

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
9 janvier 2003 (09.01.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 03/002963 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ : G01J 5/40,
5/20

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : VI-
LAIN, Michel [FR/FR]; 1, rue des Terrasses, F-38450
Saint-Georges de Commiers (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR02/02096

(74) Mandataire : RINUY, SANTARELLI; 14, avenue de la
Grande Armée, B.P. 237, F-75822 Paris Cedex 17 (FR).

(22) Date de dépôt international : 18 juin 2002 (18.06.2002)

(25) Langue de dépôt : français

(81) États désignés (national) : JP, US.

(26) Langue de publication : français

(84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, CH,
CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
SE, TR).

(30) Données relatives à la priorité :
0108552 28 juin 2001 (28.06.2001) FR

Publiée :

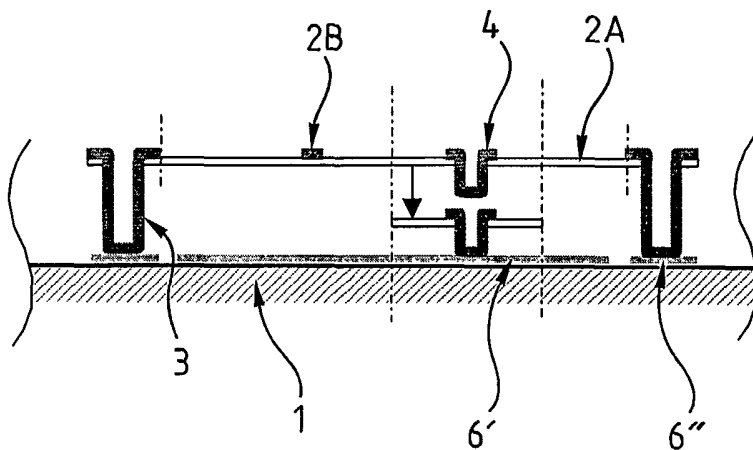
— avec rapport de recherche internationale
— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont
reçues

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : COM-
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];
31/33, rue de la Fédération, F-75752 Paris Cedex 15 (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MICROBOLOMETER AND METHOD FOR MAKING SAME

(54) Titre : MICROBOLOMETRES ET SON PROCEDE DE FABRICATION



(57) Abstract: The invention concerns a microbolometer comprising a suspended part (2) containing radiation-sensitive elements and consisting of a set of first zones (2A) and a set of second zones (2B), the two sets being superimposed; furthermore, the materials constituting said zones (2A) and (2B) have thermal expansion coefficients sufficiently different for said suspended part (2) to be deformed under the effect of a rise in temperature to be urged into contact with the substrate (1) when the contact zone reaches a temperature T_c less than the destruction temperature T_d of the microbolometer. The invention is applicable to radiation detectors

comprising an assembly of such microbolometers, and to various appliances comprising at least such a radiation detector.

(57) Abrégé: La présente invention concerne un microbolomètre comportant une partie suspendue (2) contenant un élément sensible aux rayonnements et constituée d'un ensemble de premières zones (2A) et d'un ensemble de secondes zones (2B), les deux ensembles étant superposés; de plus, les matériaux constituant lesdites zones (2A) et (2B) possèdent des coefficients de dilatation thermique suffisamment différents pour que ladite partie suspendue (2) se déforme sous l'effet d'une élévation de température au point de venir au contact du substrat (1) lorsque la zone de contact atteint une température T_c inférieure à la température de destruction T_d du microbolomètre. Application à des détecteurs de rayonnement comprenant un ensemble de tels microbolomètres, et à divers appareils comprenant au moins un tel détecteur de rayonnement.

WO 03/002963 A1



En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

MICROBOLOMETRE ET SON PROCEDE DE FABRICATION

L'invention se rapporte à la fabrication de microbolomètres, et de détecteurs de rayonnement comprenant un ensemble de microbolomètres.

5 Un bolomètre est un dispositif conçu pour mesurer l'intensité d'un rayonnement, habituellement situé dans l'infrarouge, auquel il est soumis, en transformant l'énergie de ce rayonnement en énergie thermique. L'échauffement résultant du bolomètre cause la variation d'une quantité électrique telle que la résistance électrique d'un conducteur connecté à un
10 circuit extérieur au bolomètre. Dans le cas par exemple d'un détecteur comprenant une matrice de microbolomètres, ce circuit électrique, dit « de lecture », prend en charge les fonctions d'adressage matriciel et les stimuli de lecture envoyés à chaque microbolomètre, et convertit les signaux résultants sous un format notamment exploitable pour l'imagerie (par exemple sous forme
15 de signal vidéo). Pour obtenir les meilleures performances possibles, on fait fonctionner les microbolomètres sous une pression de gaz relativement faible (ou sous pression modérée d'un gaz à faible conductivité thermique), afin que la dissipation thermique due à ce gaz soit négligeable devant la conductance thermique intrinsèque des microbolomètres.

20 Le circuit de lecture mesure la variation relative de ladite quantité électrique (attachée à l'élément sensible du bolomètre) qui dépend de la température. Dans le cas des détecteurs non refroidis (plus simples et moins coûteux que les détecteurs équipés d'un système de refroidissement), la variation de température du bolomètre est quant à elle proportionnelle à la
25 puissance de rayonnement reçue, la constante de proportionnalité (appelée « résistance thermique » et que nous désignerons par R_{thb}) étant habituellement comprise entre $5 \cdot 10^6$ et $2 \cdot 10^7$ K/W.

La **figure 1** se rapporte à un microbolomètre classique d'aire utile
40 $40 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$, de résistance thermique R_{thb} égale à 10^7 K/W et d'absorption
30 unité, placé au foyer d'une optique présentant un angle d'ouverture de 53° munie d'un filtre spectral offrant une transmission constante égale à 0,9 dans

l'infrarouge (plus précisément, dans une gamme de longueurs d'onde comprises entre 8 et 14 μm). Les courbes représentent la puissance de rayonnement reçue et l'accroissement de température du microbolomètre en fonction de la température de la source de rayonnement, considérée comme un
5 « corps noir ». Cet échauffement se produit même si le système d'imagerie n'est pas en marche (c'est-à-dire en l'absence de stimuli électriques).

Pour un microbolomètre muni d'un filtre spectral « parfait », c'est-à-dire présentant une transmission nulle pour toutes les longueurs d'onde en-dehors de la gamme précitée, la croissance de la température d'équilibre du
10 microbolomètre avec la température de la source (courbe en traits pleins) est linéaire dès que cette dernière dépasse 2000 K. Par exemple, l'observation statique d'une source telle que le soleil (environ 6000 K), provoque un accroissement de température du microbolomètre de l'ordre de 100 K.

En pratique, les filtres spectraux, même de bonne qualité, installés
15 sur les systèmes d'imagerie infrarouge ne sont pas parfaits, en ce sens qu'ils laissent passer une puissance faible, mais non nulle, de rayonnement aux longueurs d'onde situées en dehors de la plage théorique de fonctionnement du filtre. Or les sources très chaudes émettent beaucoup plus de puissance dans la gamme visible que dans l'infrarouge. De ce fait, la puissance optique
20 reçue sur le détecteur, hors gabarit infrarouge du filtre, peut être importante, et même le cas échéant prépondérante à très haute température de source, et/ou pour des filtres de qualité médiocre. Dans ce cas, l'estimation d'échauffement indiquée précédemment peut être largement inférieure à la réalité. La courbe en tirets de la figure 1 montre la variation effective de température du
25 microbolomètre quand il est muni d'un filtre « non parfait » présentant une transmission égale à 10^{-3} en-dehors de la gamme infrarouge précitée. Bien entendu, l'utilisation de résistances thermiques plus élevées, avantageuse dans les conditions normales d'utilisation puisqu'elle augmente la sensibilité du microbolomètre, entraîne un échauffement encore plus important.

30 Or les microbolomètres sont habituellement conçus pour fonctionner, et c'est un de leurs intérêts, au voisinage de la température ambiante. Mais ces

microbolomètres sont constitués de matériaux (tels que les oxydes de vanadium ou le silicium amorphe) qui présentent une altération de leurs caractéristiques électriques (et aussi éventuellement une déformation mécanique de leur structure) permanente, ou au moins durable, pour de telles élévations de température, même temporaires. Les très forts éclairagements peuvent même conduire à leur destruction physique.

De plus, même si les microbolomètres temporairement sur-éclairés ne sont pas détruits, une altération même temporaire des valeurs de résistance électrique des points d'image (probable ou inévitable au-delà de 100 à 200 K d'échauffement, pour la plupart des microbolomètres) rend inopérant le dispositif électronique de compensation de « décalage » (« *offset* » en anglais) habituellement intégré au circuit de lecture, qui a été calibré pour la distribution spatiale originelle des résistances individuelles sur le microbolomètre.

Il en résulte que l'observation, même transitoire (sur une durée de l'ordre de la constante de temps thermique du microbolomètre, soit habituellement de quelques millisecondes à quelques dizaines de millisecondes) de sources très chaudes, par exemple le filament d'une lampe à incandescence (environ 3000 K), ou le soleil, est ordinairement fatale pour ce type de dispositifs.

