifs de détection bolométrique dits « à antenne », susceptibles de fonctionner à des températures autour de 300 K, donc à température ambiante, mais également susceptibles de fonctionner aux températures cryogéniques (jusqu'à $T < 1$ kelvin). Ces dispositifs mettent en œuvre des barrettes ou des matrices de tels détecteurs.

On a représenté en relation avec la figure 1, un schéma illustrant le principe de fonctionnement d'un tel bolomètre à antenne de l'art antérieur.

Celui-ci est fondamentalement constitué d'une antenne (1) constituée d'une couche conductrice, déposée sur un substrat (2) non conducteur. Elle comprend un métal résistif (3) constituant à la fois la charge résistive de l'antenne, propre à générer la puissance calorifique, et des bras d'isolation d'un thermomètre ou bolomètre (4), composé d'un matériau thermo-résistif, tel que par exemple du silicium amorphe ou de l'oxyde de Vanadium. Comme on peut l'observer, il est défini sous le thermomètre (4) une cavité (5) permettant l'isolation thermique de celui-ci.

Les courants électriques générés dans l'antenne (1) par le rayonnement incident sont dissipés dans les bras d'isolation (3) par effet joule.

Avantageusement, un plan métallique réflecteur permet d'optimiser l'absorption pour une gamme de longueurs d'onde donnée. Ce réflecteur est en général positionné à une distance égale à $\lambda/4n$ de l'antenne, λ étant la longueur d'onde moyenne à détecter et n étant l'indice de réfraction du milieu séparant le réflecteur de l'antenne, et ce, dans un souci d'optimiser le couplage dans l'antenne.

On conçoit bien la nécessité d'isoler thermiquement le détecteur proprement dit, en l'espèce réalisé en matériau bolométrique, afin de permettre l'optimisation de la détection. Or, l'une des difficultés à vaincre avec de tels dispositifs de détection réside dans la limitation imposée par construction, liée à la proportionnalité entre la conductance thermique et la conductance électrique dans tout matériau conducteur, et qui prend une forme simple pour les métaux : la loi de Wiedmann Franz.

Ainsi, le lien électrique entre l'antenne et le thermomètre s'accompagne nécessairement d'un lien thermique, ce qui nuit de manière importante aux performances des bolomètres, puisque aussi bien, ceux-ci mesurent une variation de température par rapport à une valeur de référence.

On a par exemple décrit dans le document WO 00/40937 un dispositif de détection, mettant en œuvre de tels bolomètres à antenne. L'antenne décrite de type « *Bow-Tie* » (nœud papillon), est placée au-dessus d'un plan métallique à une distance égale au quart de la longueur d'onde d'utilisation du détecteur, définissant ainsi une cavité dite « *quart d'onde* », bien connue en soit. En outre, la suspension du thermomètre est constituée par la résistance de charge de l'antenne. Le thermomètre est constitué d'une diode à jonction en silicium monocristallin, dont l'isolation thermique résulte de la gravure en face arrière du substrat réalisé en silicium.

L'antenne de forme particulière est déposée sur une couche d'oxyde de silicium SiO₂, qui du fait de la technologie employée (de type couche mince) présente une épaisseur e de l'ordre du micromètre. Une antenne de type « *Bow-Tie* », optimisée pour détecter autour d'une fréquence de 1 THz présente une taille d'environ la moitié de la longueur d'onde d'utilisation, soit $150 \times 150 \mu\text{m}^2$.

L'antenne est, dans cette hypothèse, quasiment à la masse thermique ; en d'autres termes, elle n'est pas isolée thermiquement, et en raison de sa connexion mécanique et électrique avec le thermomètre, ce dernier n'est pas isolé thermiquement de façon satisfaisante.

Afin de surmonter cet inconvénient, on a proposé dans le document US 6,329,655, un dispositif de détection mettant également en œuvre un détecteur bolométrique. L'antenne est du même type que celle du document précédent (bow tie), mais on introduit en outre un couplage capacitif ou inductif entre l'antenne et la résistance de charge. Le couplage s'effectue au centre de l'antenne. Le thermomètre ou bolomètre utilisé est de type

thermistor avec préférentiellement de l'oxyde de Vanadium V_2O_5 . Ce couplage nécessite cependant un espace sub-micronique entre l'antenne et le thermomètre, ce qui complique notablement la technologie de réalisation d'un tel détecteur.

- 5 Là encore, l'antenne n'est pas isolée thermiquement, seul le matériau thermo-résistif constitutif du thermomètre, est effectivement isolé thermiquement du substrat, et découplé de l'antenne pour un couplage optique capacitif.

