

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 155 299

21 N° d'enregistrement national : 23 12370

51 Int Cl⁸ : G 01 J 5/20 (2024.01)

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 13.11.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 16.05.25 Bulletin 25/20.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT À L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.

72 Inventeur(s) : PERRILLAT-BOTTONET Thomas et YON Jean-Jacques.

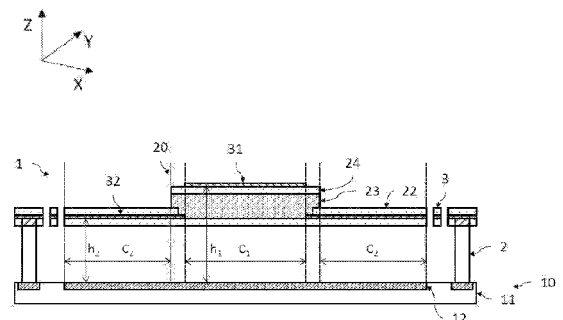
73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT À L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public à caractère industriel et commercial.

74 Mandataire(s) : BREVALEX.

54 Détecteur thermique large bande et à plusieurs cavités quart d'onde.

57 L'invention porte sur un détecteur thermique à membrane absorbante suspendue, laquelle comporte au moins deux absorbeurs (31, 32). Le deuxième absorbeur (32) est adapté à absorber le rayonnement électromagnétique dans une sous-bande spectrale $\Delta\lambda_2$ d'une bande spectrale prédéfinie $\Delta\lambda_{tot}$, centrée sur une longueur d'onde λ_{c2} . De plus, il est espacé d'un réflecteur (12) d'une valeur h_2 égale à $\lambda_{c2}/4n_{eq2}$ de manière à former avec celui-ci une cavité quart d'onde C_2 pour la longueur d'onde λ_{c2} , la sous-bande spectrale $\Delta\lambda_2$ étant centrée sur la longueur d'onde λ_{c2} qui est égale à $\lambda_{c1}/2$ à plus ou moins $2\mu\text{m}$ près. Par ailleurs, les premier et deuxième absorbeurs (31, 32) présentent des surfaces totales telles qu'un rapport de surface S_2/S_1 est compris entre 0.5 et 3.

Figure pour l'abrégié : Fig. 2A



FR 3 155 299 - A1



Description

Titre de l'invention : Détecteur thermique large bande et à plusieurs cavités quart d'onde

Domaine technique

[0001] Le domaine de l'invention est celui des dispositifs de détection d'un rayonnement électromagnétique, par exemple infrarouge ou térahertz, comportant au moins un détecteur thermique à membrane absorbante suspendue au-dessus du substrat de lecture. L'invention s'applique notamment aux domaines de l'imagerie infrarouge, de la thermographie, de la détection de gaz, entre autres.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

[0002] Les dispositifs de détection de rayonnement électromagnétique peuvent comprendre une matrice de détecteurs thermiques comportant chacun une membrane apte à absorber le rayonnement électromagnétique à détecter et contenant un transducteur thermomètre tel qu'un matériau thermistance. Pour assurer l'isolation thermique des transducteurs thermomètres vis-à-vis du substrat de lecture, les membranes absorbantes sont habituellement suspendues au-dessus du substrat de lecture par des piliers d'ancrage, et sont isolées thermiquement de celui-ci par des bras de maintien. Ces piliers d'ancrage et bras de maintien présentent également une fonction électrique en connectant les membranes absorbantes au circuit de lecture généralement disposé dans le substrat. La membrane absorbante comporte un absorbeur, par exemple une couche mince métallique, adapté à absorber le rayonnement électromagnétique à détecter, qui est couplé thermiquement avec le transducteur thermomètre.

[0003] La [Fig.1] est une vue en perspective d'un exemple de détecteur thermique 1 selon un exemple de l'art antérieur, ici adapté à absorber un rayonnement infrarouge de la bande spectrale LWIR (*Long Wavelength Infrared*, en anglais) dont la longueur d'onde centrale est comprise entre 8 μ m et 12 μ m environ.

[0004] Le détecteur thermique 1 comporte une membrane absorbante 20 suspendue au-dessus d'un substrat de lecture 10 par des piliers d'ancrage 2 et isolée thermiquement de celui-ci par des bras de maintien et d'isolation thermique 3. Ces piliers d'ancrage 2 et bras d'isolation thermique 3 présentent également une fonction électrique en reliant électriquement la membrane absorbante 20 à un circuit de lecture situé dans le substrat de lecture 10.

[0005] La membrane 20 comporte ici un absorbeur 30 adapté à absorber le rayonnement électromagnétique à détecter et un transducteur thermomètre en contact thermique avec l'absorbeur. Le transducteur thermomètre peut être un matériau présentant une résistance électrique qui varie avec son échauffement (thermistor). Il peut s'agir

notamment de silicium amorphe ou d'un oxyde de vanadium. La membrane absorbante 20 est espacée verticalement d'un réflecteur 12 d'une distance déterminée de manière à former une cavité interférentielle quart d'onde optimisant l'absorption par la membrane absorbante 20 du rayonnement électromagnétique à détecter. Un tel absorbeur est alors généralement appelé absorbeur de Salisbury.

- [0006] Le document WO2020/084242A1 décrit deux configurations structurelles de la membrane absorbante, qui contient un absorbeur de Salisbury similaire à celui de la [Fig.1], c'est-à-dire un absorbeur en couche mince situé à une distance h égale à $\lambda_c/4n_{eq}$, où λ_c est la longueur d'onde centrale de la bande spectrale totale de détection $\Delta\lambda_{tot}$ (ici 8-14 μ m) et où n_{eq} est un indice de réfraction équivalent du milieu associé à la cavité quart d'onde. L'absorbeur présente généralement une résistance de surface proche de l'impédance du vide $Z_0=377\Omega$.
- [0007] Dans une première configuration, les électrodes de polarisation assurent une fonction d'absorbeur du rayonnement lumineux dans la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{tot}$. Elles sont donc espacées verticalement du réflecteur d'une distance telle que, compte-tenu des matériaux présents dans la cavité quart d'onde, l'absorption soit optimale pour la longueur d'onde centrale λ_{c1} (ici autour de 11 μ m) de la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{tot}$ (8-14 μ m).
- [0008] Dans une deuxième configuration, les électrodes de polarisation n'assurent pas la fonction d'absorbeur. Aussi, un absorbeur en couche mince est situé sur le transducteur thermomètre, à la perpendiculaire de l'espacement latéral entre les deux électrodes de polarisation. Ainsi, l'absorbeur ne recouvre pas verticalement ces dernières. Il est donc espacé verticalement du réflecteur d'une distance telle que, compte-tenu des matériaux présents dans la cavité quart d'onde, l'absorption soit optimale pour la longueur d'onde centrale λ_{c1} de la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{tot}$.
- [0009] Il existe cependant un besoin d'élargir la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{tot}$, notamment à de plus petites longueurs d'onde, tout en gardant un taux d'absorption uniformément élevé (par exemple au moins égal à 70% dans toute la bande spectrale de détection). Cependant, il est connu que le spectre d'absorption d'un tel absorbeur est limité par la présence d'une antirésonance à une longueur d'onde $\lambda_c/2n_{eq}$, limitant ainsi l'absorption aux basses longueurs d'onde et ne permettant pas d'élargir la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{tot}$.
- [0010] Notons que le document US2010/0148067A1 décrit une autre configuration d'une membrane absorbante, où un premier absorbeur est formé par les électrodes de polarisation et est situé au-dessus du transducteur thermomètre. Il présente une forme en peigne interdigité, et est espacé du réflecteur pour former une cavité quart d'onde optimisant l'absorption dans une bande spectrale $\Delta\lambda_{tot}$ centrée sur la longueur d'onde de 10 μ m.

[0011] La membrane absorbante comporte un deuxième absorbeur, situé en-dessous de l'absorbeur, et destiné à absorber le rayonnement lumineux dans la même bande spectrale $\Delta\lambda_{\text{tot}}$ qui n'aurait pas été absorbé par l'absorbeur supérieur. L'objectif ici est d'améliorer l'absorbance de la membrane. Cependant, la bande spectrale de détection n'est pas élargie.

Exposé de l'invention

[0012] L'invention a pour objectif de remédier au moins en partie aux inconvénients de l'art antérieur, et plus particulièrement de proposer un détecteur thermique présentant un spectre d'absorption large bande tout en gardant une absorption uniformément élevée sur toute la bande spectrale de détection.

[0013] Pour cela, l'objet de l'invention est un détecteur thermique d'un rayonnement électromagnétique dans une bande spectrale prédéfinie $\Delta\lambda_{\text{tot}}$, comportant :

- un substrat de lecture, comportant : un circuit de lecture ; un réflecteur adapté à réfléchir le rayonnement électromagnétique ;
- une membrane absorbante, suspendue au-dessus du substrat de lecture, isolée thermiquement du substrat de lecture, comportant un transducteur thermomètre connecté électriquement au circuit de lecture, et comportant :
 - un premier absorbeur en couche mince, d'une surface totale S_1 , couplé thermiquement au transducteur thermomètre, et adapté à absorber le rayonnement électromagnétique dans une sous-bande spectrale $\Delta\lambda_1$ de la bande spectrale $\Delta\lambda_{\text{tot}}$, centrée sur une longueur d'onde λ_{c1} , et est espacé du réflecteur d'une valeur h_1 égale à $\lambda_{c1}/4n_{\text{eq1}}$ de manière à former avec celui-ci une première cavité quart d'onde C_1 pour la longueur d'onde λ_{c1} , n_{eq1} étant un indice de réfraction du milieu associé à la première cavité quart d'onde C_1 ;
 - au moins un deuxième absorbeur en couche mince, d'une surface totale S_2 , couplé thermiquement au transducteur thermomètre, disposé dans la membrane absorbante de sorte à ne pas être recouvert par le premier absorbeur.

[0014] Selon l'invention, le deuxième absorbeur est adapté à absorber le rayonnement électromagnétique dans une sous-bande spectrale $\Delta\lambda_2$ de la bande spectrale $\Delta\lambda_{\text{tot}}$, centrée sur une longueur d'onde λ_{c2} , et est espacé du réflecteur d'une valeur h_2 égale à $\lambda_{c2}/4n_{\text{eq2}}$ de manière à former avec celui-ci une deuxième cavité quart d'onde C_2 pour la longueur d'onde λ_{c2} , n_{eq2} étant un indice de réfraction du milieu associé à la deuxième cavité quart d'onde C_2 , la sous-bande spectrale $\Delta\lambda_2$ étant centrée sur la longueur d'onde λ_{c2} égale à $\lambda_{c1}/2$ à plus ou moins $2\mu\text{m}$ près.

[0015] De plus, les premier et deuxième absorbeurs présentent des surfaces totales telles

qu'un rapport de surface S_2/S_1 est compris entre 0.5 et 3.