Les systèmes d'imagerie à base de détecteurs de type bolométrique selon l'état de l'art n'étant pas compatibles avec l'observation, même temporaire ou accidentelle, de sources très intenses, il est nécessaire de limiter l'usage de ces systèmes à des environnements par essence peu agressifs, ou de prendre des précautions contraignantes lors de l'utilisation de tels systèmes.

L'invention a pour objet de proposer des microbolomètres présentant une vulnérabilité aux sur-éclairagements moindre que les microbolomètres classiques grâce à une extension de la plage d'intensités de rayonnement admissibles, sans diminuer pour autant la sensibilité du dispositif aux intensités de rayonnement modérées.

Dans ce but, l'invention propose un procédé de fabrication de microbolomètres sur un substrat, ledit procédé étant remarquable en ce qu'il comprend notamment, pour chaque microbolomètre, les étapes suivantes :

5 - le dépôt et la gravure de plusieurs couches, dont un ensemble de couches destiné à constituer une partie suspendue du microbolomètre contenant un élément sensible aux rayonnements, et

- la formation dans ladite partie suspendue d'un ensemble de premières zones et d'un ensemble de secondes zones, les deux ensembles étant superposés,

10 et en ce que les matériaux constituant lesdites premières zones possèdent des coefficients de dilatation thermique suffisamment différents des matériaux constituant lesdites secondes zones pour que la partie suspendue se déforme sous l'effet d'une élévation de température au point de venir au contact du substrat lorsque la zone de contact atteint une température T_c inférieure à la
15 température de destruction T_d du microbolomètre.

Grâce à ces dispositions, à partir du moment où la partie suspendue du microbolomètre, en cours d'utilisation, atteint ladite température T_c , cette partie se refroidit du fait de son contact avec le substrat. Les microbolomètres selon l'invention peuvent par conséquent supporter une gamme de
20 températures de scène considérablement étendue par rapport aux microbolomètres selon l'art antérieur.

On notera que les microbolomètres selon l'invention peuvent être intégralement fabriqués à l'aide de techniques relevant de la microélectronique, et ce de manière collective.

25 Corrélativement, l'invention concerne un microbolomètre comportant une partie suspendue contenant un élément sensible aux rayonnements, ledit microbolomètre étant remarquable en ce que ladite partie suspendue est constituée d'un ensemble de premières zones et d'un ensemble de secondes zones, les deux ensembles étant superposés, et en ce que les matériaux
30 constituant lesdites premières zones possèdent des coefficients de dilatation thermique suffisamment différents des matériaux constituant lesdites secondes

zones pour que ladite partie suspendue se déforme sous l'effet d'une élévation de température au point de venir au contact du substrat lorsque la zone de contact atteint une température T_c inférieure à la température de destruction T_d du microbolomètre.

5 Ainsi, les microbolomètres selon l'invention comportent, de par leur constitution même, les éléments propres à leur protection contre les hautes températures de scène.

 Lesdites premières zones pourront, selon les besoins particuliers de l'homme du métier, être situées soit « au-dessous » soit « au-dessus » desdites
10 secondes zones. Compte tenu que les premières zones peuvent, au choix, posséder un coefficient de dilatation thermique inférieur ou supérieur à celui des secondes zones, la partie suspendue du microbolomètre selon l'invention se déformera sous l'effet d'un accroissement de température selon une forme qui pourra être convexe ou concave.

15 Selon des caractéristiques préférées, le microbolomètre selon l'invention présentera des protubérances émergeant de la partie suspendue et tournées vers le substrat, et/ou des protubérances émergeant du substrat et tournées vers la partie suspendue.

 Grâce à ces dispositions, lorsque la partie suspendue vient,
20 conformément à l'invention, au contact du substrat, les zones de contact effectives se trouvent limitées au sommet desdites protubérances. On évite ainsi que la partie suspendue n'adhère trop fortement au substrat, et l'on facilite donc le retour de la partie suspendue vers sa position nominale lorsque le microbolomètre se refroidit.

25 Selon d'autres caractéristiques préférées, la partie suspendue du microbolomètre comprend des bras de maintien reposant localement sur le substrat par l'entremise de piliers.

 Grâce à ces dispositions, la partie suspendue est fermement retenue, même quand elle se déforme sous l'effet d'un accroissement de
30 température, par ces bras de maintien, qui, quant à eux, se dilateront

relativement peu puisque l'une de leurs extrémités est maintenue à la température du substrat par l'intermédiaire desdits piliers.

On notera enfin que, selon les choix de matériaux et de structure faits par l'homme du métier, la zone de la partie suspendue du microbolomètre destinée à venir au contact du substrat à la température T_c pourra comprendre le centre de la partie suspendue, ou pourra être éloignée de ce centre.

L'invention concerne aussi des détecteurs de rayonnement comprenant chacun un ensemble de microbolomètres tels que décrits succinctement ci-dessus, et divers appareils d'observation ou de mesure incorporant au moins un tel détecteur de rayonnement. Ces appareils peuvent par exemple être des systèmes d'imagerie opérant dans l'infrarouge.

D'autres aspects et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée, que l'on trouvera ci-dessous, de modes particuliers de réalisation donnés à titre d'exemples non limitatifs. Cette description se réfère aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 représente la température atteinte par un microbolomètre classique en fonction de la température de corps noir de la source,
- la figure 2a est une vue de dessus de l'ensemble obtenu après une première étape dans la fabrication de microbolomètres selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 2b est une vue en coupe selon la ligne AA de l'ensemble illustré sur la figure 2a,
- la figure 3a est une vue de dessus de l'ensemble obtenu après une deuxième étape dans la fabrication de microbolomètres selon le premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 3b est une vue en coupe selon la ligne AA de l'ensemble illustré sur la figure 3a,
- la figure 4a est une vue de dessus de l'ensemble obtenu après une troisième étape dans la fabrication de microbolomètres selon le premier mode de réalisation de l'invention,

- la figure 4b est une vue en coupe selon la ligne AA de l'ensemble illustré sur la figure 4a,

- la figure 5a est une vue de dessus de l'ensemble obtenu après une quatrième étape dans la fabrication de microbolomètres selon le premier mode
5 de réalisation de l'invention,

- la figure 5b est une vue en coupe selon la ligne AA de l'ensemble illustré sur la figure 5a,

- la figure 6a est une vue de dessus de l'ensemble obtenu après une cinquième et dernière étape dans la fabrication de microbolomètres selon le
10 premier mode de réalisation de l'invention,

- la figure 6b est une vue en coupe selon la ligne AA de l'ensemble illustré sur la figure 6a,

- les figures 7a et 7b illustrent le fonctionnement d'un microbolomètre construit selon le premier mode de réalisation de l'invention, la figure 7a étant
15 une vue de dessus et la figure 7b une vue en coupe selon la ligne AA de la figure 7a,

- les figures 8a et 8b illustrent le fonctionnement d'un microbolomètre construit selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, la figure 8a étant une vue de dessus et la figure 8b une vue en coupe selon la ligne AA de
20 la figure 8a, et

- la figure 9 est un graphique de la température atteinte par un microbolomètre selon l'invention en fonction de la puissance du rayonnement reçu.

On va décrire pour commencer les étapes successives d'un procédé
25 de fabrication de microbolomètres selon un premier mode de réalisation de l'invention.

Les **figures 2a et 2b** présentent respectivement une vue de dessus et une coupe locale de l'ensemble obtenu après une première étape de ce procédé.

30 Au départ, on dispose de manière classique, dans un substrat 1 (habituellement de silicium, et de quelques μm d'épaisseur), des circuits

électriques (non représentés) aptes à fournir, d'une part, les stimuli de lecture pour les microbolomètres, et d'autre part le traitement du signal résultant de l'éclairage de ces microbolomètres à travers une optique adaptée.

Les microbolomètres sont disposés habituellement de manière à
5 former une matrice ou une barrette. La dimension habituelle d'un microbolomètre élémentaire dans chaque direction parallèle au substrat 1 est ordinairement de l'ordre de 20 à 50 μm .

Les procédés de fabrication classiques de détecteurs de ce type comprennent des étapes initiales réalisées directement à la surface d'un circuit
10 électrique, de manière dite monolithique (c'est-à-dire dans une séquence continue d'opérations sur le même substrat) ou hybride (avec report sur un substrat d'éléments préfabriqués). Ces étapes font intervenir des techniques usuelles de l'industrie microélectronique, notamment des techniques de fabrication collective, concernant habituellement quelques dizaines à quelques
15 centaines de détecteurs disposés sur un même substrat (« *wafer level* » en anglais). Au cours de ces étapes initiales, on met en place les organes proprement bolométriques assurant les fonctions d'absorption optique et de résistance variable avec la température, à la surface d'une couche « sacrificielle », en ce sens que cette couche (ordinairement faite de polyimide,
20 de silicium polycristallin, ou de métal tel que du cuivre ou de l'aluminium) est éliminée en fin de processus (par combustion dans un plasma d'oxygène par exemple dans le cas du polyimide), de manière à laisser les structures du microbolomètre suspendues au-dessus du substrat.

Grâce à ce procédé d'élaboration, on peut maintenir l'espacement
25 entre deux microbolomètres voisins à une cote minimale, de manière à permettre leur séparation physique et électrique avec un taux de remplissage (« *fill factor* » en anglais) maximal.