10 On a également suggéré dans le document FR 2 855 609, de positionner un plan réflecteur placé sous le bolomètre, à une distance strictement inférieure au quart de la longueur d'onde d'utilisation. La résistance de charge de l'antenne est alors de l'ordre du $k\Omega$, ce qui correspond à une résistance thermique encore insuffisante, limitant de fait les performances du détecteur. Au surplus, une valeur de résistance de charge aussi élevée s'accompagne nécessairement d'une diminution de la largeur de la bande d'absorption, ce qui s'avère
15 pénalisant pour un détecteur passif, la puissance absorbée étant proportionnelle à la largeur de bande.

Pour optimiser l'isolation thermique recherchée, on a proposé dans le document FR 2 884 608, un détecteur bolométrique du type en question dans lequel l'antenne
20 réceptrice est elle-même isolée du substrat support. On solutionne ainsi les problèmes de l'isolation thermique du thermomètre. Se pose cependant toujours le problème d'une part, de la réduction du temps de réponse de tels détecteurs, et d'autre part, de la miniaturisation des détecteurs, constituant un souci permanent de l'homme de métier, sans affecter les propriétés de détection.

25

EXPOSE DE L'INVENTION

L'invention concerne un détecteur bolométrique d'un rayonnement électromagnétique comprenant :

- 30 - une antenne réceptrice destinée à collecter le rayonnement électromagnétique et à ainsi assurer le couplage électromagnétique ;
- une charge résistive couplée de manière capacitive à l'antenne et apte à convertir la puissance électromagnétique collectée en puissance calorifique ;

- un élément thermométrique relié à la charge résistive et isolée thermiquement d'un substrat support susceptible de recevoir un circuit électronique intégrant des moyens d'excitation électrique (stimuli) et de prétraitement des signaux électriques générés par ledit détecteur.

5

Selon l'invention, la charge résistive est suspendue au-dessus de l'antenne réceptrice au moyen du seul élément thermométrique, lui-même relié électriquement et mécaniquement au substrat support.

- 10 En d'autres termes, l'invention consiste à utiliser comme thermomètre l'élément mécanique de suspension de la structure constituée traditionnellement de la charge résistive et du thermomètre, permettant ainsi de diminuer la taille du bolomètre (charge résistive + thermomètre), et de ce fait sa capacité calorifique, et donc d'améliorer sa réponse temporelle.

15

Selon l'invention, le substrat support reçoit une couche d'un matériau réflecteur séparé de l'antenne par un matériau diélectrique, semi-conducteur isolant, un matériau organique, ou par le vide. Dans ce dernier cas, l'antenne est maintenue par des moyens de support par rapport au substrat, et par exemple par des piliers diélectriques.

20

Ce faisant, on crée une cavité optique, dont l'épaisseur est de l'ordre de $\lambda/4n$, n étant l'indice de réfraction du milieu constituant la cavité, et λ , la longueur d'onde moyenne du domaine de détection considéré.

- 25 Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, l'antenne est en forme de « bow-tie » (noeud papillon), ou de double bow-tie (pour prendre en compte les deux directions de polarisation à 90° de l'onde incidente) et sa liaison capacitive avec la charge résistive s'effectue au voisinage de son centre, c'est à dire de la zone de convergence des éléments qui la constituent, sensiblement située au centre du pixel considéré.

30

L'antenne est avantageusement constituée de couche métallique de faible résistance carré, et par exemple choisie dans un matériau constitué par Al, AlCu, AlSi, Ti.

Selon une autre caractéristique de l'invention, la charge résistive et l'élément thermométrique qui la suspend sont séparés de l'antenne par une lame d'air ou un vide d'isolation, voire un gaz inerte, afin de constituer le couplage capacitif entre charge résistive et antenne. On favorise de la sorte l'isolation thermique du thermomètre.

5

La charge résistive est avantageusement réalisée en nitrure de titane et présente une épaisseur de quelques nanomètres et une taille bien inférieure à celle de l'antenne, donc de capacité calorifique très réduite.

10 Enfin, l'élément thermométrique est avantageusement constitué de matériau bolométrique notamment réalisé à base de silicium amorphe ou d'oxyde de vanadium ou de fer. Il est maintenu à ses extrémités sur des piliers aptes à servir de contacts électriques avec le substrat support intégrant le circuit de lecture ainsi que comme déjà dit les moyens d'excitation électrique et de prétraitement de signaux électriques générés par la détection
15 d'une onde électromagnétique. L'élément thermométrique est en revanche thermiquement isolé dudit support par le vide et par le fait que le thermomètre, constituant la suspension, peut être très résistif électriquement, donc thermiquement, et de section très faible pour réduire la conduction thermique par phonons.