- [0016] Certains aspects préférés mais non limitatifs de ce détecteur thermique sont les suivants.
- [0017] Le premier absorbeur peut reposer sur le transducteur thermomètre.
- [0018] Le deuxième absorbeur peut s'étendre dans la membrane absorbante sans être recouvert par le transducteur thermomètre.
- [0019] Le deuxième absorbeur peut être formé par des parties d'une couche métallique, formant, d'une part, des pistes de polarisation au niveau de bras de maintien assurant le maintien et l'isolation thermique de la membrane absorbante, et d'autre part, des électrodes de polarisation venant au contact du transducteur thermomètre.
- [0020] La couche métallique peut s'étendre de manière plane dans les bras de maintien et dans la membrane absorbante.
- [0021] Le détecteur thermique peut comporter un troisième absorbeur adapté à absorber le rayonnement électromagnétique dans une sous-bande spectrale $\Delta\lambda_3$ de la bande spectrale $\Delta\lambda_{tot}$, centrée sur une longueur d'onde λ_{c3} , et espacé du réflecteur d'une valeur h_3 égale à $\lambda_{c3}/4n_{eq3}$ de manière à former avec celui-ci une cavité quart d'onde C_3 pour une longueur d'onde λ_{c3} , n_{eq3} étant un indice de réfraction du milieu associé à la cavité quart d'onde C_3 , la longueur d'onde λ_{c3} étant située entre les longueurs d'onde λ_{c1} et λ_{c2} .
- [0022] La distance h_3 peut être égale à la distance h_2 , le troisième absorbeur étant recouvert par le transducteur thermomètre.
- [0023] Le détecteur thermique peut comporter au moins un absorbeur adapté à absorber le rayonnement électromagnétique dans une sous-bande spectrale $\Delta\lambda_4$ de la bande spectrale $\Delta\lambda_{tot}$, centrée sur une longueur d'onde λ_{c4} , et espacé du réflecteur d'une valeur h_4 égale à $\lambda_{c4}/4n_{eq4}$ de manière à former avec celui-ci une cavité quart d'onde C_4 pour une longueur d'onde λ_{c4} , n_{eq4} étant un indice de réfraction du milieu associé à la cavité quart d'onde C_4 . L'absorbeur de la cavité quart d'onde C_4 peut être situé dans une partie plane de la membrane absorbante formant un décrochement par rapport à un plan principal dans lequel s'étend une couche métallique formant des pistes de polarisation situées dans des bras de maintien et des électrodes de polarisation au contact du transducteur thermomètre.
- [0024] La bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{tot}$ peut comprendre la bande spectrale LWIR allant de 8 à 12 μ m.
- [0025] Le détecteur thermique peut présenter une absorption au moins égale à 80% dans toute la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{tot}$.

Brève description des dessins

- [0026] D'autres aspects, buts, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux

à la lecture de la description détaillée suivante de formes de réalisation préférées de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- [0027] la [Fig.1], déjà décrite, est une vue schématique et partielle, en perspective, d'un détecteur thermique selon un exemple de l'art antérieur ;
- [0028] la [Fig.2A] est une vue schématique et partielle, en coupe transversale, d'un détecteur thermique selon un mode de réalisation ;
- [0029] la [Fig.2B] est une vue de dessus du détecteur thermique de la [Fig.2A] ;
- [0030] la [Fig.3A] illustre de manière schématique deux absorbeurs de Salisbury et un réflecteur d'un détecteur thermique selon un mode de réalisation ;
- [0031] la [Fig.3B] illustre des exemples d'un spectre d'absorption totale du détecteur thermique et des spectres d'absorption des absorbeurs de la [Fig.3A], dans le cas d'un rapport de surface S_2/S_1 égal à 1 ;
- [0032] la [Fig.4A] illustre des exemples d'un spectre d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ du détecteur thermique et des spectres d'absorption $\alpha_1(\lambda)$ et $\alpha_2(\lambda)$ des absorbeurs de la [Fig.3A], dans le cas d'un rapport de surface S_2/S_1 égal à 0.5 ;
- [0033] la [Fig.4B] illustre des exemples d'un spectre d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ du détecteur thermique et des spectres d'absorption $\alpha_1(\lambda)$ et $\alpha_2(\lambda)$ des absorbeurs de la [Fig.3A], dans le cas d'un rapport de surface S_2/S_1 égal à 2 ;
- [0034] la [Fig.5A] illustre un exemple du spectre d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ du détecteur thermique en fonction du rapport de surface S_2/S_1 des absorbeurs ;
- [0035] la [Fig.5B] illustre plusieurs spectres d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ du détecteur thermique, pour différentes valeurs du rapport de surface S_2/S_1 des absorbeurs, issus de l'exemple de la [Fig.5A] ;
- [0036] la [Fig.6A] est une vue schématique et partielle, en coupe transversale, d'un détecteur thermique selon un mode de réalisation ;
- [0037] la [Fig.6B] est une vue schématique et partielle, selon une autre coupe transversale, du détecteur thermique de la [Fig.6A] ;
- [0038] la [Fig.6C] est une vue de dessus du détecteur thermique de la [Fig.6A] ;
- [0039] la [Fig.7A] est une vue schématique et partielle, en coupe transversale, du détecteur thermique selon un mode de réalisation ;
- [0040] la [Fig.7B] est une vue de dessus du détecteur thermique de la [Fig.7A].

[0041] **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

- [0042] Sur les figures et dans la suite de la description, les mêmes références représentent les éléments identiques ou similaires. De plus, les différents éléments ne sont pas représentés à l'échelle de manière à privilégier la clarté des figures. Par ailleurs, les différents modes de réalisation et variantes ne sont pas exclusifs les uns des autres et peuvent être combinés entre eux. Sauf indication contraire, les termes

« sensiblement », « environ », « de l'ordre de » signifient à 10% près, et de préférence à 5% près. Par ailleurs, les termes « compris entre ... et ... » et équivalents signifient que les bornes sont incluses, sauf mention contraire.

- [0043] L'invention porte sur un détecteur thermique d'un rayonnement électromagnétique, par exemple infrarouge ou térahertz, dans une large bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{\text{tot}}$, avec une absorption uniformément élevée sur toute la bande spectrale $\Delta\lambda_{\text{tot}}$, c'est-à-dire que le spectre d'absorption $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ présente une valeur au moins égale à une valeur seuil prédéfinie dans toute la bande spectrale $\Delta\lambda_{\text{tot}}$. A titre d'exemple, la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{\text{tot}}$ couvre au moins la gamme LWIR (8-12 μm) et s'étend notamment vers les plus faibles longueurs d'onde.
- [0044] Le détecteur thermique peut faire partie d'une matrice de détecteurs d'un dispositif de détection, où les détecteurs thermiques sont identiques les uns aux autres et sont agencés de manière périodique. Ils comportent chacun d'une membrane absorbante suspendue au-dessus du même substrat de lecture.
- [0045] La membrane absorbante comporte au moins deux absorbeurs de Salisbury couplés thermiquement à un même transducteur thermomètre (donc l'échauffement des absorbeurs est transmis au transducteur), définissant au moins deux cavités quart d'onde avec un même réflecteur du substrat de lecture. Au moins l'une des cavités quart d'onde présente une longueur d'onde de résonance égale à la longueur d'onde d'antirésonance d'une autre cavité quart d'onde à plus ou moins 2 μm .
- [0046] Autrement dit, comme détaillé par la suite, la membrane absorbante est configurée de sorte que la première cavité quart d'onde C_1 optimise l'absorption du premier absorbeur à une longueur d'onde de résonance λ_{c1} (longueur d'onde centrale de la bande spectrale d'absorption $\Delta\lambda_1$ du premier absorbeur). Pour cela, le premier absorbeur est espacé du réflecteur d'une distance verticale h_1 égale à $\lambda_{c1}/4n_{\text{eq1}}$, où n_{eq1} est l'indice de réfraction équivalent du milieu associé à la cavité quart d'onde C_1 , à savoir le milieu situé et à la perpendiculaire du premier absorbeur et du réflecteur, ainsi que le milieu de la membrane absorbante situé sur et à la perpendiculaire du premier absorbeur.
- [0047] De plus, la membrane absorbante est configurée de sorte qu'une deuxième cavité quart d'onde C_2 optimise l'absorption d'un deuxième absorbeur à une longueur d'onde de résonance λ_{c2} (longueur d'onde centrale de la bande d'absorption $\Delta\lambda_2$ du deuxième absorbeur). Pour cela, le deuxième absorbeur est espacé du réflecteur d'une distance verticale h_2 égale à $\lambda_{c2}/4n_{\text{eq2}}$, où n_{eq2} est l'indice de réfraction équivalent du milieu associé à la cavité quart d'onde C_2 . La distance h_2 et/ou l'indice de réfraction n_{eq2} sont choisis de sorte que la longueur d'onde de résonance λ_{c2} soit égale à l'antirésonance de la cavité quart d'onde C_1 , c'est-à-dire à $\lambda_{c1}/2$, à plus ou moins 2 μm près : $\lambda_{c2} = \lambda_{c1}/2 \pm 2\mu\text{m}$, ou encore $\lambda_{c1}/2 - 2\mu\text{m} \leq \lambda_{c2} \leq \lambda_{c1}/2 + 2\mu\text{m}$. Ainsi, la bande spectrale de détection

$\Delta\lambda_{\text{tot}}$ du détecteur thermique est donc élargie dans la mesure où elle s'étend sur au moins les deux bandes spectrales d'absorption $\Delta\lambda_1$ et $\Delta\lambda_2$.

- [0048] De plus, de sorte que le spectre d'absorption $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ du détecteur thermique présente une valeur uniformément élevée sur toute la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{\text{tot}}$, le rapport de surface S_i/S_j entre les absorbeurs est compris entre 0.5 et 3, où la surface S_i correspond à la surface totale de l'absorbeur de rang i dont la longueur d'onde de résonance est sensiblement égale (à $\pm 2 \mu\text{m}$) à la longueur d'onde d'antirésonance de l'absorbeur de rang j . Ainsi, la contribution de chaque absorbeur, en termes de réponse spectrale, au spectre d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ est équilibrée, ce qui assure que l'absorption totale est uniformément élevée sur toute la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{\text{tot}}$. La surface S d'un absorbeur est définie comme étant la surface totale de celui-ci, alors situé à une distance h constante du réflecteur, dans la cavité quart d'onde considérée.
- [0049] La [Fig.2A] est une vue schématique et partielle d'un détecteur thermique 1 d'un rayonnement électromagnétique, ici d'un rayonnement infrarouge, selon un mode de réalisation, en coupe transversale selon une ligne de coupe AA (cf. [Fig.2B]). La [Fig.2B] est une vue de dessus, schématique et partielle, du détecteur thermique 1 de la [Fig.2A].
- [0050] On définit ici et pour la suite de la description un repère direct tridimensionnel XYZ, où le plan XY est sensiblement parallèle au plan d'un substrat de lecture 10 du détecteur thermique 1, l'axe Z étant orienté suivant une direction sensiblement orthogonale au plan XY du substrat de lecture 10, en direction de la membrane absorbante 20. Par ailleurs, les termes « inférieur » et « supérieur » s'entendent comme étant relatifs à un positionnement croissant lorsqu'on s'éloigne du substrat de lecture 10 suivant la direction +Z.
- [0051] Le substrat de lecture 10 est formé d'un substrat support 11 contenant le circuit de lecture (non représenté) adapté à commander et lire le détecteur thermique 1. Le circuit de lecture peut se présenter sous la forme d'un circuit intégré CMOS. Il comporte ainsi des portions conductrices qui affleurent la face supérieure du substrat de lecture 10, laquelle est sensiblement plane. Les portions conductrices et les vias conducteurs peuvent être réalisés en cuivre, en aluminium et/ou en tungstène, entre autres, par exemple au moyen d'un procédé damascène dans lequel on remplit des tranchées réalisées dans la couche isolante inter-métal.
- [0052] Le détecteur thermique 1 comporte un réflecteur 12, qui repose sur ou dans le substrat de lecture 10. Il est adapté à réfléchir le rayonnement électromagnétique à détecter en direction de la membrane absorbante 20, et est de préférence réalisé en au moins un matériau métallique. Il peut être recouvert par cette couche de protection, réalisée en un matériau sensiblement inerte à un agent de gravure utilisé ultérieurement

pour supprimer la ou les couches sacrificielles qui permettent de réaliser la membrane suspendue 20 ainsi qu'une structure d'encapsulation (qui définit une cavité sous vide dans laquelle se situe la membrane absorbante 20). Le réflecteur 12 s'étend dans le plan XY sous la membrane absorbante 20, en particulier sous les absorbeurs situés dans celle-ci.