On supposera pour simplifier la présente description que chaque microbolomètre ne présente aucune partie commune avec les microbolomètres
30 voisins. Dans les autres cas, l'homme du métier saura adapter les étapes de fabrication en faisant usage de ses capacités ordinaires.

Conformément à l'art établi, on dépose sur le substrat 1 une couche métallique 6, par exemple en aluminium, qui est définie par gravure suivant, par exemple, le contour indiqué sur la figure 2a (trait pointillé) grâce à un premier masque lithographique. Cette couche 6 comprend une ou plusieurs parties 6' dont le rôle est de réfléchir le rayonnement infrarouge traversant le microbolomètre afin d'améliorer son rendement d'absorption, et plusieurs parties 6'' servant de points de contact électrique avec le circuit de lecture logé dans le substrat 1.

On dépose ensuite une couche sacrificielle 7, par exemple de polyimide, qu'on recuira à une température suffisante pour qu'elle puisse supporter la suite des opérations. De préférence, cette couche 7 aura environ 2,5 μm d'épaisseur, afin d'optimiser le rendement optique du bolomètre (par constitution d'une cavité « quart d'onde » après élimination de cette couche sacrificielle) pour des longueurs d'onde comprises dans le domaine infrarouge.

Selon ce premier mode de réalisation de l'invention, on dépose ensuite sur cette couche 7 une couche 8 de matériau sensible aux variations de température, par exemple 1000 Å de silicium amorphe, de résistivité adéquate, puis une couche 9 d'un matériau isolant électrique tel que l'oxyde de silicium, de 50 à 200 Å d'épaisseur par exemple.

Cette couche 9 est ensuite gravée en regard de la zone 6' à l'aide d'un second masque lithographique, selon le contour illustré par un trait plein sur la figure 2a. On dépose ensuite une couche 10 qui recouvre à la fois la couche gravée 9, et la couche 8 au-delà de la couche gravée 9. Cette couche 10, qui est faite d'un matériau métallique tel que le nitrure de titane TiN, fournira les électrodes de la partie sensible du microbolomètre, et servira également d'absorbeur infrarouge. Afin d'optimiser le rendement du microbolomètre, elle présentera de préférence une résistance de couche d'environ 400 Ω , ce qui correspond habituellement à une épaisseur inférieure à 100 Å.

Dans une deuxième étape de ce mode de réalisation, illustrée sur les figures 3a et 3b, on grave à l'aide d'un troisième masque lithographique, par un procédé de gravure sèche adéquat, les couches 10, 9, et 8, puis une

partie de la couche 7. On dépose ensuite sur la couche 10 et dans les zones gravées une couche métallique 11, de préférence en aluminium et d'épaisseur comprise entre 500 et 2000 Å.

Cette gravure définit au moins une première ouverture en regard
5 d'une zone 6', de dimensions relativement réduites devant les dimensions du microbolomètre. Comme on peut le voir sur la figure 3b, la profondeur de gravure dans la couche 7 définit la hauteur de protubérances 4 de la couche 11 associées à ces premières ouvertures. Cette hauteur sera de préférence comprise entre de 0,5 µm et 1,5 µm, afin de laisser une marge suffisante entre
10 l'extrémité des protubérances 4 et la surface de la couche 6.

Lors d'une troisième étape, représentée sur les **figures 4a et 4b**, on définit, à l'aide d'un quatrième masque lithographique, des secondes ouvertures situées en regard des zones 6'' et qui permettront, à l'aide d'un procédé de gravure sèche adapté, de graver les couches 11, 10, 8, et 7 sur
15 toute leur épaisseur jusqu'à déboucher sur la surface des couches 6''.

Le choix de l'aluminium pour la couche 11 permet d'utiliser ce dernier comme contre-masque minéral pour la gravure de cette séquence de matériaux.

On dépose ensuite au moins une couche essentiellement métallique,
20 afin de réaliser des parties 3 associées auxdites secondes ouvertures. Ces parties 3 sont délimitées en surface par gravure à l'aide d'un cinquième masque lithographique représenté sur la figure 4a. On vient de réaliser des piliers de maintien de la structure mécanique, ainsi que les connexions électriques entre le circuit de lecture et les futures électrodes (voir figures 5a et
25 5b) du microbolomètre.

On a choisi, dans ce mode de réalisation, un dessin à quatre piliers 3, mais d'autres choix sont possibles, en gardant à l'esprit la nécessité de produire des structures relativement rigides, comme expliqué plus bas.

Lors d'une quatrième étape, on utilise un sixième masque
30 lithographique pour définir par gravure chimique des motifs dans la couche 11, comme représenté sur les **figures 5a et 5b**. Ces motifs comprennent au moins

une surface 2B au dessin essentiellement allongé, dont la direction est indiquée par l'axe Y sur les figures, et dont les extrémités se situent au niveau des protubérances 4, qui doivent donc être protégées, ainsi qu'accessoirement les zones 3, lors de cette gravure chimique.

5 L'ensemble des couches 8, 9, et 10, (essentiellement la couche 8 dans ce mode de réalisation) définit une partie 2A, qui, conformément à l'invention, présente un coefficient de dilatation thermique sensiblement différent de celui de la partie 2B, les parties 2A et 2B étant superposées et formant ensemble la partie suspendue 2 du microbolomètre. Si, par exemple,
10 on utilise de l'aluminium pour les parties 2B, celles-ci posséderont un coefficient de dilatation thermique égal à 25 ppm/K, alors que le silicium dont est fait la couche 8 possède un coefficient de dilatation thermique égal à 5 ppm/K. On pourra en variante choisir de réaliser les parties 2B en d'autres matériaux présentant les mêmes propriétés, tels que le nitrure de silicium, le
15 nitrure de titane, le tungstène ou le siliciure de tungstène ; ce faisant, on privilégiera les matériaux offrant un module d'élasticité élevé, par comparaison avec les matériaux constituant les parties 2A, afin de favoriser la déformation de la structure globale sous l'effet de la chaleur, comme décrit plus bas en référence aux figures 7a et 7b.

20 A l'aide d'un septième masque lithographique, on grave ensuite localement la couche métallique 10 de manière à la séparer en parties formant électrodes 10A, situées notamment au niveau des zones 3, et en parties formant absorbeur infrarouge 10B, comme le montrent les figures 5a et 5b. On notera que dans cet exemple de réalisation, les parties 2B sont en contact
25 électrique, d'une part, avec les parties 10B sur toute leur surface, et d'autre part avec l'élément sensible 8 du détecteur par l'entremise des protubérances 4. C'est la raison pour laquelle on doit, dans ce mode de réalisation, séparer le conducteur 10B en zones électriquement isolées contenant chacune une seule
30 partie 2B, afin d'éviter de court-circuiter cet élément sensible (résistance électrique) 8. La figure 5a montre (en traits pleins) les zones de séparation

entre les parties 10A et 10B, ainsi qu'entre les parties 10B elles-mêmes, toutes ces zones de séparation étant ici orientées parallèlement à l'axe Y.

D'autres contours auraient pu être retenus pour les divers polygones définis par le septième masque, aussi bien pour les polygones reliés au circuit de lecture (tels que 10A), que pour le ou les polygones à potentiel flottant (tels que 10B), à condition naturellement que les points mis en court-circuit par la ou les zones 2B soient équipotentiels. Dans le cas contraire, l'homme de l'art saura prendre les précautions nécessaires pendant l'assemblage, en intercalant par exemple une couche diélectrique d'isolement au bon endroit, ou même en utilisant un matériau isolant pour les parties 2B.

Enfin, lors d'une cinquième étape, on utilise un huitième et dernier masque lithographique pour définir le contour final des microbolomètres par gravure sèche des couches 10A et 8 (ainsi que partiellement de la couche 7), comme représenté sur les **figures 6a et 6b**. Ce contour préserve la partie centrale 10B, optiquement active, du microbolomètre, et définit des bras d'isolation thermique 12 (au nombre de quatre dans cet exemple de réalisation), qui ont un effet important sur la valeur prise par la résistance thermique R_{thb} « propre » du microbolomètre, c'est-à-dire de sa partie suspendue. Dans ce premier mode de réalisation, ces bras 12 s'étendent parallèlement à l'axe Y, à gauche et à droite, et de part et d'autre, de la partie médiane de la partie suspendue 2.

Cette suite d'étapes de fabrication se termine par l'élimination de la couche sacrificielle 7 par oxydation sèche, selon des techniques bien connues.

On a ainsi obtenu, grâce à ce procédé selon l'invention, un microbolomètre comportant une partie suspendue 2 contenant un élément sensible aux rayonnements et constituée d'un ensemble de premières zones 2A et d'un ensemble de secondes zones 2B, les deux ensembles étant superposés, et les matériaux constituant les premières zones 2A possédant des coefficients de dilatation thermique sensiblement différents.

Le fonctionnement d'un microbolomètre selon ce premier mode de réalisation de l'invention est illustré sur les **figures 7a et 7b**.

La température du substrat T_{sub} est généralement contrôlée par un système adéquat, à une température modérée (ordinairement, légèrement supérieure à la température ambiante) pour des raisons de stabilité temporelle des points de fonctionnement électrique du circuit de lecture et des microbolomètres (hors fonctionnement, la température T_{sub} est simplement égale à la température ambiante). La température des microbolomètres dépend de la température de la source observée, comme on l'a mentionné en introduction, ainsi que du mode de lecture (c'est-à-dire de la façon d'appliquer les stimuli de lecture de la température, via le circuit électrique). En général, la température moyenne T_{bol} des microbolomètres sera plus élevée que celle du substrat, la différence allant de quelques degrés à quelques dizaines de degrés.