20 Avantageusement, on associe au sein d'un même pixel un bolomètre sensible au rayonnement électromagnétique à détecter, du type précédemment décrit, à un bolomètre de compensation insensible auxdits rayonnements également dénommé « aveugle ». La mise en œuvre d'un tel bolomètre de compensation est en soi connu et permet de s'affranchir du courant de mode commun. De tels bolomètres de compensation, insensibles aux flux
25 optiques incidents sont en revanche sensibles à la température du substrat. Il génère de manière connue un courant dit de compensation qui est soustrait du courant issu du bolomètre d'imagerie, c'est-à-dire du bolomètre de détection grâce à la configuration du circuit électronique. De ce fait, l'essentiel du courant dit « de mode commun », c'est à dire non représentatif des informations provenant de la scène à détecter, résultant du substrat-
30 support d'origine électrique ou thermique est éliminé.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

35 La manière dont l'invention peut être réalisée et les avantages qui en découlent ressortiront mieux de l'exemple de réalisation qui suit, donné à titre indicatif et non limitatif à l'appui des figures annexées.

La figure 1 est comme déjà dit une représentation schématique d'un détecteur bolométrique à antenne conforme à l'état antérieur de la technique.

La figure 2 est une représentation schématique en section d'un détecteur conforme à l'invention dont la figure 3 est une vue du dessus.

5 La figure 4 est une vue du dessus d'une version avantageuse d'un détecteur conforme à l'invention.

MODE DE REALISATION DE L'INVENTION

10 On a donc représenté en relation avec la figure 2 une vue schématique en section d'un détecteur de rayonnement électromagnétique conforme à l'invention. On a plus particulièrement représenté un pixel constitutif d'un tel détecteur.

Celui-ci est rapporté sur un substrat support (20), typiquement composé par exemple, d'une couche d'oxyde de silicium SiO et d'un substrat massif de silicium Si.

15

Ce substrat est en outre susceptible d'être gravé d'un circuit de lecture selon une technologie CMOS bien connue de l'homme de métier.

20 Est déposée sur ce substrat (20) une couche (50) destinée à constituer un réflecteur. Celui-ci est constitué de couches métalliques de faible résistance carré, par exemple réalisées en matériaux choisis dans le groupe comprenant Al, AlCu, AlSi, Ti. De manière connue, un tel réflecteur est destiné à réfléchir les longueurs d'onde à détecter. Ce réflecteur est déposé sur le substrat (20) par pulvérisation, évaporation, CVD (« *Chemical Vapor Deposition* ») ou autre technique de dépôt de couches métalliques en couches minces.

25

Avantageusement, il remplit au maximum la surface du pixel. Dans certains cas particuliers, il peut être structuré, notamment lorsque le dispositif est réalisé sur le circuit de lecture ou alors lorsqu'il joue également le rôle de contact électrique et plus particulièrement d'interconnexion du thermomètre vers l'extérieur de la puce ou du circuit

30 de lecture sous-jacent.

35 On définit ensuite une cavité optique (70) d'épaisseur $\lambda/4n$, expression dans laquelle n est l'indice de réfraction du milieu constituant ladite cavité. On crée de la sorte entre l'antenne (10) déposée sur ladite cavité et le réflecteur (50), une lame « quart d'ondes » bien connue de l'homme du métier pour optimiser l'absorption dans la gamme de longueurs d'ondes considérée.

Cette cavité présente une absorption minimum dans le spectre de longueurs d'onde considéré que l'on cherche à détecter par l'antenne (10) elle-même. Il est à noter que toute perte dans la cavité s'effectue au détriment d'une absorption maximale dans la charge d'antenne. Elle est typiquement constituée d'un diélectrique (SiO, SiN...) mais peut également être constituée de silicium, de matériau organique (polyimide, benzocyclobutene-based polymer), voire même de vide. L'épaisseur de cette cavité optique est déterminée par les spécifications du détecteur notamment en termes de largeur de bandes, longueurs d'onde d'absorption ainsi que le matériau qui la constitue. Cette épaisseur peut typiquement varier d'un micromètre à plusieurs dizaines de micromètres.