- [0053] Le détecteur thermique 1 comporte une membrane absorbante 20, suspendue au-dessus du substrat de lecture 10 par des piliers d'ancrage 2, et isolée thermiquement de celui-ci par des bras de maintien et d'isolation thermique 3. Les piliers d'ancrage 2 et bras de maintien 3 assurent également une fonction de connexion électrique au circuit de lecture contenu dans le substrat de lecture 10. Les bras de maintien 3 peuvent être formés d'un empilement d'une couche inférieure isolante 21 (par exemple en Al_2O_3 ou silicium amorphe), d'une piste conductrice de polarisation 22 (par ex. en TiN ou NiCr), et d'une couche supérieure isolante 23 (par ex. en Al_2O_3 ou silicium amorphe).
- [0054] La membrane absorbante 20 comporte un transducteur thermomètre 23, ici formée par une couche thermistance, c'est-à-dire une couche en un matériau dont la résistance électrique varie en fonction de son échauffement thermique, des électrodes de polarisation, et au moins deux absorbeurs 31, 32 couplés thermiquement au même transducteur thermomètre 23.
- [0055] Dans cet exemple, la membrane absorbante 20 comporte une couche inférieure isolante 21, par exemple réalisée en un matériau diélectrique tel que de l'alumine, un oxyde et/ou un nitrure de silicium, voire en un matériau semiconducteur non intentionnellement dopé tel que du silicium amorphe. Elle peut présenter une épaisseur par exemple comprise entre 5nm et 100nm, de préférence comprise entre 15nm et 50nm.
- [0056] Des électrodes de polarisation reposent sur la couche inférieure isolante 21. Elles sont réalisées en un matériau électriquement conducteur, ici en un matériau métallique comme par exemple du TiN ou du NiCr, entre autres, d'une épaisseur par exemple comprise entre 5 et 15nm, de préférence entre 6 et 10nm. Comme expliqué par la suite, ces électrodes de polarisation forme ici un absorbeur 32 dit inférieur en couche mince. Cependant, en variante, l'absorbeur inférieur peut être distinct des électrodes de polarisation. Le matériau et l'épaisseur de l'absorbeur inférieur 32 sont de préférence choisis de sorte que sa résistance de surface est sensiblement égale à l'impédance du vide.
- [0057] L'absorbeur inférieur 32 est donc formé de deux parties 32.1 et 32.2 spatialement distinctes, qui s'étendent à partir des bras de maintien 3 jusqu'à la bordure du transducteur thermomètre 23, pour être en mesure de le polariser électriquement. Dans cet exemple, chaque partie de l'absorbeur inférieur 32 s'étend en forme de C de manière à s'étendre sur une grande partie de la membrane absorbante 20. En revanche, au niveau du transducteur thermomètre 23, les deux parties 31.1 et 31.2 sont suf-

fisamment espacées latéralement dans le plan XY pour ne pas venir à la perpendiculaire de l'absorbeur supérieur 32. La surface S_2 de l'absorbeur inférieur 32 correspond à la somme des surfaces des deux parties distinctes 32.1, 32.2. Chaque partie de l'absorbeur inférieur 32 s'étend ici de manière continue et avec une épaisseur constante. En variante, elle peut s'étendre de manière discontinue et présenter une épaisseur non constante.

- [0058] L'absorbeur inférieur 32 est situé à une distance h_2 sensiblement constante vis-à-vis du réflecteur 12, formant ainsi une cavité quart d'onde C_2 de la longueur d'onde de résonance λ_{c2} , avec $h_2 = \lambda_{c2}/4n_{eq2}$. La longueur d'onde λ_{c2} est une longueur d'onde centrale de la sous-bande spectrale $\Delta\lambda_2$ de la bande spectrale $\Delta\lambda_{tot}$. On note ici n_{eq2} l'indice de réfraction équivalent du milieu associé à la cavité quart d'onde C_2 , à savoir ici le milieu situé à la verticale de l'absorbeur inférieur 32, entre celui-ci et le réflecteur 12, ainsi que le milieu situé sur et à la verticale de l'absorbeur inférieur 32. Comme détaillé par la suite, la distance h_2 et/ou l'indice de réfraction n_{eq2} sont choisis de sorte que la longueur d'onde λ_{c2} est égale, à plus ou moins $2\mu\text{m}$ près, à la longueur d'onde d'antirésonance $\lambda_{c1}/2$ de la cavité quart d'onde C_1 .
- [0059] Le transducteur thermomètre 23 s'étend ici sur et au contact des électrodes de polarisation et de la couche inférieure isolante 21. Il s'agit ici d'un matériau thermistance d'une épaisseur par exemple de l'ordre de quelques dizaines à centaines de nanomètres. Il peut s'agir d'un matériau à base d'un oxyde de vanadium ou de titane, de silicium amorphe. En variante, il peut également s'agir d'une diode (jonction pn ou pin) ou d'un transistor à effet de champ et à structure métal - oxyde - semiconducteur (MOSFET), entre autres.
- [0060] Une couche supérieure de protection 24 recouvre le transducteur thermomètre 23, ici uniquement sur la face supérieure de ce dernier, mais elle peut le recouvrir entièrement pour assurer une fonction de protection du transducteur thermomètre 23 vis-à-vis d'éventuelles contaminations ou dégradations lors des étapes du procédé de fabrication. Elle peut être réalisée en un matériau électriquement isolant, par exemple un matériau diélectrique tel qu'un oxyde, nitrure ou oxynitrure de silicium, voire de l'alumine, entre autres, d'une épaisseur de quelques dizaines de nanomètres.
- [0061] La membrane absorbante 20 comporte un deuxième absorbeur 31, dit absorbeur supérieur, formé d'une couche mince réalisée en au moins un matériau adapté à absorber le rayonnement électromagnétique à détecter, par exemple en un matériau métallique tel que du TiN ou du NiCr, entre autre, d'une épaisseur par exemple comprise entre 5 et 15nm, de préférence entre 6 et 10nm. L'absorbeur supérieur 31 est couplé thermiquement au transducteur thermomètre 23. Il repose ici sur la couche supérieure de protection 24, et ne s'étend pas en regard (à la verticale) de l'absorbeur inférieur 32, de manière à éviter de dégrader l'absorption du rayonnement électroma-

gnétique par l'un ou l'autre des absorbeurs.

- [0062] Le matériau et l'épaisseur de l'absorbeur supérieur 31 sont de préférence choisis de sorte que sa résistance de surface est sensiblement égale à l'impédance du vide. Il s'étend ici de manière continue et avec une épaisseur constante. En variante, il peut s'étendre de manière discontinue et présenter une épaisseur non constante. On note S_1 la surface totale de l'absorbeur supérieur 31.
- [0063] L'absorbeur supérieur 31 est situé à une distance h_1 sensiblement constante vis-à-vis du réflecteur 12, formant ainsi une cavité quart d'onde C_1 de la longueur d'onde de résonance λ_{c1} , avec $h_1 = \lambda_{c1}/4n_{eq1}$. La longueur d'onde λ_{c1} est une longueur d'onde centrale de la sous-bande spectrale $\Delta\lambda_1$ de la bande spectrale $\Delta\lambda_{tot}$. On note ici n_{eq1} l'indice de réfraction équivalent du milieu associé à la cavité quart d'onde C_1 , à savoir ici le milieu situé à la verticale de l'absorbeur supérieur 31, entre celui-ci et le réflecteur 12, ainsi que le milieu situé sur et à la verticale de l'absorbeur supérieur 31.
- [0064] Selon l'invention, la membrane absorbante 20 comporte donc au moins deux absorbeurs de Salisbury 31, 32 adaptés à absorber le rayonnement électromagnétique dans la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{tot}$. Elle est configurée de sorte que la longueur d'onde de résonance λ_{c2} associée à la cavité quart d'onde C_2 soit égale, à plus ou moins $2 \mu\text{m}$ près, à la longueur d'onde d'antirésonance $\lambda_{c1}/2$ associée à la cavité quart d'onde C_1 . Cette configuration peut être obtenue par l'ajustement de l'une et/ou l'autre des distances h_1 et h_2 , comme par l'ajustement de l'un et/ou l'autre d'indices de réfraction équivalents n_{eq1} et n_{eq2} (par le choix des matériaux et épaisseurs).
- [0065] Ainsi, le spectre d'absorption totale $\alpha_{tot}(\lambda)$ du détecteur thermique 1 correspond à la somme du spectre d'absorption $\alpha_1(\lambda)$ de l'absorbeur supérieur 31 et du spectre d'absorption $\alpha_2(\lambda)$ de l'absorbeur inférieur 32. La bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{tot}$ n'est plus limitée par l'antirésonance de la cavité quart d'onde C_1 , et il apparaît qu'elle n'est pas non plus limitée par l'antirésonance de la cavité quart d'onde C_2 (comme détaillé plus loin en référence à la [Fig.3B]).
- [0066] De plus, le rapport de surface S_2/S_1 est compris entre 0.5 et 3, et de préférence entre 0.8 et 2, et de préférence égal à 1 environ. Ainsi, la contribution de chaque absorbeur 31, 32 au spectre d'absorption totale $\alpha_{tot}(\lambda)$ du détecteur thermique 1 est équilibrée, ce qui permet d'obtenir une valeur d'absorption α_{tot} uniformément élevée, au moins égale à une valeur seuil $\alpha_{tot,th}$ prédéfinie, sur toute la bande spectrale $\Delta\lambda_{tot}$.
- [0067] Notons que l'absorbeur inférieur 32, qui forme ici également les électrodes de polarisation, présente une surface totale bien plus importante que dans le cas de l'art antérieur où les électrodes sont des pistes étroites et ne forment pas un absorbeur de Salisbury.
- [0068] De manière à illustrer la contribution des absorbeurs 31, 32 au spectre d'absorption totale $\alpha_{tot}(\lambda)$ du détecteur thermique 1, on considère maintenant deux absorbeurs 31, 32

et un réflecteur 12 tel que la [Fig.3A] le montre schématiquement. Les figures 3B, 4A et 4B illustrent des exemples de spectre d'absorption total $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ de la membrane absorbante 20 ainsi que ceux $\alpha_1(\lambda)$ et $\alpha_2(\lambda)$ de l'absorbeur supérieur 31 et de l'absorbeur inférieur 32, dans le cas où le rapport des surfaces S_2/S_1 est égal à 1 environ ([Fig.3B]), égal à 0.5 environ ([Fig.4A]) et égal à 2 environ ([Fig.4B]).

[0069] Dans cet exemple, l'absorbeur inférieur 32 est réalisé en TiN d'une épaisseur de 8nm, et s'étend dans le plan XY en anneau de forme carrée. Il est espacé verticalement du réflecteur 12 d'une distance h_2 égale ici à 1.5 μm . Par ailleurs, l'absorbeur supérieur 31 est réalisé en TiN d'une épaisseur de 8nm, et s'étend dans le plan XY en forme de carré. Ses dimensions sont ici égales à celles de l'espace intérieur vide de l'absorbeur inférieur 32. Il est espacé verticalement du réflecteur 12 d'une distance $h_1=h_2+\delta$ égale ici à 2.5 μm . Par ailleurs, le pas pixel est ici égal à 12 μm , et le facteur de remplissage ff (pour *fill factor* en anglais), défini par la relation $ff=(S_2+S_1)/p^2$ est égal à 80%.