En cas d'échauffement excessif, par exemple dû à un sur-éclairage transitoire ou durable, les bras 12 se dilateront relativement peu, grâce au choix des matériaux constitutifs, et aussi parce qu'une de leurs extrémités est maintenue à la température du substrat par l'intermédiaire des piliers 3. On peut considérer, en première approximation, que l'ensemble des structures comprenant les piliers 3, les bras de maintien 12, et les zones de raccordement à gauche et à droite de la zone centrale du microbolomètre sur la figure 7a, ne subit pas de déformation. Il en va de même, par symétrie, de la zone située le long du trait médian (en tirets) parallèle à l'axe X : toutes ces zones restent sensiblement à la même distance du substrat en l'absence de contact mécanique avec lui. En revanche, les zones situées de part et d'autre de ce trait en tirets se courbent vers le bas en raison de la dilatation thermique différentielle entre les parties 2A et 2B, jusqu'à ce qu'elles viennent localement en contact (ici, par l'intermédiaire des sommets des protubérances 4) avec le substrat 1 (ici, avec la couche 6'), à une température bien précise T_c .

Comme le montre la figure 7b entre les traits mixtes, les protubérances 4 limitent la surface de contact entre la partie suspendue 2 du microbolomètre et le substrat 1. Cette disposition facilite le retour de la partie 2 vers sa position nominale lorsque le microbolomètre se refroidit, sans quoi les

forces d'adhérence surfaciques pourraient la maintenir en position plaquée au substrat.

Afin d'obtenir un contact ferme des protubérances 4 sur le réflecteur 6, il est avantageux de choisir une structure de rigidité élevée. Cette rigidité est également nécessaire pour assurer un retour vers leur position initiale des parties déformées, après que la partie 2 soit venue localement en contact avec le substrat 1 : l'énergie élastique emmagasinée dans la structure lors de la dilatation thermique pourra contribuer au « décollement » des surfaces en contact lors du refroidissement. On prévoira donc un nombre suffisant de points d'appui, et de préférence une configuration coaxiale des bras de maintien.

En revanche, la multiplication des points d'appui et des bras de maintien s'accompagne en principe d'une diminution de la résistance thermique propre du microbolomètre, ainsi que de sa surface utile, et donc de ses performances.

Une variante de réalisation de l'invention consiste à réaliser, lors d'une étape préliminaire aux étapes décrites ci-dessus, des protubérances de contact 5 sur la surface du substrat 1. Ces protubérances 5, qui sont de surface réduite par rapport à la surface du microbolomètre, peuvent le cas échéant être obtenues au moyen de la topographie naturelle du circuit de lecture, sans autre artifice ou précaution qu'un positionnement judicieux sous la partie suspendue du microbolomètre. Si l'on choisit cette variante, il peut être inutile de prévoir des protubérances 4 sur le microbolomètre, et l'on peut donc économiser le masque lithographique et les procédés associés destinés à l'élaboration des protubérances 4 (c'est-à-dire s'abstenir de graver la couche 7 lors de l'étape décrite en référence aux figures 3a et 3b).

Un deuxième mode de réalisation de l'invention, représenté sur les **figures 8a et 8b**, consiste à mettre en œuvre essentiellement les mêmes étapes de fabrication que le premier mode de réalisation, si ce n'est que l'on dispose les parties 2B « au-dessous » des parties 2A.

On peut, ici aussi, prévoir des protubérances 4 sur la partie suspendue, ou des protubérances 5 sur le substrat 1, ou les deux types à la

fois. Sur les figures 8a et 8b, on a choisi à titre d'exemple de représenter des protubérances du deuxième type 5, qui sont situées en regard de l'axe médian (en tirets et parallèle à l'axe X sur la figure 8a) de la partie suspendue 2. La figure 8b montre entre les traits mixtes comment la partie suspendue 2 se déforme sous l'effet de la chaleur jusqu'à ce que la zone située le long de cet axe médian vienne localement au contact des protubérances 5.

Ce deuxième mode de réalisation permet, par comparaison avec le premier, de disposer plus aisément les zones de contact 4 ou 5 au voisinage du centre du microbolomètre. En effet, la déformation thermique conduit, dans ce mode de réalisation, à une surface 2 concave, de sorte que ce sont les zones situées le long dudit axe médian qui s'abaissent le plus vers le substrat 1 quand la température augmente, contrairement au premier mode de réalisation dans lequel l'élévation de température conduit à une surface 2 convexe.

On notera que les bras de maintien 12 s'étendent ici le long de la direction X perpendiculaire à la direction Y le long de laquelle s'étendent les parties 2B, afin de retenir efficacement la partie suspendue 2, lors de son abaissement central, au niveau du milieu de chaque bras 12.

Bien entendu, la nature de ces déformations est inversée si la partie 2B est réalisée avec des matériaux à coefficient de dilatation thermique plus faible que ceux de la partie 2A. L'homme de l'art a naturellement la liberté de définir ses matériaux, et aussi d'adapter les positions relatives des constituants, en fonction de ses besoins pratiques, tout en restant dans la portée de l'invention.

En particulier, dans le but de simplifier la fabrication de détecteurs de rayonnement selon l'invention, mais au prix d'une fiabilité réduite, on pourra omettre toutes les protubérances 4 et 5.

Les effets de l'invention sont illustrés (avec des échelles arbitraires) sur la **figure 9**, qui est un graphique de la température atteinte par un microbolomètre en fonction de la puissance P du rayonnement reçu.

Le contact mécanique, à $T = T_c$, de la partie suspendue 2 et du substrat 1 est suivi d'un abaissement de température de l'ensemble de la partie

2, par conduction thermique, puisque $T_{\text{sub}} < T_c$. On appellera R_{thc} la résistance thermique de contact. R_{thc} dépend de l'aire effective du contact, de la nature des matériaux en contact, de la configuration géométrique (forme des parties 2A et 2B, nombre et forme des éventuelles zones de contact au sommet des protubérances 4 ou 5), et de la nature des matériaux constituant les parties 2.

On notera à cet égard que, dans le cas où l'on choisit un mode de réalisation comportant des protubérances 4 ou 5, la limitation de la surface de contact qui en résulte a pour effet de réduire la vitesse de refroidissement de la partie suspendue 2 au contact du substrat 1. L'homme du métier devra donc rechercher le meilleur compromis entre facilité de décollement et vitesse de refroidissement.

Une fois la partie 2 au contact du substrat, la résistance thermique globale, qu'on désignera par R_{thg} , est constituée de deux résistances en parallèle, soit :

$$R_{\text{thg}} = R_{\text{thc}} \cdot R_{\text{thb}} / (R_{\text{thc}} + R_{\text{thb}})$$

(on rappelle que R_{thb} désigne la résistance thermique « propre » du microbolomètre).

En fonction du choix des matériaux, du dessin et de la construction des divers éléments selon l'invention, l'homme de l'art pourra obtenir des résistances de contact R_{thc} de l'ordre de quelques 10^5 à 10^6 K/W, c'est-à-dire des valeurs qui seront aisément de dix à cent fois inférieures à la résistance thermique propre du microbolomètre. La résistance thermique globale R_{thg} sera donc de l'ordre de la résistance de contact R_{thc} .

Pour les valeurs modérées de P, la température croît linéairement, de manière classique. Pour des puissances reçues de l'ordre de $(T_c - T_{\text{sub}})/R_{\text{thb}}$, le microbolomètre selon l'invention oscille (mécaniquement et en température), à cause de l'alternance de phases de refroidissement au contact du substrat et de réchauffement après perte de contact.

Pour des valeurs supérieures de la puissance reçue, la partie 2 se maintient en permanence au contact du substrat, à une température moyenne voisine de $(T_{\text{sub}} + P \cdot R_{\text{thg}})$.

Les valeurs de R_{thg} étant par hypothèse nettement inférieures à R_{thb} , les excursions accidentelles en température en cas de sur-éclairage sont modérées par rapport aux excursions (représentées par la droite en pointillés sur la figure 9) qu'aurait atteintes un microbolomètre classique.

5 Désignons par T_d la température à partir de laquelle le microbolomètre doit être considéré comme détérioré ou détruit, et par P_d la puissance reçue correspondante. Pour une valeur donnée de T_d , l'invention permet, par comparaison avec l'art antérieur, d'augmenter la puissance applicable avant destruction par un facteur égal à

10
$$P_{d2}/P_{d1} = R_{thb}/R_{thg},$$

facteur de l'ordre de la dizaine ou de la centaine selon les détails de construction du microbolomètre.

Dans la description ci-dessus, on a fait référence à des microbolomètres pour fixer les idées, mais en fait les détecteurs élémentaires
15 concernés par l'invention peuvent être de multiples natures, et pas seulement des microbolomètres ; de même, la gamme de longueurs d'onde qu'ils peuvent détecter ne se limite nullement à l'infrarouge, et les applications de ces détecteurs concernent de multiples domaines (par exemple, la spectroscopie), et pas seulement l'imagerie. On pourra faire bénéficier de l'invention, dans ses
20 divers aspects, divers dispositifs pouvant souffrir d'un échauffement excessif lors de leur utilisation, tels que par exemple des MEMS (initiales des mots anglais " *Micro-Electro-Mechanical Systems* ", c'est-à-dire " *Systèmes Electro-Mécaniques Microscopiques* ").