10

En outre, dans le cas particulier de détecteurs réalisés sur le circuit de lecture, cette cavité doit également permettre la réalisation d'une première portion des piliers et plus précisément une première portion des contacts électriques (60) propres à assurer la lecture de la résistance bolométrique dans le pixel par ledit circuit de lecture. De façon connue, les contacts électriques (60) sont constitués d'un matériau électriquement conducteur tel que le nitrure de titane ou encore le siliciure de tungstène. Ce matériau est déposé par CVD (« *Chemical Vapor Deposition* »), par exemple.

L'objectif de ces piliers est double : ils sont destinés à assurer une fonction de support du bolomètre d'un point de vue mécanique d'une part, et d'autre part, ils sont destinés à servir de contacts électriques avec le substrat support intégrant le circuit de lecture. Dans ce dernier cas, ils permettent de relier électriquement le bolomètre et le substrat support, et en particulier le bolomètre et le circuit de lecture.

Comme indiqué précédemment, une antenne (10) est déposée sur cette cavité, par exemple par PVD (« *Physical Vapor Déposition* » c'est à dire par pulvérisation) en regard du réflecteur (50). Cette antenne est également constituée de couches métalliques de faible résistance carré, et par exemple de même nature que le réflecteur. Elle est en outre structurée afin de permettre la détection de l'onde électromagnétique (Bow-Tie, spirale...).

30

Selon une caractéristique essentielle de l'invention, une charge résistive (30), destinée à assurer le couplage capacitif du courant de l'antenne généré par l'onde électromagnétique, est suspendue au-dessus de l'antenne (10) au moyen du matériau bolométrique (40), faisant donc fonction de poutre ou barreau de suspension. De fait, en raison de cette suspension, il est créé entre l'antenne (10) et l'ensemble constitué par le bolomètre (40) et la charge résistive (30) une lame d'air, de gaz inerte ou de vide.

35

Techniquement, la mise en place de la charge résistive (30), de la couche bolométrique (40) et d'une seconde portion des contacts électriques (90) est réalisée subséquentement au dépôt d'une couche sacrificielle (non représentée) destinée à être ôtée après réalisation du détecteur. Cette couche sacrificielle est de préférence organique (polymère), de telle sorte à
 5 permettre son retrait sous atmosphère d'oxygène ou d'ozone (plasma ou non) sans détérioration des autres matériaux présents (il va de soi que les matériaux peuvent être passivés pour éviter leur oxydation).

Cependant, cette couche sacrificielle peut également être réalisée en carbone amorphe dont
 10 la gravure par oxygène est également compatible. Elle peut éventuellement être réalisée en oxyde poreux susceptible alors d'être retirée par acide fluorhydrique en phase vapeur.

Il est à noter, que pour la réalisation d'une cavité vide sous antenne maintenue par piliers, on peut utiliser ce même procédé de couche sacrificielle

15 L'épaisseur de la lame d'air ou de vide (80) ainsi générée est typiquement comprise entre 0,1 et quelques micromètres. Et pour le cas de la cavité vide, l'épaisseur sera évidemment la distance entre antenne et réflecteur.

La charge résistive (30) précitée est constituée d'un matériau de quelques centaines
 20 d' Ω /carré, typiquement 200-400 Ω /carré et de très faible épaisseur, de telle sorte à minimiser la masse calorifique du détecteur conforme à l'invention. Cette charge résistive peut être réalisée en nitrure de titane de quelques nanomètres d'épaisseur, déposé par pulvérisation sur la couche sacrificielle précédemment mentionnée. Elle est située en regard de l'antenne (10) et plus précisément au regard des zones de convergence de ladite antenne
 25 lorsque celle-ci est de forme « Bow-Tie ». Il est à noter que dans ce mode de réalisation, la seconde portion des contacts électriques (90) est réalisée dans le même matériau que la charge résistive.

Le matériau bolométrique (40) destiné à faire fonction de thermomètre est donc, ainsi que
 30 représenté sur la figure 2, en contact avec la charge résistive (30). Comme déjà dit, ce matériau bolométrique (40) est destiné à s'échauffer en fonction du flux électromagnétique absorbé par la charge couplée à l'ensemble antenne/cavité/réflecteur. Il est typiquement réalisé en silicium amorphe ou en oxyde notamment de vanadium ou de fer, de telle sorte à présenter un coefficient T_{cr} de quelques % par degré, représentant de manière connue la
 35 variation de la résistance en fonction de la température. Typiquement, il présente un coefficient T_{cr} voisin de 2%/°celcius.