[0070] Les spectres d'absorption sont ici obtenus par résolution numérique des équations de Maxwell par éléments finis.

[0071] Le spectre d'absorption $\alpha_1(\lambda)$ de l'absorbeur supérieur 31 présente une valeur maximale autour de la longueur d'onde de résonance λ_{c1} égale ici à 13 μm environ, ainsi qu'une décroissance forte à la longueur d'onde d'antirésonance de 5 μm environ. Par ailleurs, le spectre d'absorption $\alpha_2(\lambda)$ de l'absorbeur inférieur 32 présente une valeur maximale autour de la longueur d'onde de résonance λ_{c2} égale ici à 6 μm environ, ainsi qu'une décroissance forte à la longueur d'onde d'antirésonance de 3 μm environ. Aussi, il apparaît que le spectre d'absorption $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ ne présente plus de décroissance forte aux longueurs d'onde d'antirésonance de 5 μm (absorption de 60% environ) et de 3 μm (absorption de 40% environ).

[0072] De plus, la contribution de chaque absorbeur 31, 32 est ici homogène, du fait du rapport de surface S_2/S_1 égal à 1 environ, de sorte que le spectre d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ est uniformément élevé sur toute la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{\text{tot}}$. Ainsi, si l'on considère que la valeur seuil d'absorption est égale à 40%, la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{\text{tot}}$ va alors de 3 μm à plus de 20 μm . Si l'on considère 60%, elle s'étend de 5 μm à plus de 20 μm . Et si l'on considère 80%, on s'étend de 6 à 15 μm . Ainsi, la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{\text{tot}}$ est considérablement élargie, et le spectre d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ est uniformément élevé, i.e. au moins égal à la valeur seuil sur toute la bande spectrale $\Delta\lambda_{\text{tot}}$.

[0073] Notons ici qu'il est avantageux que les dimensions latérales maximales des absorbeurs 31, 32 soient inférieures ou égales à la longueur d'onde centrale de la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{\text{tot}}$. Dans cet exemple, elle est égale à 11 μm environ pour une bande spectrale $\Delta\lambda_{\text{tot}}$ de 6-15 μm (valeur seuil d'absorption de 80%). Ici, l'absorbeur supérieur 31 est en forme de carré de côté a de 7.6 μm , et l'absorbeur inférieur 32 est

en forme d'anneau carré de côté $10.7 \mu\text{m}$. Aussi, les dimensions latérales des absorbeurs sont inférieures à la longueur d'onde centrale de $11 \mu\text{m}$.

- [0074] Il apparaît alors que cette configuration conduit à maximiser l'efficacité de collection optique du rayonnement électromagnétique incident. En effet, l'absorbeur supérieur 31, alors que sa surface relative est de 40%, absorbe jusqu'à 65% autour de sa longueur d'onde de résonance $13 \mu\text{m}$. De même, l'absorbeur inférieur 32, alors que sa surface relative est également de 40%, absorbe jusqu'à 60% autour de sa longueur d'onde de résonance $5 \mu\text{m}$. L'association des deux absorbeurs 31, 32, qui couvrent une surface totale relative de 80% de la surface du pixel de détection, permet d'absorber plus de 80% du rayonnement incident entre 6 et $15 \mu\text{m}$.
- [0075] Il est possible de modifier le spectre d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ du détecteur thermique 1 en ajustant la contribution de chaque spectre d'absorption $\alpha_1(\lambda)$ et $\alpha_2(\lambda)$ via le rapport de surface S_2/S_1 .
- [0076] Dans le cas où le rapport de surface S_2/S_1 est égal à 0.5 (cf. [Fig.4A]), on réduit ici la contribution de l'absorbeur inférieur 32 au profit de celle de l'absorbeur supérieur 31. Et dans le cas où le rapport de surface S_2/S_1 est égal à 2 (cf. [Fig.4B]), on augmente la contribution de l'absorbeur inférieur 32 au détriment de celle de l'absorbeur supérieur 31.
- [0077] Ainsi, dans le cas où la valeur d'absorption seuil est égale à 60%, la bande spectrale d'absorption $\Delta\lambda_{\text{tot}}$ va de $6 \mu\text{m}$ à plus de $20 \mu\text{m}$ dans le cas où $S_2/S_1 = 0.5$ ([Fig.4A]) avec une absorption maximale de 90% autour de $12 \mu\text{m}$. En revanche, elle va de $4 \mu\text{m}$ à $20 \mu\text{m}$ dans le cas où $S_2/S_1 = 2$ ([Fig.4B]) avec une absorption maximale de 90% autour de 7-8 μm .
- [0078] La [Fig.5A] illustre un exemple de spectre d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ en fonction du rapport de surface S_2/S_1 dans le cas de la configuration de la [Fig.3A], et la [Fig.5B] illustre les spectres d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ dans le cas où $S_2/S_1 = 0.5$, où $S_2/S_1 = 3$, et dans les cas où S_2/S_1 très petit ($S_2/S_1 \ll 1$: l'absorbeur supérieur 31 remplit entièrement la surface disponible) et où S_2/S_1 très grand ($S_2/S_1 \gg 1$: l'absorbeur inférieur 32 remplit entièrement la surface disponible).
- [0079] Concernant le spectre d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ avec S_2/S_1 très petit, on retrouve un spectre piqué au niveau de la longueur d'onde d'antirésonance de la cavité quart d'onde C_1 , i.e. autour de $5 \mu\text{m}$. De même, le spectre d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ avec S_2/S_1 très grand, on retrouve un spectre piqué au niveau de la longueur d'onde d'antirésonance de la cavité quart d'onde C_2 , i.e. autour de $3 \mu\text{m}$. Ces limitations d'absorption ne se retrouvent pas dans les spectres d'absorption totale $\alpha_{\text{tot}}(\lambda)$ avec $S_2/S_1 = 0.5$ et $S_2/S_1 = 3$.
- [0080] La [Fig.6A] et la [Fig.6B] sont des vues schématiques et partielles d'un détecteur thermique 1 d'un rayonnement électromagnétique selon un mode de réalisation, en

coupe transversale respectivement sur les lignes de coupe AA et BB (cf. [Fig.6C]). La [Fig.6C] est une vue de dessus du détecteur thermique 1 des [Fig.6A] et 6B.

- [0081] Dans cet exemple, la membrane absorbante 20 comporte un même transducteur thermomètre 23 couplé thermiquement à plus de deux absorbeurs, ici à trois absorbeurs 31, 32, 33 formant trois cavités quart d'onde C_1 , C_2 , C_3 distinctes en termes de bande spectrale d'absorption.
- [0082] La membrane absorbante 20 comporte ici une couche inférieure isolante 21, une couche mince métallique en deux parties spatialement distinctes dans le plan XY qui forment des électrodes de polarisation ainsi que les deuxième et troisième absorbeurs 32, 33, une couche supérieure isolante 22, le transducteur thermomètre 23 (ici une couche d'un matériau thermistance) qui repose sur la couche supérieure isolante et la traverse au niveau d'ouvertures 22a pour venir au contact de la couche métallique, une couche supérieure de protection 24 qui recouvre le transducteur thermomètre 23, et une couche mince métallique qui repose sur le transducteur thermomètre 23 et forme le premier absorbeur 31 (absorbeur supérieur).
- [0083] L'absorbeur supérieur 31 est situé sur le transducteur thermomètre 23, à la distance h_1 du réflecteur 12. La cavité quart d'onde C_1 permet d'optimiser l'absorption par l'absorbeur supérieur 31 à la longueur d'onde λ_{c1} de la bande spectrale $\Delta\lambda_1$. Son milieu comporte notamment la couche supérieure de protection 24, le matériau thermistance 23 et les deux couches isolantes 22, 21. Comme le montre la [Fig.6C], l'absorbeur supérieur 31 ne s'étend que sur une partie seulement de la surface du transducteur thermomètre 23, ici sur environ la moitié de la surface de celui-ci.
- [0084] Par ailleurs, la couche métallique, formée de deux parties qui sont les électrodes de polarisation, forme un deuxième absorbeur 32 (cavité quart d'onde C_2) espacé de la distance h_2 du réflecteur 12. Dans cette cavité quart d'onde C_2 , le deuxième absorbeur 32 s'étend sur la membrane absorbante 20 sans être recouvert par le transducteur thermomètre 23. L'absorption par ce deuxième absorbeur 32 a lieu dans une sous-bande spectrale $\Delta\lambda_2$, centrée sur la longueur d'onde λ_{c2} . Le milieu associé à cette cavité quart d'onde C_2 comprend ici notamment les deux couches isolantes 21, 22.
- [0085] Dans la troisième cavité quart d'onde C_3 , la couche métallique s'étend sur la membrane absorbante 20 en étant recouverte par le transducteur thermomètre 23 (mais non recouverte par le premier absorbeur). Plus précisément, les deux parties 33.1 et 33.2 de la couche métallique recouvertes par le transducteur thermomètre 23 forment le troisième absorbeur 33. Celui-ci est espacé de la même distance h_2 du réflecteur 12 que le deuxième absorbeur 32. L'absorption par ce troisième absorbeur 33 a lieu dans une sous-bande spectrale $\Delta\lambda_3$ centrée sur la longueur d'onde λ_{c3} . Le milieu associé à cette cavité quart d'onde C_3 comprend ici notamment la couche supérieure de protection 24, le transducteur thermomètre 23 et les deux couches isolantes 22, 21.

- [0086] Ainsi, les trois cavités quart d'onde C_1 , C_2 et C_3 sont dimensionnées, en termes de hauteur h_1 et h_2 (ici la distance h_3 du troisième absorbeur est égale à h_2) et d'indice de réfraction équivalent n_{eq1} , n_{eq2} et n_{eq3} pour obtenir une large bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{tot}$ tout en maintenant une valeur d'absorption α_{tot} uniformément au-dessus d'une valeur de référence. Ainsi, la cavité quart d'onde C_2 peut être configurée pour absorber de manière optimale à l'antirésonance de la cavité quart d'onde C_1 . La cavité quart d'onde C_3 peut être configurée pour absorber dans une bande spectrale $\Delta\lambda_3$ comprise entre $\Delta\lambda_1$ et $\Delta\lambda_2$, par exemple en ajustant l'épaisseur de telle ou telle couche de la membrane absorbante 20 située dans la cavité quart d'onde C_3 .
- [0087] La [Fig.7A] est une vue schématique et partielle, en coupe transversale, d'un détecteur thermique 1 d'un rayonnement électromagnétique selon un mode de réalisation, en coupe transversale selon la ligne de coupe AA (cf. [Fig.7B]). La [Fig.7B] est une vue de dessus du détecteur thermique 1 de la [Fig.7A].
- [0088] Dans cet exemple, la membrane absorbante 20 comporte un même transducteur thermomètre 23 couplé thermiquement à plus de deux absorbeurs, ici à cinq absorbeurs 31, 32, 33, 34 et 35 formant cinq cavités quart d'onde distinctes en termes de bande spectrale d'absorption.
- [0089] La membrane absorbante 20 comporte ici une couche inférieure isolante 21, une couche mince métallique en plusieurs parties spatialement distinctes dans le plan XY qui forment des électrodes de polarisation et plusieurs absorbeurs différents, une couche supérieure isolante 22, le transducteur thermomètre 23 (ici une couche d'un matériau thermistance) qui repose sur la couche supérieure isolante et la traverse au niveau d'ouvertures 22a pour venir au contact de la couche métallique. Une couche supérieure de protection 24 recouvre le transducteur thermomètre 23.
- [0090] Les différentes parties de la couche mince métallique forment les différents absorbeurs 31 à 35 et définissent les cavités quart d'onde. Dans cet exemple, il n'y a pas d'absorbeur supérieur qui repose sur le transducteur thermomètre 23, mais en variante, un tel absorbeur supérieur peut être présent (auquel cas il n'y aurait pas d'absorbeur recouvert par le transducteur thermomètre 23).
- [0091] Deux parties centrales forment le premier absorbeur 31, espacé d'une distance h_1 vis-à-vis du réflecteur 12. Elles sont recouvertes par le transducteur thermomètre 23, et définissent la cavité quart d'onde C_1 de longueur d'onde de résonance λ_{c1} dans la bande spectrale $\Delta\lambda_1$. Le milieu d'indice de réfraction n_{eq1} comprend notamment le transducteur thermomètre 23 et les deux couches isolantes 21, 22.
- [0092] Une partie latérale forme un autre absorbeur 35, espacé de la même distance h_1 vis-à-vis du réflecteur 12. Elle n'est pas recouverte par le transducteur thermomètre 23, et elle définit la cavité quart d'onde C_5 de longueur d'onde de résonance λ_{c5} dans la bande spectrale $\Delta\lambda_5$. Le milieu d'indice de réfraction n_{eq5} comprend notamment les deux

couches isolantes 21, 22.