REVENDEICATIONS

1. Microbolomètre comportant une partie suspendue (2) contenant
5 un élément sensible aux rayonnements, caractérisé en ce que ladite partie
suspendue (2) est constituée d'un ensemble de premières zones (2A) et d'un
ensemble de secondes zones (2B), les deux ensembles étant superposés, et
en ce que les matériaux constituant lesdites premières zones (2A) possèdent
10 des coefficients de dilatation thermique suffisamment différents des matériaux
constituant lesdites secondes zones (2B) pour que ladite partie suspendue (2)
se déforme sous l'effet d'une élévation de température au point de venir au
contact du substrat (1) lorsque la zone de contact atteint une température T_c
inférieure à la température de destruction T_d du microbolomètre.

2. Microbolomètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que
15 lesdites premières zones (2A) sont situées « au-dessous » desdites secondes
zones (2B).

3. Microbolomètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que
lesdites premières zones (2A) sont situées « au-dessus » desdites secondes
zones (2B).

20 4. Microbolomètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,
caractérisé en ce que les premières zones (2A) possèdent un coefficient de
dilatation thermique inférieur à celui des secondes zones (2B).

5. Microbolomètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,
caractérisé en ce que les premières zones (2A) possèdent un coefficient de
25 dilatation thermique supérieur à celui des secondes zones (2B).

6. Microbolomètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 5,
caractérisé en ce que la partie suspendue (2) présente des protubérances (4)
tournées vers le substrat (1).

7. Microbolomètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 5,
30 caractérisé en ce que le substrat (1) présente des protubérances (5) tournées
vers la partie suspendue (2).

8. Microbolomètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la partie suspendue (2) comprend des bras de maintien (12) reposant localement sur le substrat (1) par l'entremise de piliers (3).

9. Microbolomètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ladite zone de contact comprend le centre de la partie suspendue (2).

10. Microbolomètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ladite zone de contact est éloignée du centre de la partie suspendue (2).

11. Procédé de fabrication de microbolomètres sur un substrat (1), caractérisé en ce qu'il comprend notamment, pour chaque microbolomètre, les étapes suivantes :

- le dépôt et la gravure de plusieurs couches, dont un ensemble de couches destiné à constituer une partie suspendue (2) du microbolomètre contenant un élément sensible aux rayonnements, et

- la formation dans ladite partie suspendue (2) d'un ensemble de premières zones (2A) et d'un ensemble de secondes zones (2B), les deux ensembles étant superposés,

et en ce que les matériaux constituant lesdites premières zones (2A) possèdent des coefficients de dilatation thermique suffisamment différents des matériaux constituant lesdites secondes zones (2B) pour que la partie suspendue (2) se déforme sous l'effet d'une élévation de température au point de venir au contact du substrat (1) lorsque la zone de contact atteint une température T_c inférieure à la température de destruction T_d du microbolomètre.

12. Procédé de fabrication selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend l'élaboration de protubérances (4) émanant de la partie suspendue (2) et tournées vers le substrat (1).

13. Procédé de fabrication selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend l'élaboration de protubérances (5) émanant du substrat (1) et tournées vers la partie suspendue (2).

14. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, caractérisé en ce qu'il comprend l'élaboration de piliers (3) reposant sur le substrat (1), et de bras (12) de la partie suspendue (2) reposant localement sur lesdits piliers (3).
- 5 15. Microbolomètre fabriqué au moyen d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 14.
16. Détecteur de rayonnement comprenant un ensemble de microbolomètres selon la revendication 15 et/ou l'une quelconque des revendications 1 à 10.
- 10 17. Appareil d'observation ou de mesure, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un détecteur de rayonnement selon la revendication 16.