Selon une caractéristique de l'invention, le matériau bolométrique (40) se présente sous la forme d'une poutre ou d'un barreau, tel qu'on peut mieux l'observer sur la figure 3, assurant en outre la fonction de suspension de la charge résistive (30) au-dessus de l'antenne (10) et de la cavité optique (70).

5

Ainsi qu'on l'aura compris, les poutres ou barreaux (40), constitutifs du matériau bolométrique assurent non seulement la suspension mécanique de la charge résistive (30), mais également l'isolement thermique et la résistance électrique thermométrique.

10 Dans la mesure où la capacité calorifique de ladite charge résistive (30) est réduite, lesdites poutres (40) peuvent être de résistance thermique plus élevée tout en conservant une bande passante thermique élevée.

Dans la surface d'un pixel optique au pas de 30 μm , comprenant neuf antennes, lesdites antennes peuvent être de nature différente, de telle sorte à autoriser une détection polarisée en mode TE (transverse electric) et mode TM (transverse magnetic), et/ou une détection dans deux ou trois bandes spectrales (même si elles se recouvrent) par le jeu de l'épaisseur de la cavité optique, et/ou par l'inter corrélation des mesures, permettant en outre rejeter les bruits de mode commun d'origine électrique ou thermique.

20 En imagerie, un point de la scène observée peut être détecté par l'optique de l'instrument sur un pixel dit optique (point image), comprenant par exemple 3x3 antennes au pas de 10 μm (suivant la gamme de longueurs d'onde considérée). Par construction, ces antennes peuvent être différentes, par exemple de type « Bow-Tie » dans une direction. On mesure alors dans la direction perpendiculaire, la polarisation du flux émis par la scène. Les antennes du pixel optique peuvent en outre être de taille différente. Ainsi chacune des antennes peut détecter dans différentes bandes de longueurs d'onde : principe multispectral de détecteur visible couleur (RVB, rouge vert bleu).

30 L'une des antennes peut être aveugle, c'est à dire que le bolomètre correspondant ne s'échauffe pas par le flux reçu, il s'agit alors d'un bolomètre dit de compensation (Cf ci-dessous). On effectue la mesure différentielle entre ce bolomètre et les autres bolomètres du pixel optique, permettant ainsi de rejeter les bruits ou parasites de mode commun.

Le pas d'antenne étant inférieur à la longueur d'onde, pour une optique largement ouverte (focale F voisine de 1) et limitée par la diffraction, l'échantillonnage spatial de l'image est correct voir super-résolu. Par ailleurs, de grands formats de matrices peuvent être réalisés en minimisant le coût (notamment par la réduction de la surface de silicium).

En effet, pour une ouverture optique de 1 (rapport de la focale F au diamètre de la lentille D) la diffraction est $1.22 \lambda \cdot F/D$, et l'échantillonnage est correct d'après le critère de Shannon si le pas de pixel optique est la moitié de la tache de diffraction.

5 Pour les applications dans lesquelles le détecteur est exposé à des particules ionisantes (dans le domaine spatial, en particulier), l'antenne et le réflecteur ne sont pas sensibles à de telles particules, et la zone sensible (charge résistive et poutres) est de fait de surface tout particulièrement réduite. Pour un pixel optique de 3x3 antennes, on peut identifier l'un des calorimètres touché par une particule ou un photon de haute énergie, et donc réaliser la moyenne des mesures sur les autres, le gain est de 8/9 par rapport à zéro pour un capteur
10 remplissant le pas optique.

Par contrainte relâchée des poutres ou polarisation du réflecteur, on peut induire une force électrostatique contrôlée sur la charge, et ainsi ajuster ou moduler le couplage capacitif, c'est-à-dire la distance de l'air-gap, et donc le couplage optique de la structure.

On modifie ainsi la réponse spectrale du bolomètre.

15 En effet, lors de la réalisation du détecteur conforme à l'invention, on dépose successivement sur une couche sacrificielle, par exemple en polyimide, l'antenne (SiN), le thermomètre, et également la charge résistive (TiN) au centre de la poutre. Cet ensemble de couches est contraint (en compression ou en extension) sur la couche en polyimide, d'une part, en raison des variations de température lors de la mise en œuvre du procédé de dépôt
20 (chauffage, puis retour à la température ambiante), et d'autre part, en raison du retrait de ladite couche sacrificielle en polyimide.

Lors du retrait de cette dernière, la poutre est libérée dans l'air, et peut fléchir en direction de l'antenne, ou au contraire s'en éloigner. Ce faisant, on modifie l'air gap, c'est-à-dire la distance entre la poutre ou la charge et l'antenne, et corollairement, le couplage capacitif
25 entre la charge et l'antenne. Cet air gap est comblé par une force électrostatique entre le réflecteur et la charge.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention et tel qu'illustré à la figure 4, on associe au bolomètre sensible un bolomètre aveugle (100), également dénommé bolomètre
30 de compensation.