- [0093] Trois autres parties latérales forment différents absorbeurs 32, 33, 34. Elles sont espacées de la distance h_2 , h_3 et h_4 vis-à-vis du réflecteur 12, différentes entre elles et de la valeur h_1 . Elles ne sont pas recouvertes par le transducteur thermomètre 23, et elles définissent des cavités quart d'onde C_2 , C_3 et C_4 dont les longueurs d'onde de résonance sont respectivement λ_{c2} , λ_{c3} , et λ_{c4} . Les milieux d'indice de réfraction n_{eq2} , n_{eq3} et n_{eq4} comprennent essentiellement les deux couches isolantes.
- [0094] Aussi, la membrane absorbante comporte différents étages où sont situés les absorbeurs 32, 33, 34. Elle comporte donc des parties planes où les absorbeurs 32, 33, 34 sont distants du réflecteur 12 des distances respectives h_2 , h_3 et h_4 , raccordées à la partie plane principale où se situe le transducteur thermomètre 23 par des parties de raccord verticales (comme représenté) ou inclinées. Les parties planes où sont situées les absorbeurs 32, 33, 34 forment donc un décrochement de la membrane absorbante 20 vis-à-vis de la partie plane principale.
- [0095] Ainsi, la membrane absorbante 20 est configurée, en termes de hauteur h_1 à h_5 et d'indice de réfraction équivalent n_{eq1} à n_{eq5} , de manière à obtenir une large bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{tot}$ tout en maintenant une valeur d'absorption α_{tot} uniformément au-dessus d'une valeur de référence. Plusieurs cavités quart d'onde peuvent être configurées pour absorber de manière optimale à l'antirésonance d'autres cavités quart d'onde. D'autres cavités quart d'onde peuvent également être configurées pour absorber dans une bande spectrale comprise entre celles d'autres cavités quart d'onde.
- [0096] Des modes de réalisation particuliers viennent d'être décrits. Différentes variantes et modifications apparaîtront à l'homme du métier.

Revendications

[Revendication 1]

Détecteur thermique (1), adapté à absorber un rayonnement électromagnétique dans une bande spectrale prédéfinie $\Delta\lambda_{\text{tot}}$, comportant :

- un substrat de lecture (10), comportant : un circuit de lecture ; et un réflecteur (12) adapté à réfléchir le rayonnement électromagnétique ;
- une membrane absorbante (20), suspendue au-dessus du substrat de lecture (10), isolée thermiquement du substrat de lecture (10), comportant un transducteur thermomètre (23) connecté électriquement au circuit de lecture, et comportant :
 - un premier absorbeur (31) en couche mince, d'une surface totale S_1 ,
 - couplé thermiquement au transducteur thermomètre (23),
 - adapté à absorber le rayonnement électromagnétique dans une sous-bande spectrale $\Delta\lambda_1$ de la bande spectrale $\Delta\lambda_{\text{tot}}$, centrée sur une longueur d'onde λ_{c1} , et est espacé du réflecteur (12) d'une valeur h_1 égale à $\lambda_{c1}/4n_{\text{eq1}}$ de manière à former avec celui-ci une première cavité quart d'onde C_1 pour la longueur d'onde λ_{c1} , n_{eq1} étant un indice de réfraction du milieu associé à la première cavité quart d'onde C_1 ;
 - au moins un deuxième absorbeur (32) en couche mince, d'une surface totale S_2 ,
 - couplé thermiquement audit transducteur thermomètre (23),
 - disposé dans la membrane absorbante (20) de sorte à ne pas être recouvert par le premier absorbeur (31),
- caractérisé en ce que le deuxième absorbeur (32) est adapté à absorber le rayonnement électromagnétique dans une sous-bande spectrale $\Delta\lambda_2$ de la bande spectrale $\Delta\lambda_{\text{tot}}$, centrée sur une longueur d'onde λ_{c2} , et est espacé du réflecteur (12) d'une valeur h_2 égale à $\lambda_{c2}/4n_{\text{eq2}}$ de manière à former avec celui-ci une deuxième cavité quart d'onde C_2 pour la longueur d'onde

λ_{c2} , n_{eq2} étant un indice de réfraction du milieu associé à la deuxième cavité quart d'onde C_2 , la sous-bande spectrale $\Delta\lambda_2$ étant centrée sur la longueur d'onde λ_{c2} égale à $\lambda_{c1}/2$ à plus ou moins $2\mu\text{m}$ près,

- et en ce que les premier et deuxième absorbeurs (31, 32) présentent des surfaces totales telles qu'un rapport de surface S_2/S_1 est compris entre 0.5 et 3.

- [Revendication 2] Détecteur thermique (1) selon la revendication 1, dans lequel le premier absorbeur (31) repose sur le transducteur thermomètre (23).
- [Revendication 3] Détecteur thermique (1) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le deuxième absorbeur (32) s'étend dans la membrane absorbante (20) sans être recouvert par le transducteur thermomètre (23).
- [Revendication 4] Détecteur thermique (1) selon la revendication 3, dans lequel le deuxième absorbeur (32) est formé par des parties (32.1, 32.2) d'une couche métallique, formant, d'une part, des pistes de polarisation au niveau de bras de maintien (3) assurant le maintien et l'isolation thermique de la membrane absorbante (20), et d'autre part, des électrodes de polarisation venant au contact du transducteur thermomètre (23).
- [Revendication 5] Détecteur thermique (1) selon la revendication 4, dans lequel la couche métallique s'étend de manière plane dans les bras de maintien (3) et dans la membrane absorbante (20).
- [Revendication 6] Détecteur thermique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comportant un troisième absorbeur (33) adapté à absorber le rayonnement électromagnétique dans une sous-bande spectrale $\Delta\lambda_3$ de la bande spectrale $\Delta\lambda_{tot}$, centrée sur une longueur d'onde λ_{c3} , et est espacé du réflecteur (12) d'une valeur h_3 égale à $\lambda_{c3}/4n_{eq3}$ de manière à former avec celui-ci une cavité quart d'onde C_3 pour une longueur d'onde λ_{c3} , n_{eq3} étant un indice de réfraction du milieu associé à la cavité quart d'onde C_3 , la longueur d'onde λ_{c3} étant située entre les longueurs d'onde λ_{c1} et λ_{c2} .
- [Revendication 7] Détecteur thermique (1) selon la revendication 6, dans lequel la distance h_3 est égale à la distance h_2 , le troisième absorbeur (33) étant recouvert par le transducteur thermomètre (23).
- [Revendication 8] Détecteur thermique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, comportant au moins un absorbeur adapté à absorber le rayonnement

électromagnétique dans une sous-bande spectrale $\Delta\lambda_4$ de la bande spectrale $\Delta\lambda_{\text{tot}}$, centrée sur une longueur d'onde λ_{c4} , et est espacé du réflecteur (12) d'une valeur h_4 égale à $\lambda_{c4}/4n_{\text{eq}4}$ de manière à former avec celui-ci une cavité quart d'onde C_4 pour une longueur d'onde λ_{c4} , $n_{\text{eq}4}$ étant un indice de réfraction du milieu associé à la cavité quart d'onde C_4 , l'absorbeur de la cavité quart d'onde C_4 étant situé dans une partie plane de la membrane absorbante (20) formant un décrochement par rapport à un plan principal dans lequel s'étend une couche métallique formant des pistes de polarisation situées dans des bras de maintien (3) et des électrodes de polarisation au contact du transducteur thermomètre (23).

[Revendication 9] Détecteur thermique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{\text{tot}}$ comprend la bande spectrale LWIR allant de 8 à 12 μm .

[Revendication 10] Détecteur thermique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, présentant une absorption au moins égale à 80% dans toute la bande spectrale de détection $\Delta\lambda_{\text{tot}}$.

[Fig. 1]

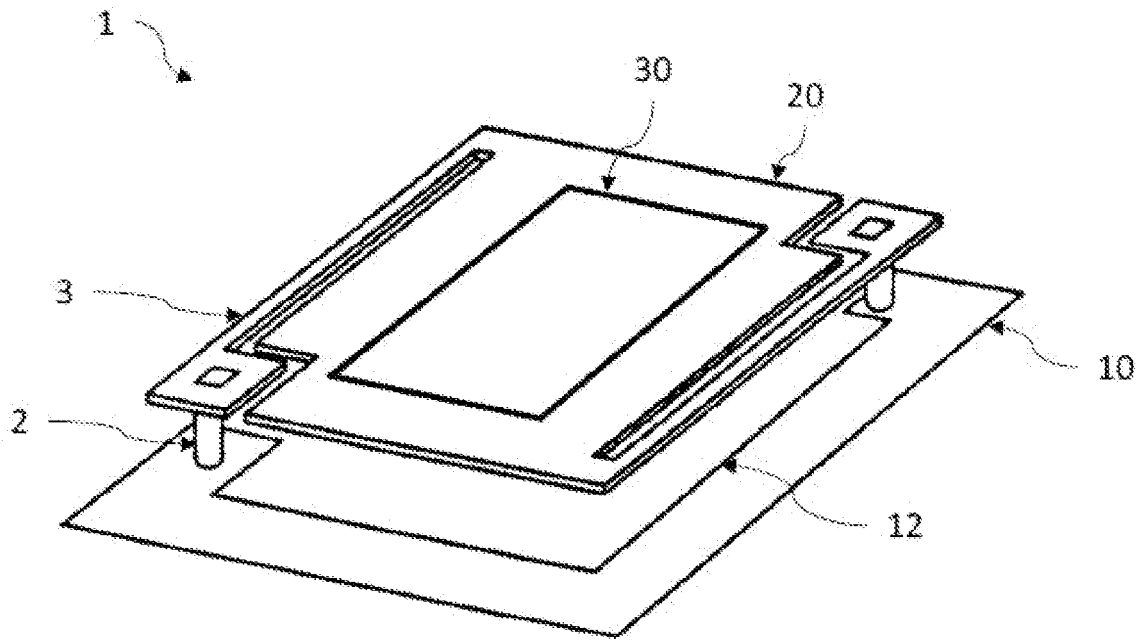
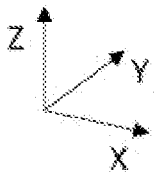