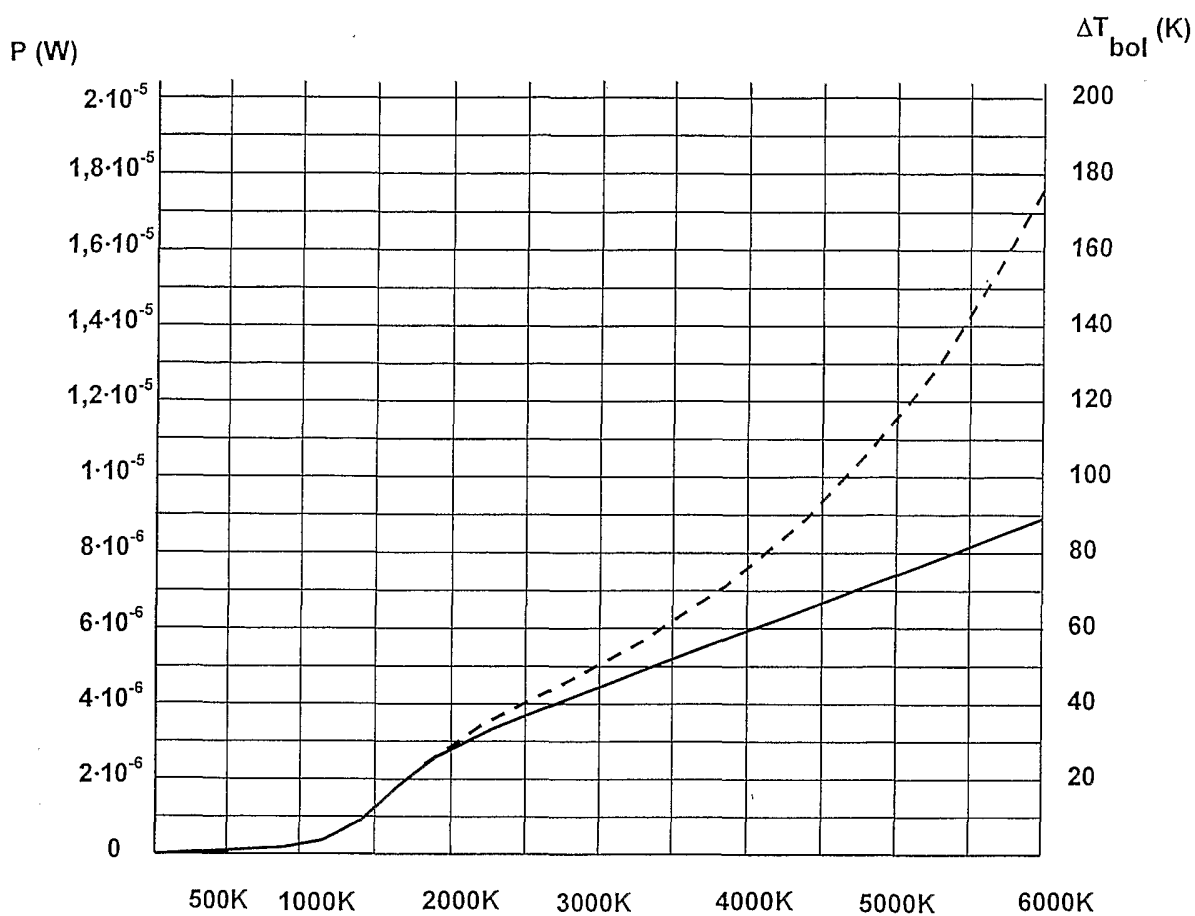


Fig. 1

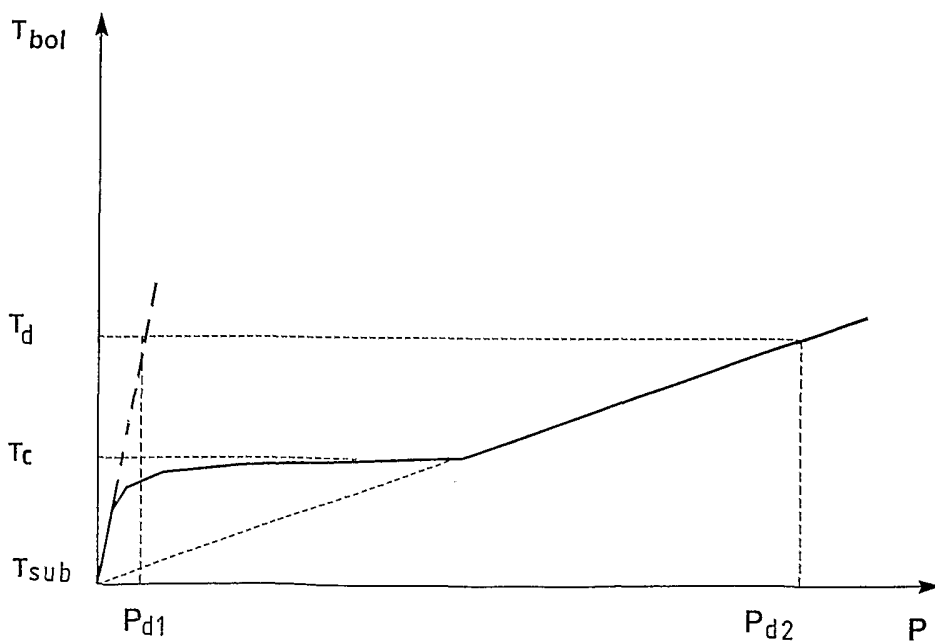


Fig. 9

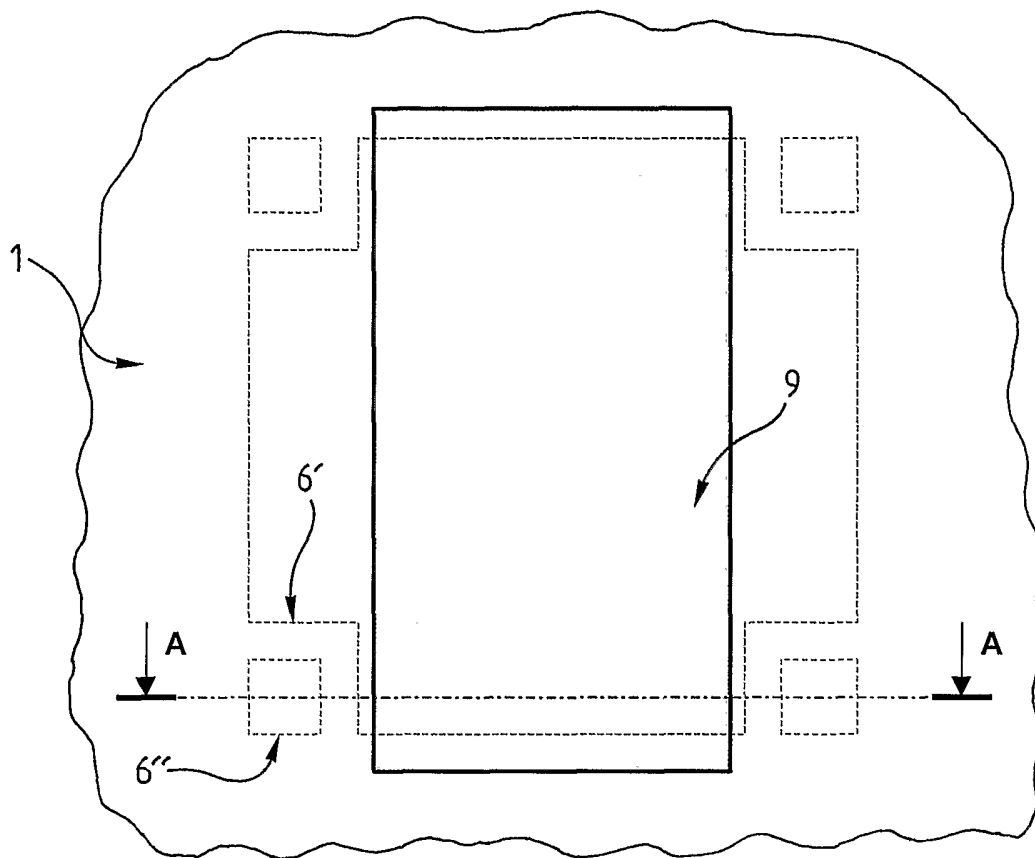


Fig. 2a

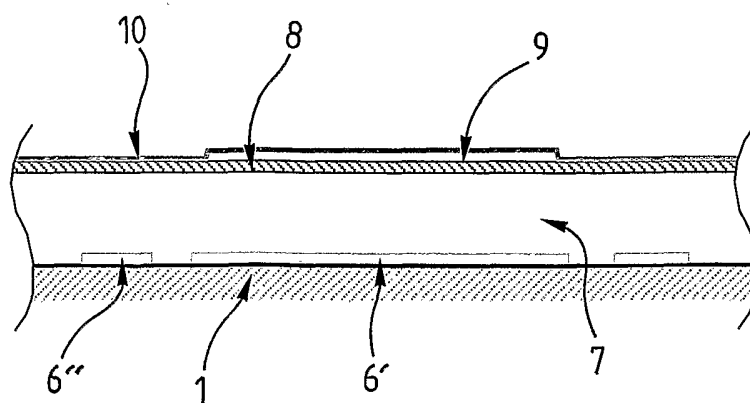


Fig. 2b

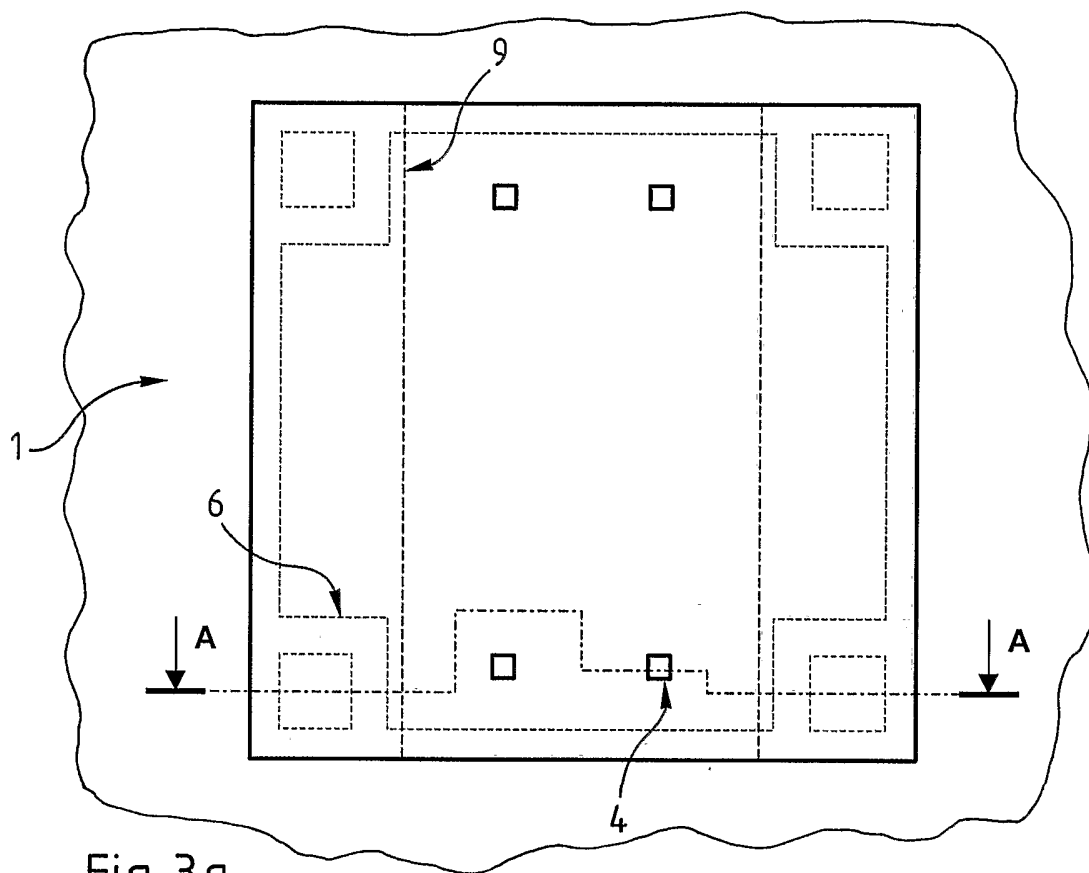


Fig. 3a