Ainsi que précisé en préambule, un tel bolomètre de compensation permet de rejeter le courant de mode commun résultant du signal émanant du substrat (20) et partant, de ne conserver comme signal traité que celui provenant de la scène détectée. Dans cette configuration, le bolomètre de compensation (100), n'est pas associé à une charge résistive.

- 5 En outre, il n'est pas davantage associé à une antenne.

REVENDICATIONS

1. Détecteur bolométrique d'un rayonnement électromagnétique comprenant :
 - une antenne réceptrice (10) destinée à collecter le rayonnement électromagnétique et à ainsi assurer le couplage électromagnétique ;
 - une charge résistive (30) couplée de manière capacitive à l'antenne (10) et apte à convertir la puissance électromagnétique collectée en puissance calorifique ;
 - un élément thermométrique (40) relié à la charge résistive (30) et isolée thermiquement d'un substrat support (20) susceptible de recevoir un circuit électronique intégrant des moyens d'excitation électrique (stimuli) et de prétraitement des signaux électriques générés par ledit détecteur ;

caractérisé en ce que la charge résistive (30) est suspendue au-dessus de l'antenne réceptrice (10) au moyen du seul élément thermométrique (40), lui-même relié électriquement et mécaniquement au substrat support (20).
2. Détecteur bolométrique d'un rayonnement électromagnétique selon la revendication 1, *caractérisé* en ce que le substrat support (20) reçoit une couche d'un matériau réflecteur (50), séparé de l'antenne réceptrice (10) par une cavité optique (70), réalisée en un matériau diélectrique, semi-conducteur, organique, ou constituée par le vide.
3. Détecteur bolométrique d'un rayonnement électromagnétique selon la revendication 2, *caractérisé* en ce que l'épaisseur de la cavité optique (70) est de l'ordre de $\lambda/4n$, n étant l'indice de réfraction du milieu constituant la cavité, et λ , la longueur d'onde moyenne du domaine de détection considéré.
4. Détecteur bolométrique d'un rayonnement électromagnétique selon l'une des revendications 1 à 3, *caractérisé* en ce que l'antenne réceptrice (10) est en forme de « bow-tie » (noeud papillon), ou de double bow-tie, ou en spirale, et en ce que la liaison capacitive entre ladite antenne et la charge résistive (30) s'effectue au voisinage du centre de l'antenne, c'est à dire de la zone de convergence des éléments qui la constituent.

5. Détecteur bolométrique d'un rayonnement électromagnétique selon l'une des revendications 1 à 4, *caractérisé* en ce que l'antenne réceptrice (10) est constituée de couche métallique de faible résistance carré, avantageusement réalisée en un matériau choisi dans le groupe comprenant Al, AlCu, AlSi, Ti,
5
6. Détecteur bolométrique d'un rayonnement électromagnétique selon l'une des revendications 1 à 5, *caractérisé* en ce que la charge résistive (30) et l'élément thermométrique (40) qui la suspend au dessus de l'antenne réceptrice (10) sont séparés de ladite antenne par une lame d'air ou un vide d'isolation, voire un gaz
10 inerte.
7. Détecteur bolométrique d'un rayonnement électromagnétique selon l'une des revendications 1 à 6, *caractérisé* en ce que la charge résistive (30) est réalisée en nitrure de titane et présente une épaisseur de quelques nanomètres.
15
8. Détecteur bolométrique d'un rayonnement électromagnétique selon l'une des revendications 1 à 7, *caractérisé* en ce que l'élément thermométrique (40) est constitué de matériau bolométrique, avantageusement choisi dans le groupe comprenant le silicium amorphe et les oxydes de vanadium et de fer.
20
9. Détecteur bolométrique d'un rayonnement électromagnétique selon l'une des revendications 1 à 8, *caractérisé* en ce que l'élément thermométrique (40) se présente sous la forme d'une poutre ou barreau, maintenu à ses extrémités sur des piliers (60, 90) en contact électrique avec le substrat support (20) mais thermiquement isolé de ce
25 dernier.
10. Détecteur bolométrique d'un rayonnement électromagnétique *caractérisé* en ce qu'il associe au sein d'un même pixel un bolomètre sensible au rayonnement électromagnétique à détecter selon l'une des revendications 1 à 9 à un bolomètre de compensation (100), insensible auxdits rayonnements, et destiné à rejeter le courant de mode commun résultant du substrat-support (20) d'origine électrique ou
30 thermique.