Fig.1



[Fig. 2A]

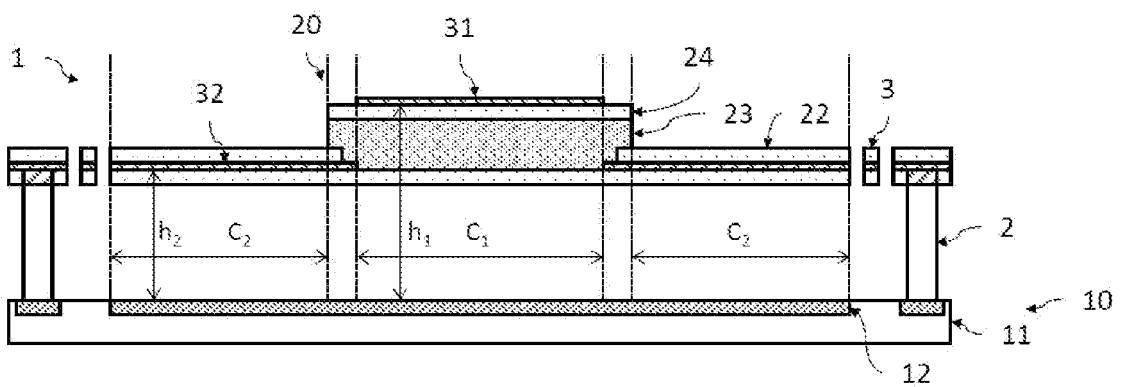


Fig.2A

[Fig. 2B]

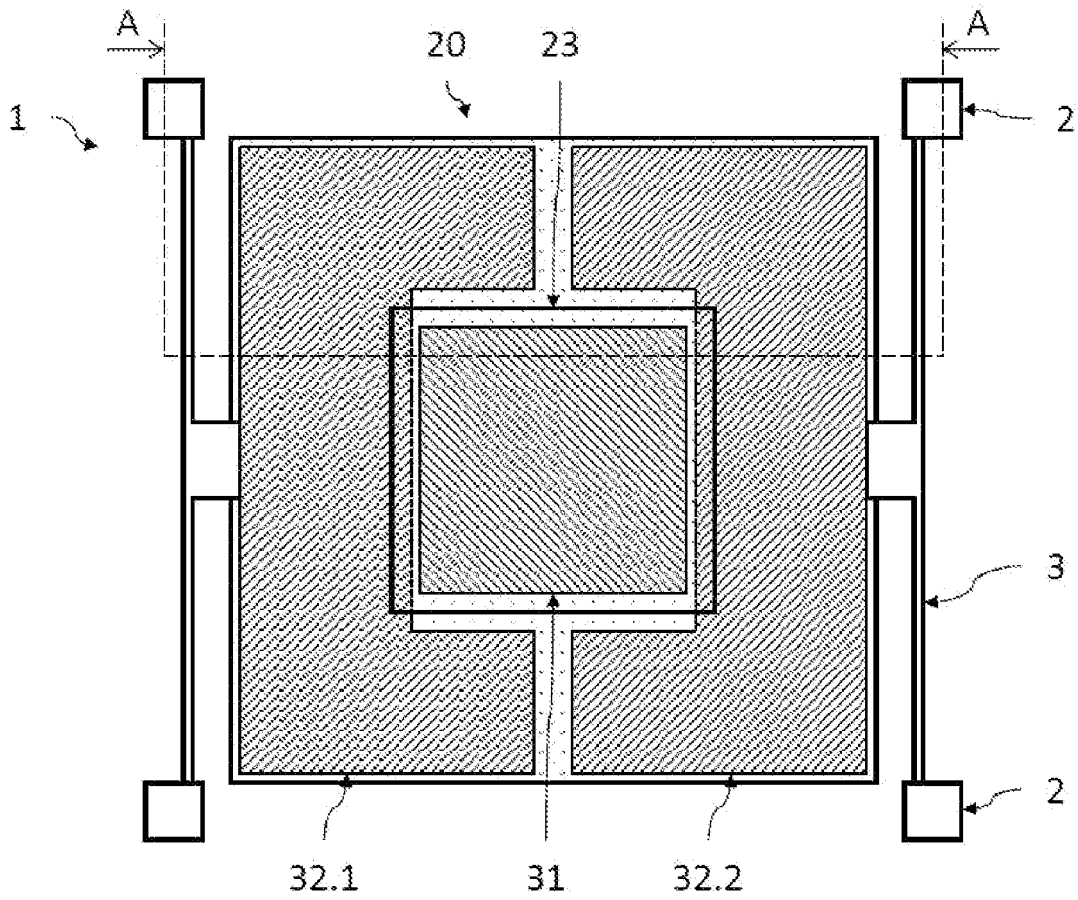


Fig.2B

[Fig. 3A]

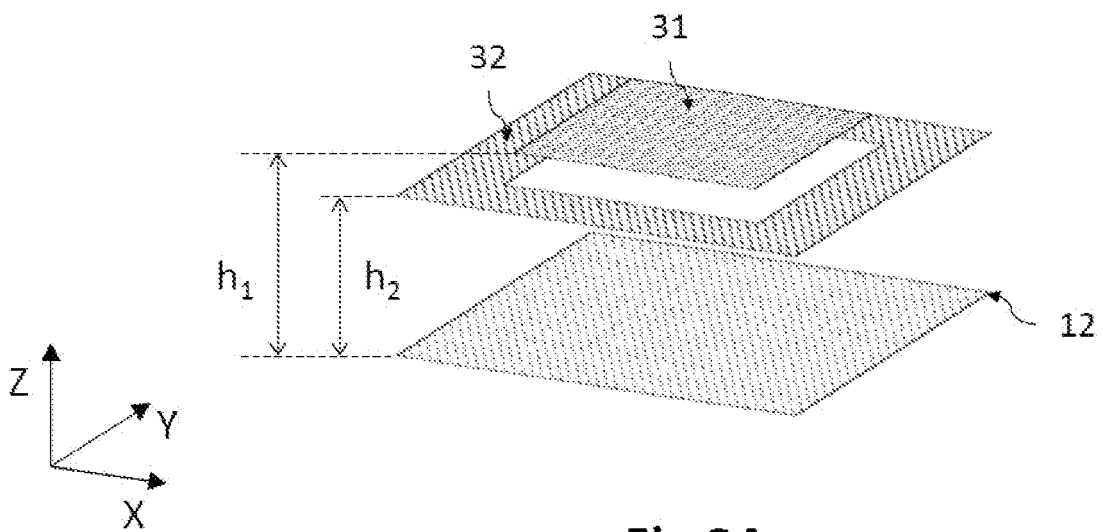
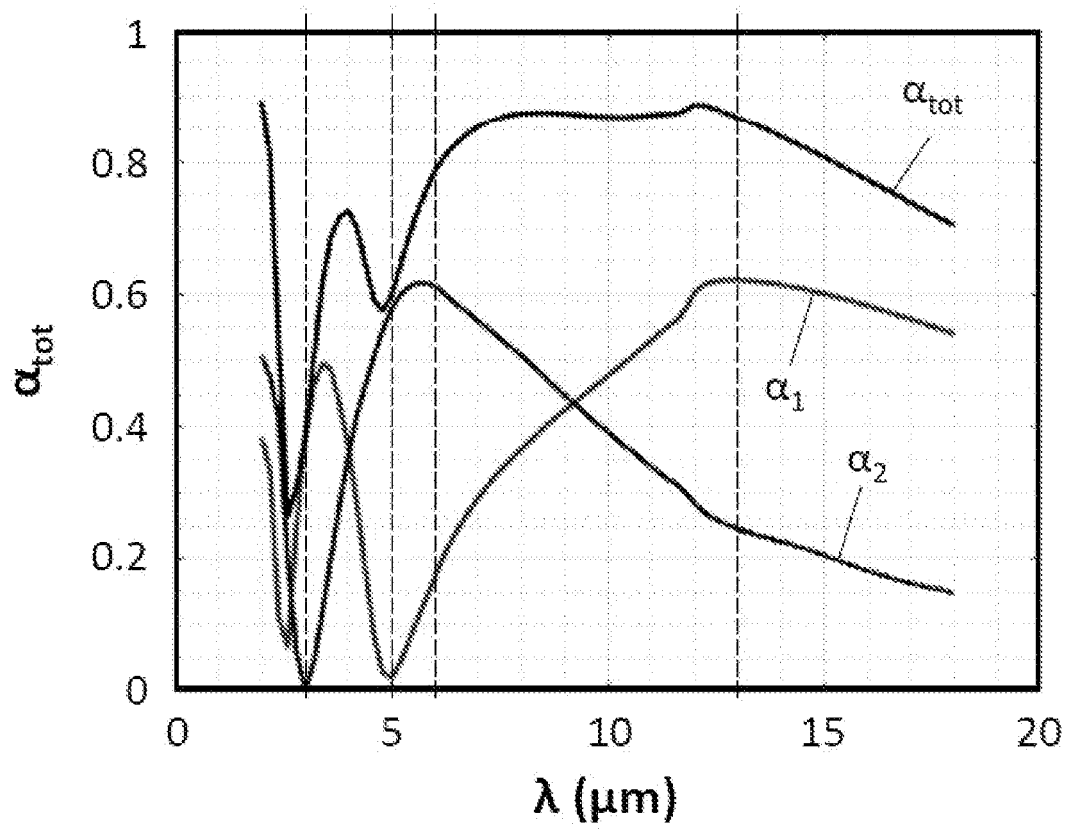


Fig.3A

[Fig. 3B]

**Fig.3B**

[Fig. 4A]

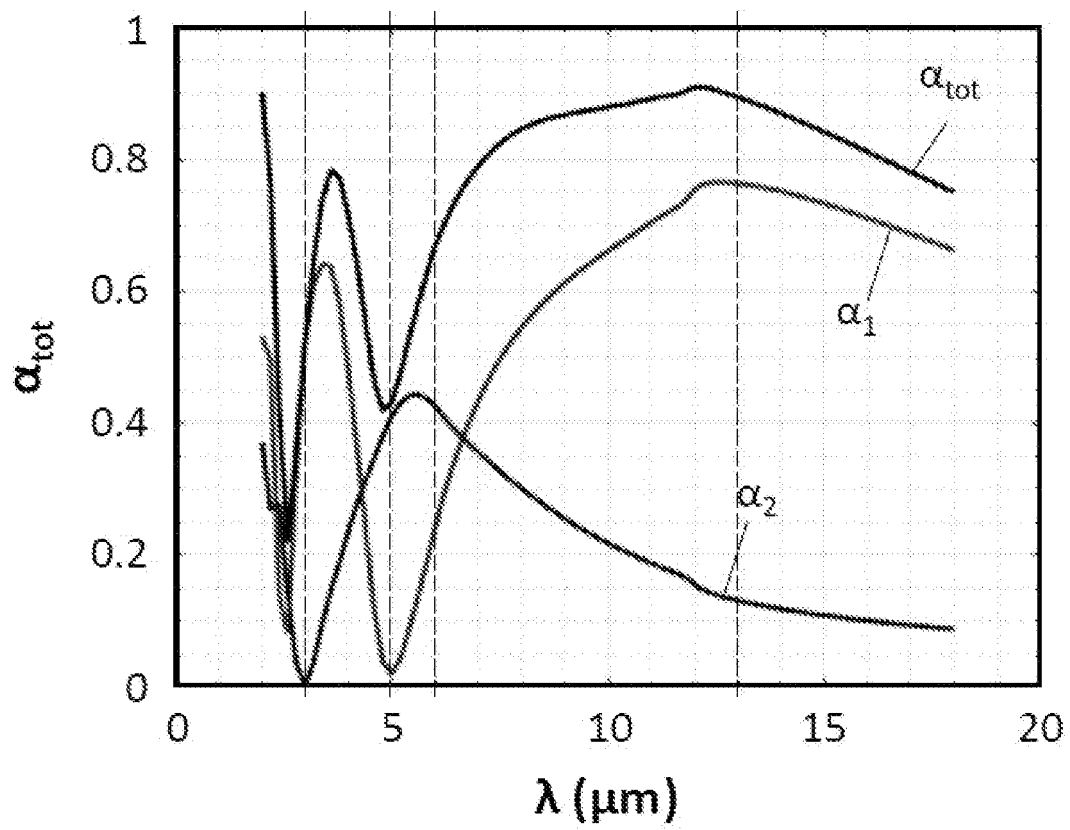


Fig.4A

[Fig. 4B]