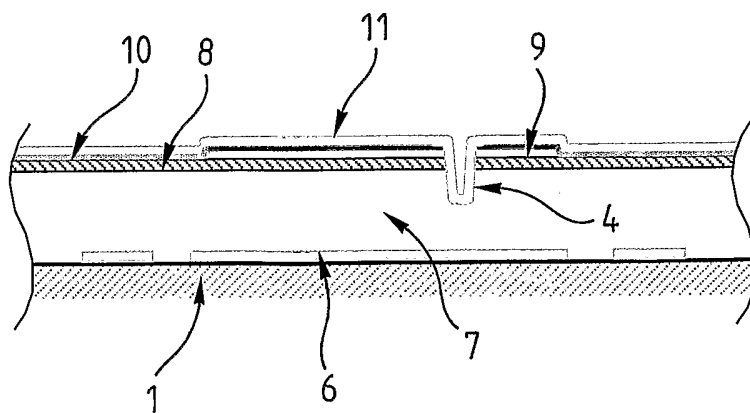


Fig. 3b

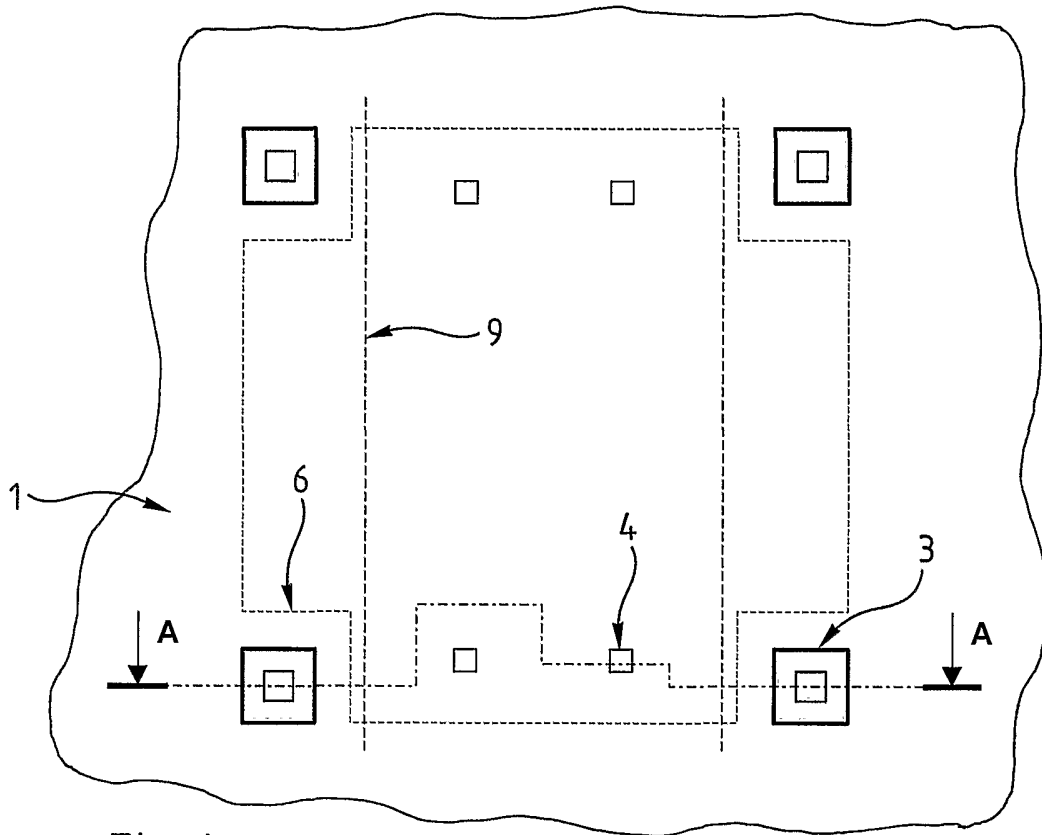


Fig. 4a

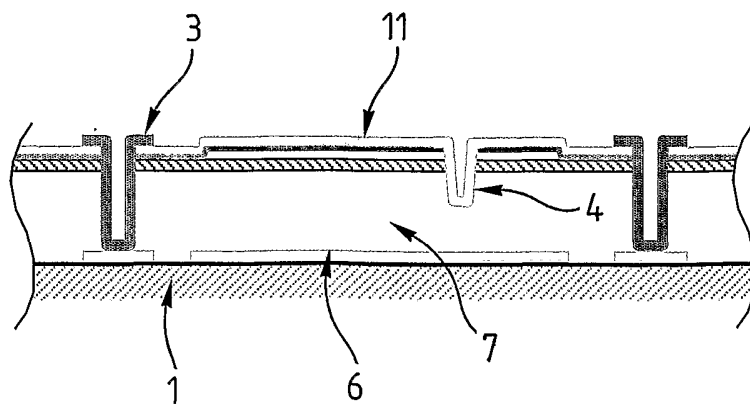


Fig. 4b

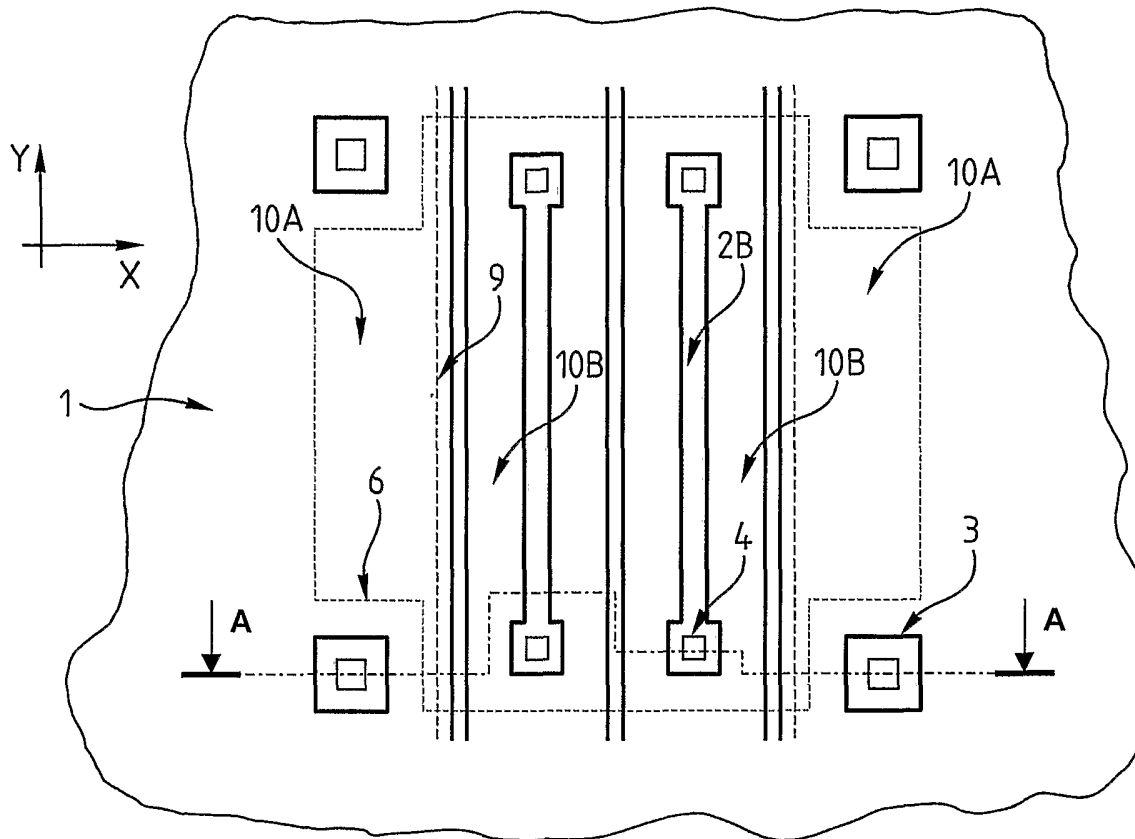


Fig. 5a

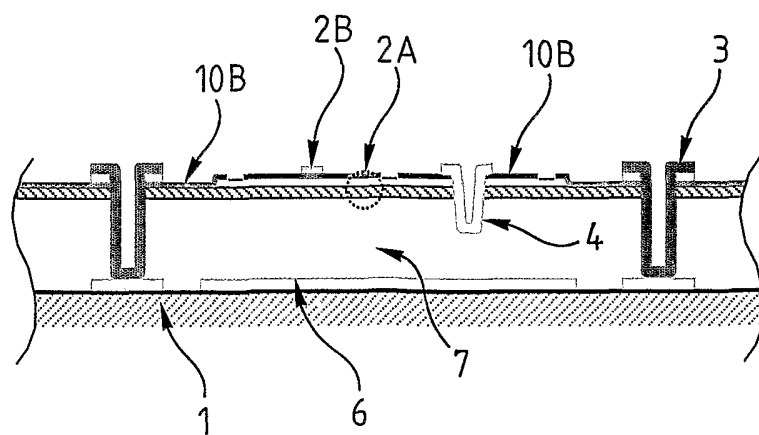


Fig. 5b