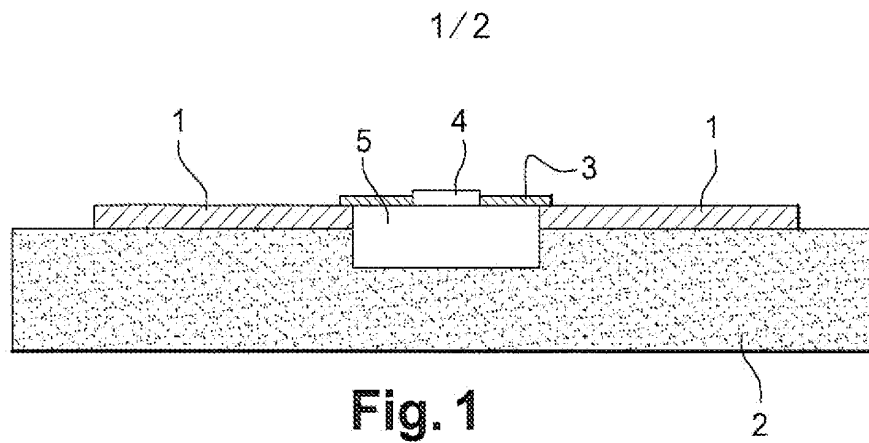


Fig. 1
ART ANTERIEUR

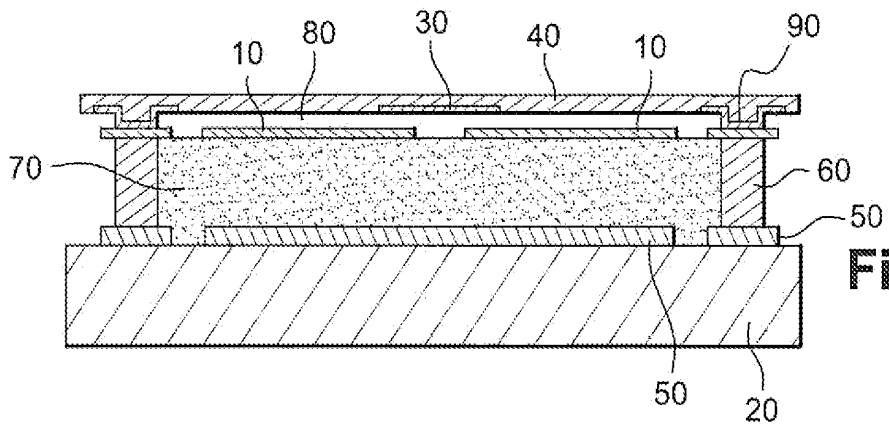


Fig. 2

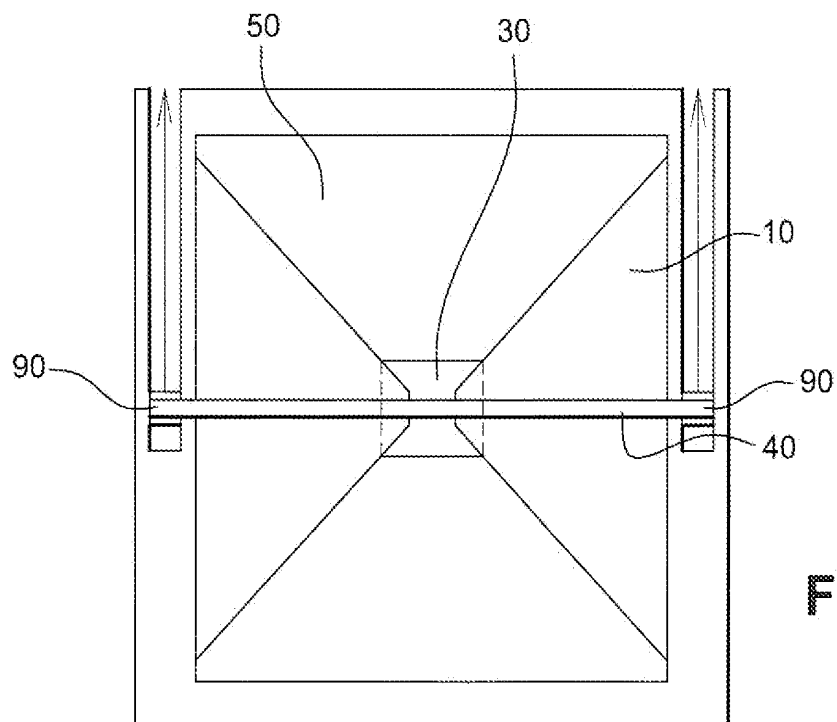
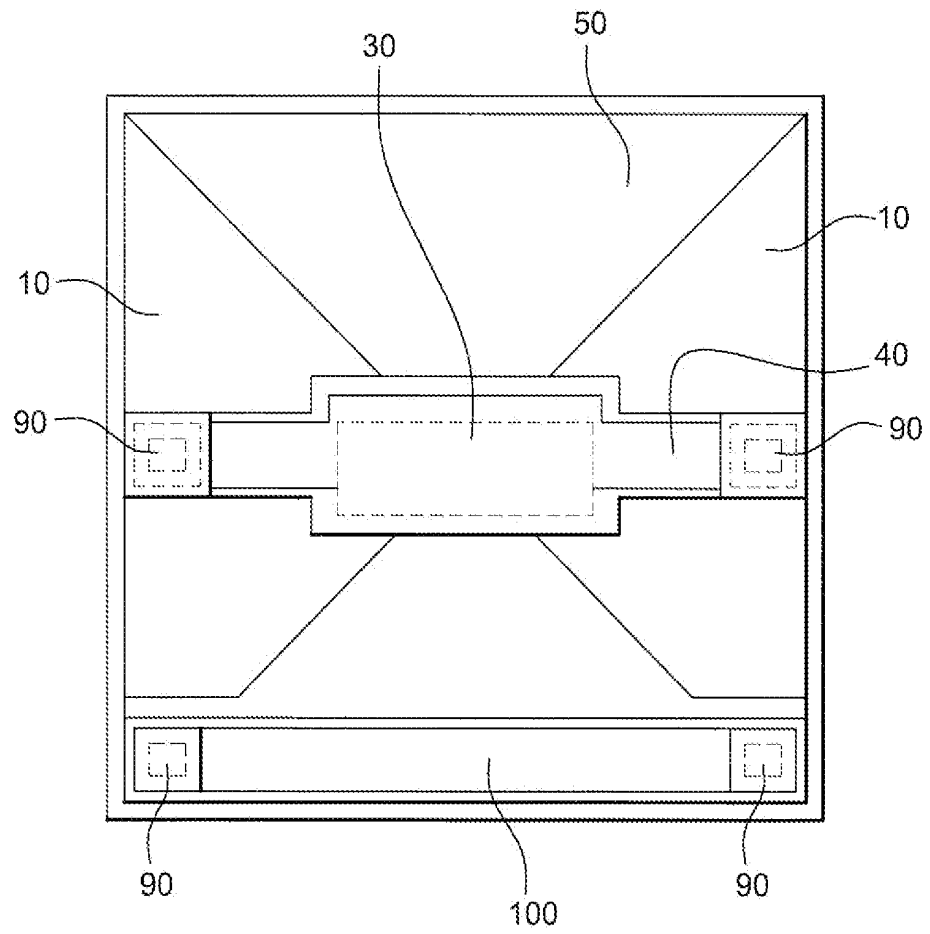


Fig. 3

2/2

**Fig. 4**



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 713811
FR 0854857

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 6 329 649 B1 (JACK MICHAEL D [US] ET AL) 11 décembre 2001 (2001-12-11) * colonne 3, ligne 51 - colonne 4, ligne 1 * * colonne 4, ligne 40 - ligne 58 * * colonne 5, ligne 54 - ligne 67 * * colonne 7, ligne 4 - ligne 20 * * colonne 8, ligne 32 - ligne 37 * * figure 1D *	1,4-7	G01J5/20
X	US 6 329 655 B1 (JACK MICHAEL D [US] ET AL) 11 décembre 2001 (2001-12-11)	1-9	
Y	* colonne 4, ligne 32 - colonne 5, ligne 17 * * colonne 6, ligne 20 - ligne 26 * * figures 1,2C *	10	
Y	US 2007/278407 A1 (WOOD ROLAND A [US] ET AL) 6 décembre 2007 (2007-12-06) * alinéa [0074] *	10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01J
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
13 février 2009		Jacquin, Jérôme	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0854857 FA 713811**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **13-02-2009**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6329649	B1	11-12-2001	AUCUN	
US 6329655	B1	11-12-2001	AUCUN	
US 2007278407	A1	06-12-2007	WO 2007143464 A2	13-12-2007