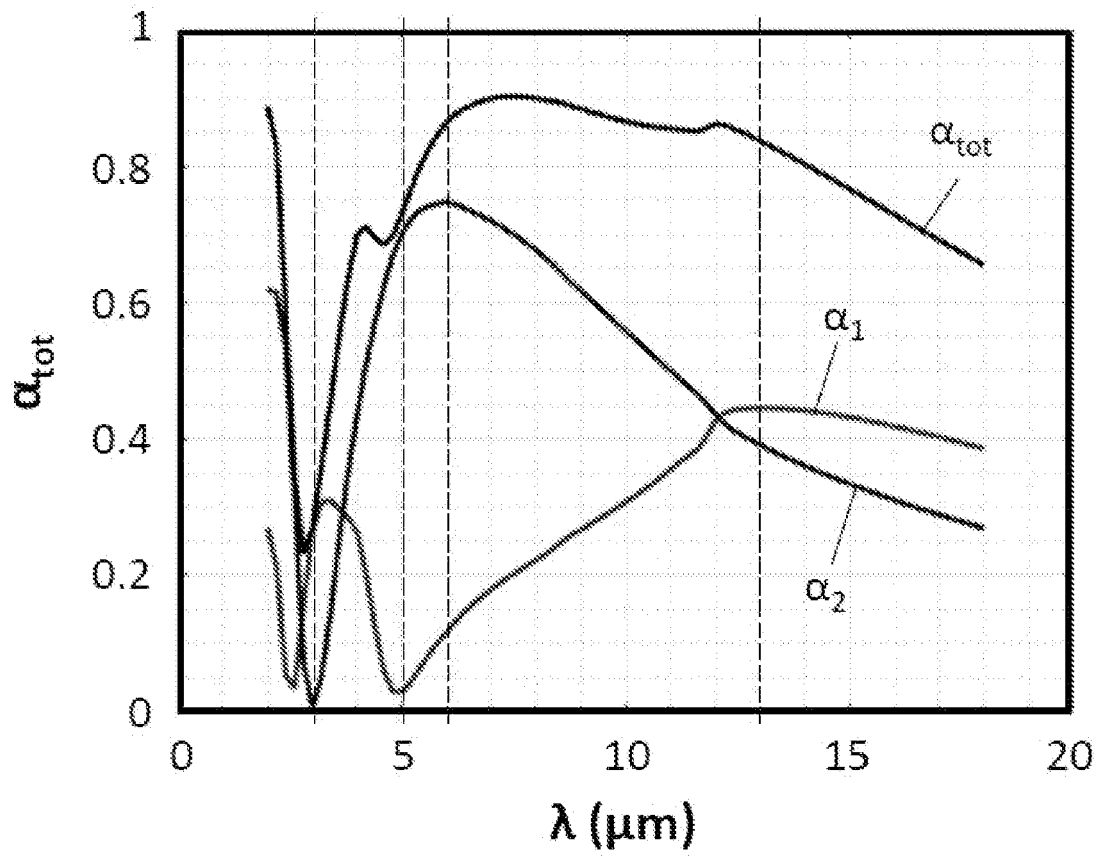


Fig.4B

[Fig. 5A]

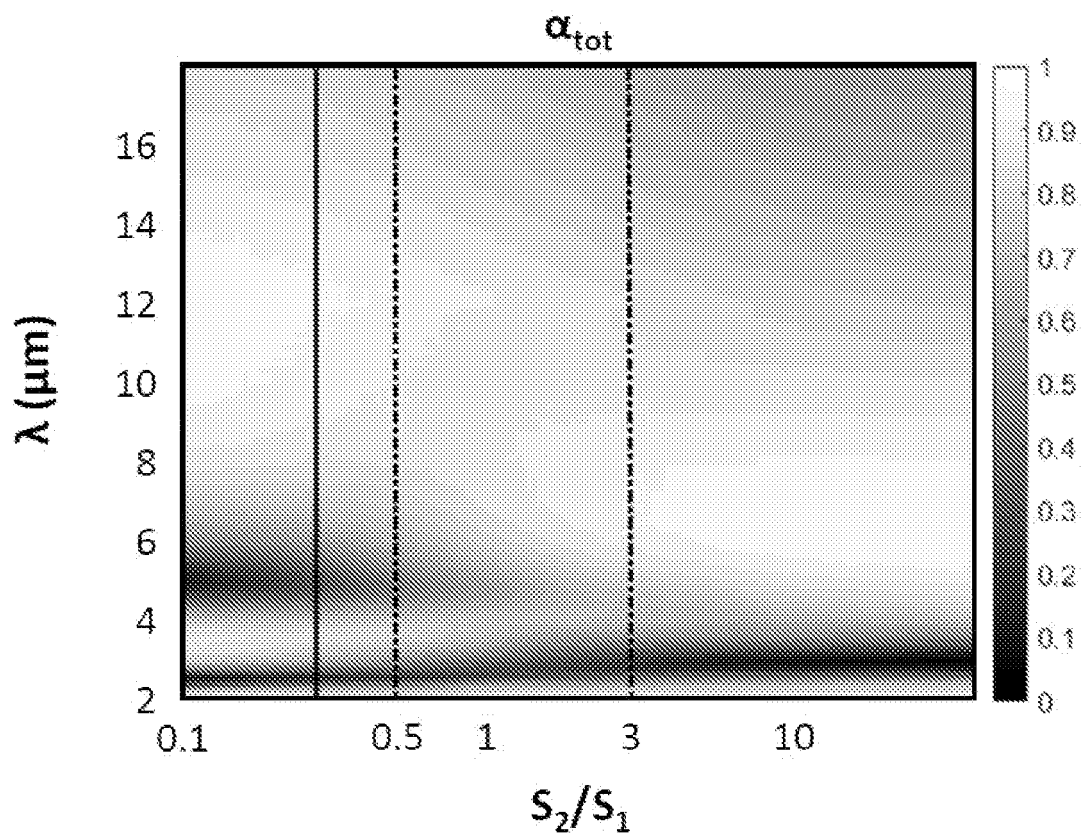


Fig.5A

[Fig. 5B]

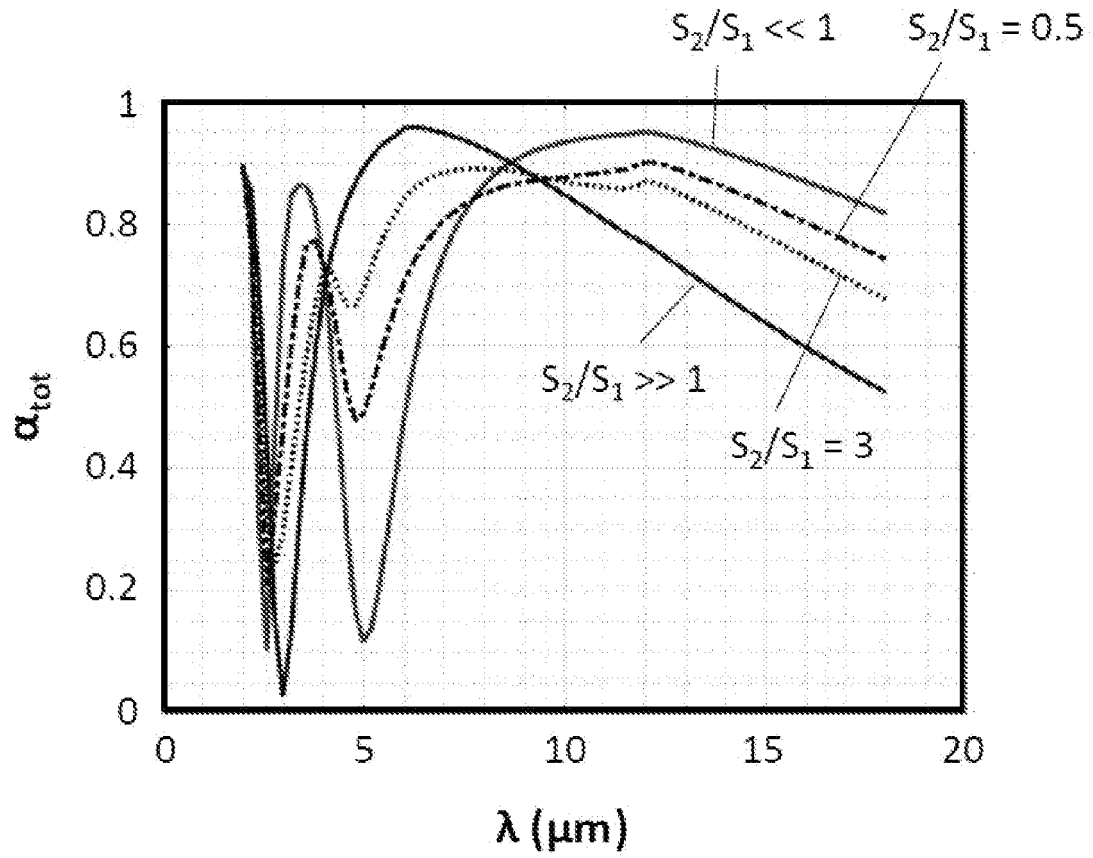


Fig.5B

[Fig. 6A]

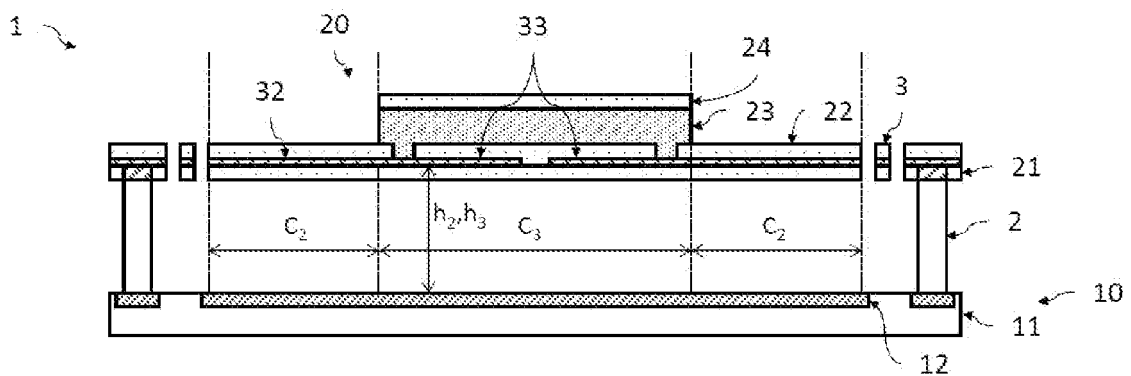


Fig.6A

[Fig. 6B]

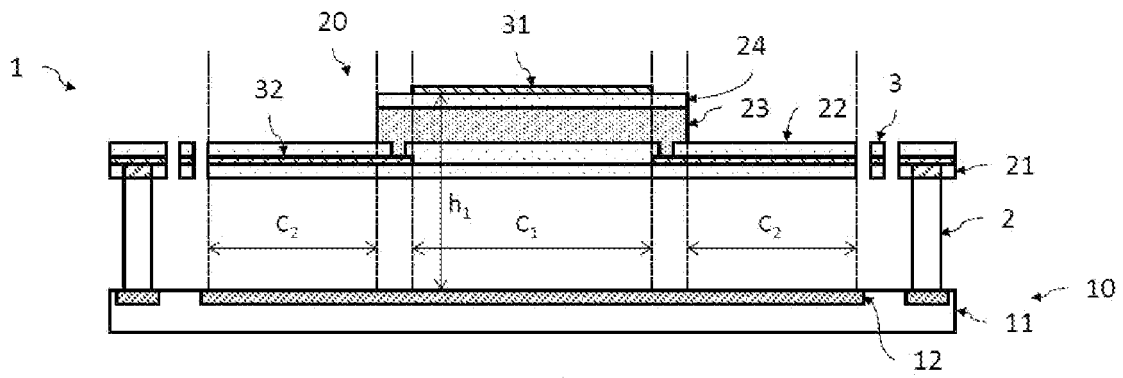


Fig.6B

[Fig. 6C]

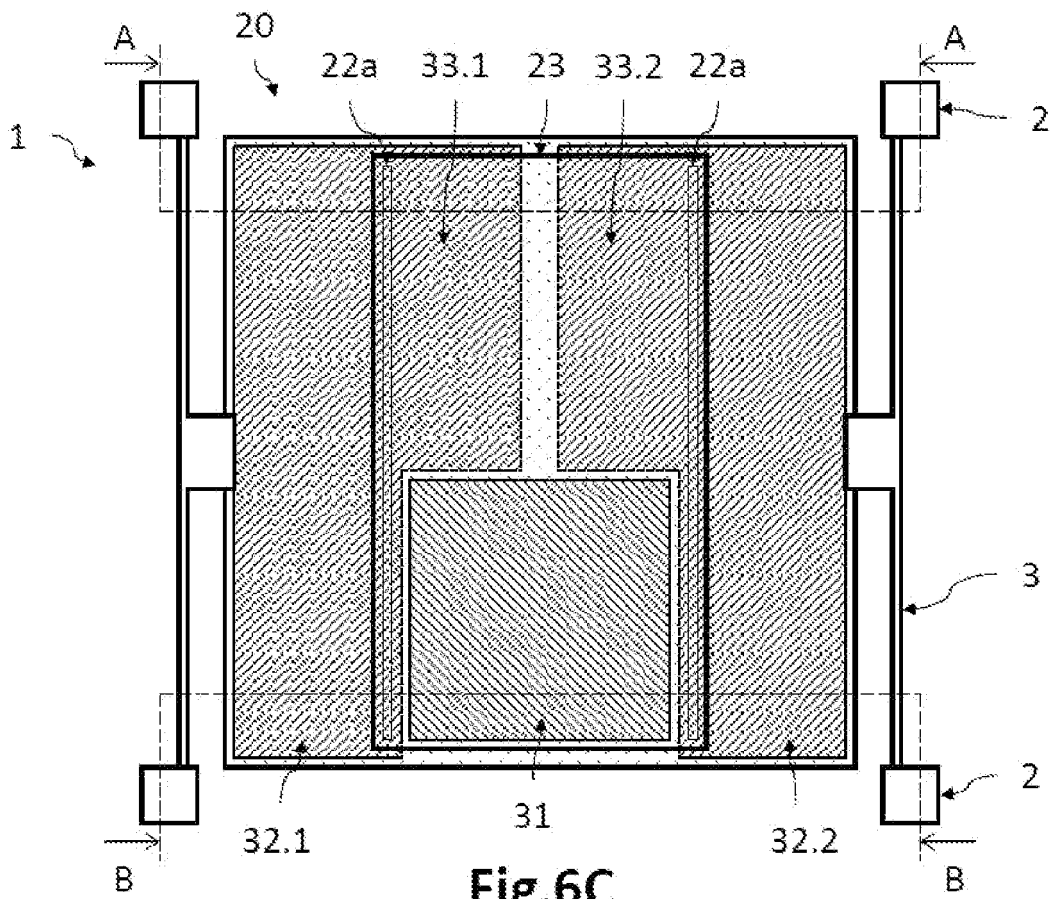


Fig.6C

[Fig. 7A]

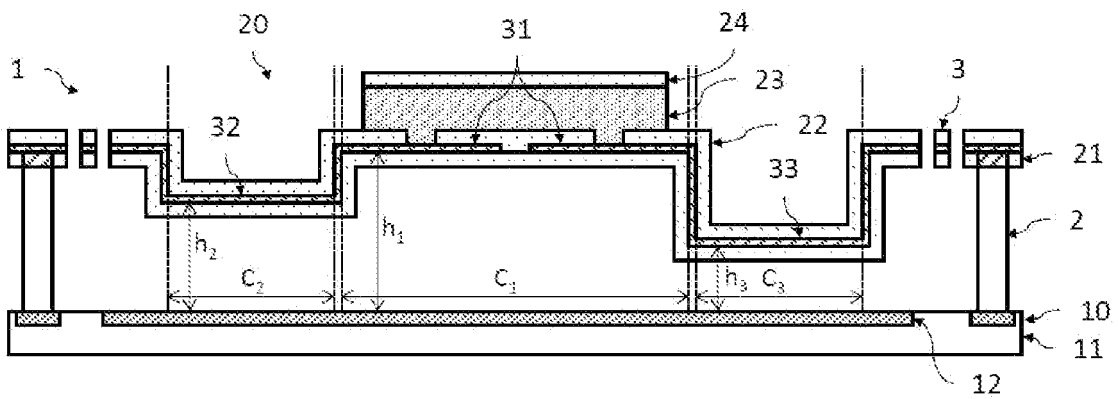


Fig.7A

[Fig. 7B]

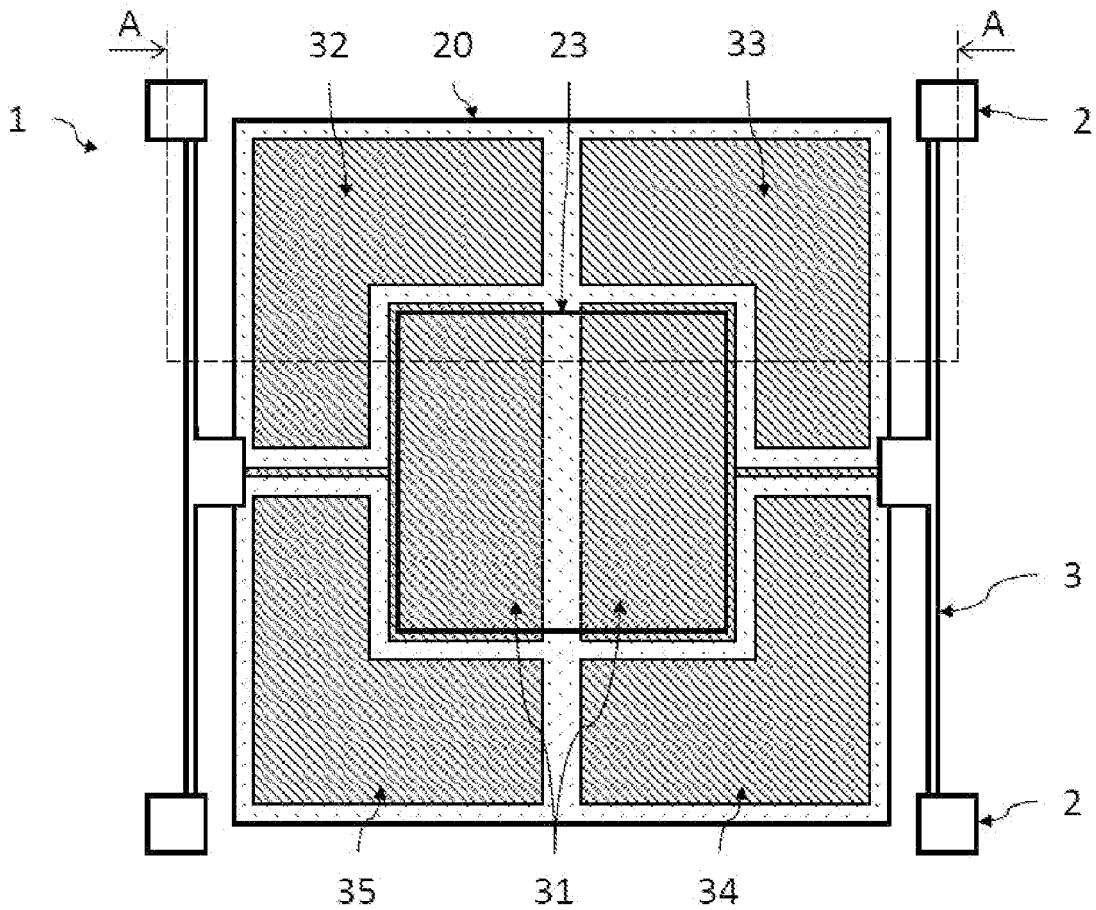


Fig.7B

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 926728
FR 2312370

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		
A	SANG-WOOK HAN ET AL: "Multilayer Fabry-Perot Microbolometers for Infrared Detection", INFRARED AND MILLIMETER WAVES AND 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TER AHERTZ ELECTRONICS, 2005. IRMMW-THZ 2005. THE JOINT 30TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WILLIAMSBURG, VA, USA 19-23 SEPT. 2005, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, vol. 2, 19 septembre 2005 (2005-09-19), pages 646-647, XP010875230, DOI: 10.1109/ICIMW.2005.1572707 ISBN: 978-0-7803-9348-6 * figure 3 *	1-10	G01J 5/20
A	WO 2020/084242 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 30 avril 2020 (2020-04-30) * figure 2B *	1-10	
A	US 2010/148067 A1 (CHEON SANG HOON [KR] ET AL) 17 juin 2010 (2010-06-17) * figure 5A *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	VARPULA AAPO ET AL: "High-performance infrared thermoelectric bolometers based on nanomembranes", SPIE PROCEEDINGS; [PROCEEDINGS OF SPIE ISSN 0277-786X], SPIE, US, vol. 11289, 26 février 2020 (2020-02-26), pages 1128910-1128910, XP060130788, DOI: 10.1117/12.2542194 ISBN: 978-1-5106-3673-6 * le document en entier *	1-10	G01J
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 avril 2024		Parise, Berengere	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2312370 FA 926728**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **24-04-2024**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2020084242 A1	30-04-2020	CN 112771356 A	07-05-2021
		EP 3870945 A1	01-09-2021
		FR 3087886 A1	01-05-2020
		KR 20210079332 A	29-06-2021
		US 2022065700 A1	03-03-2022
		WO 2020084242 A1	30-04-2020

US 2010148067 A1	17-06-2010	KR 20100069047 A	24-06-2010
		US 2010148067 A1	17-06-2010