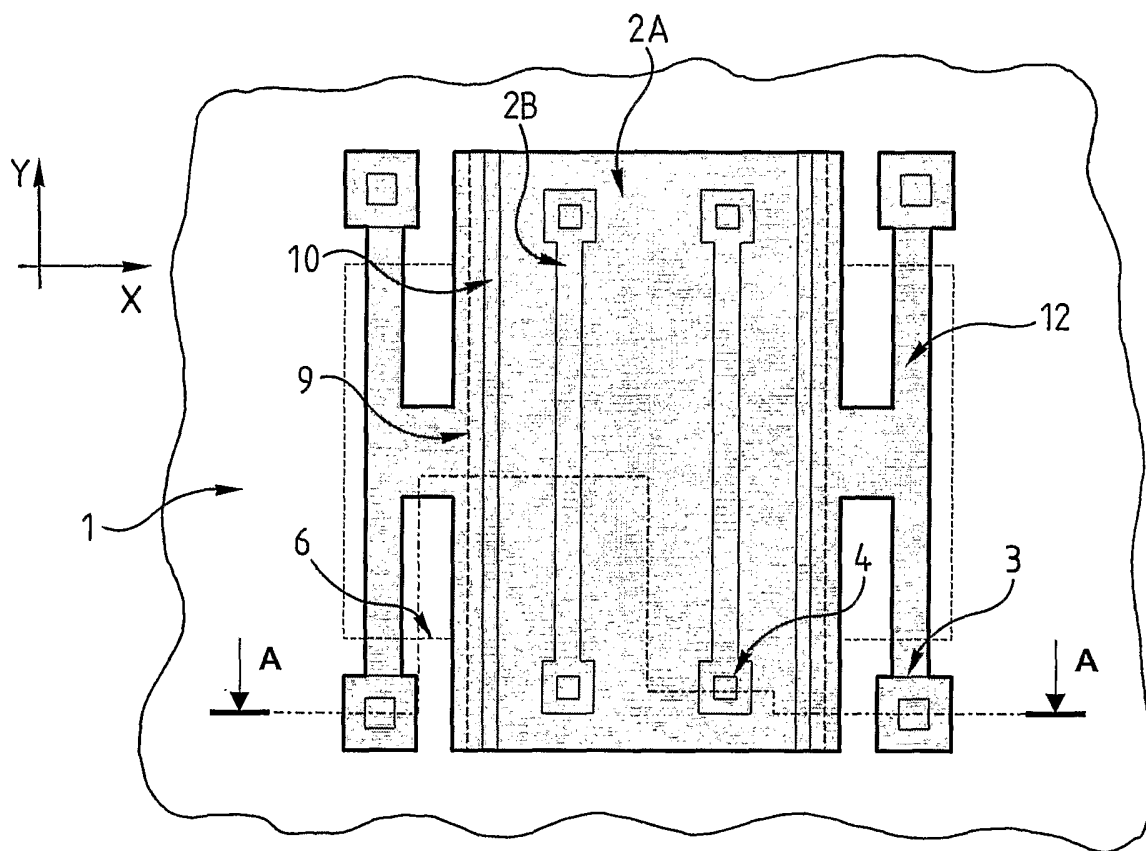


Fig. 6a

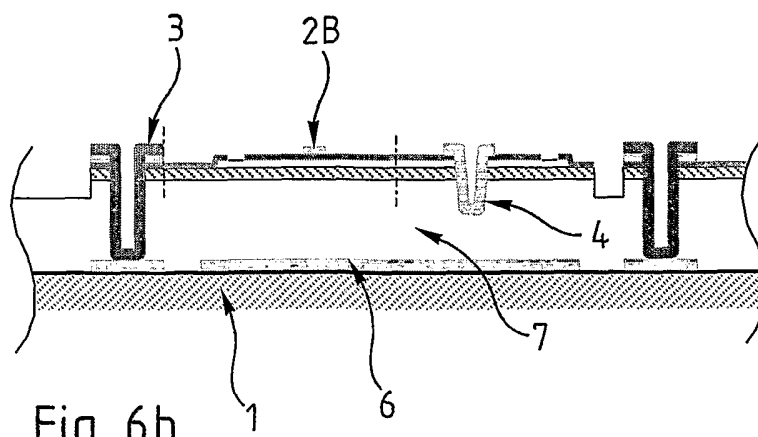


Fig. 6b

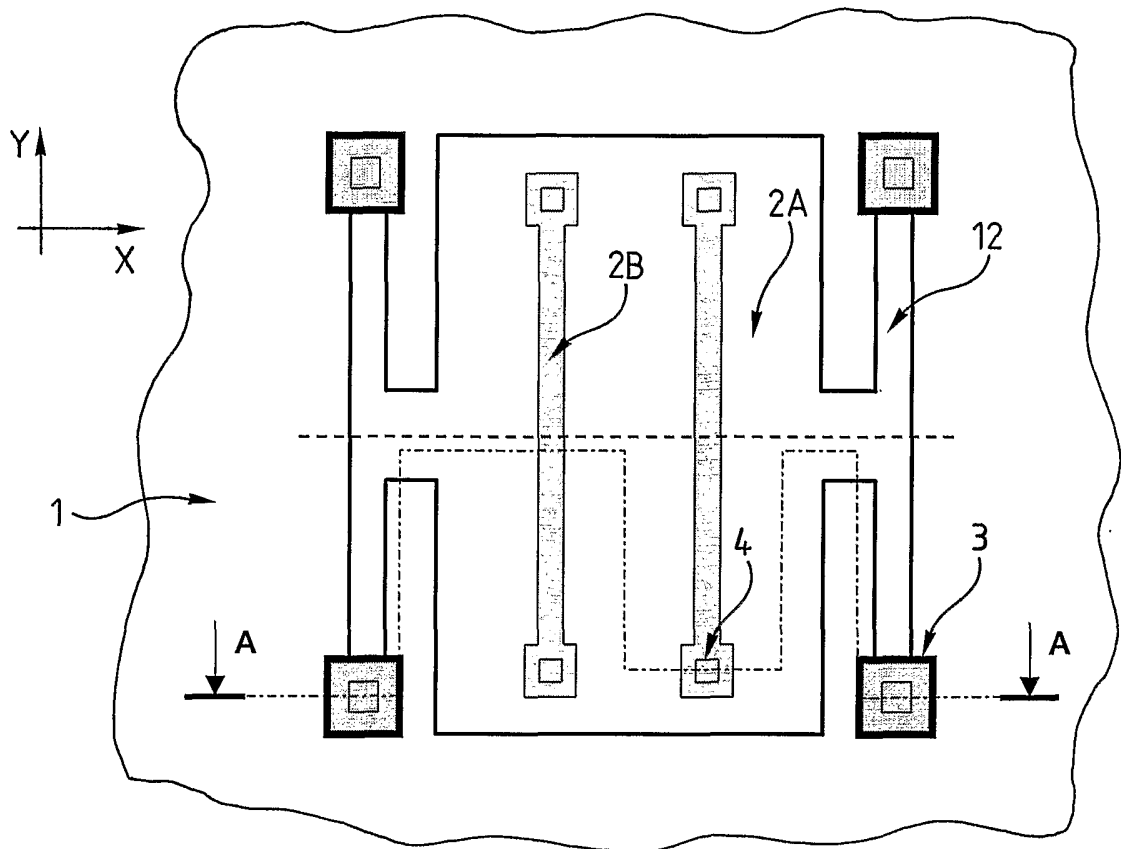


Fig. 7a

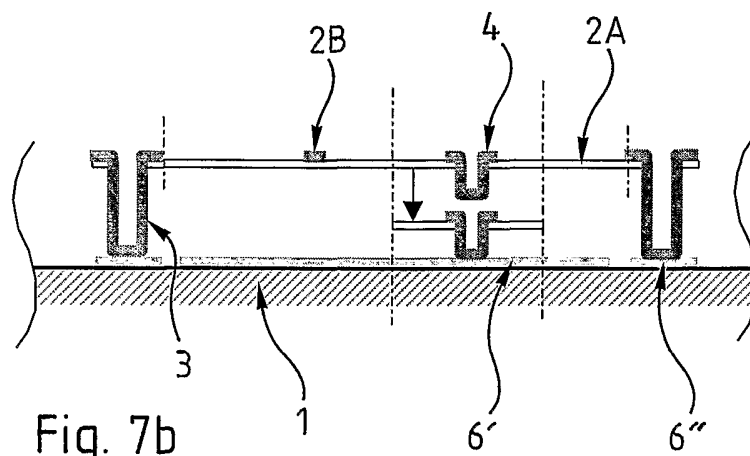


Fig. 7b

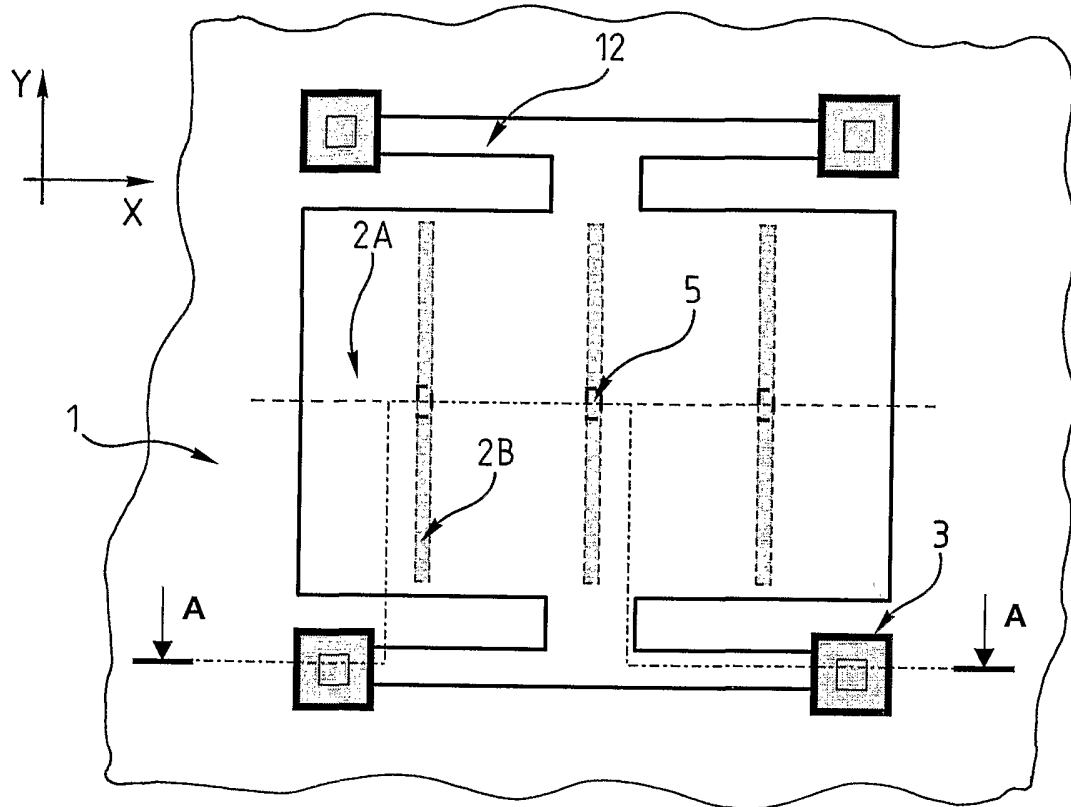


Fig. 8a

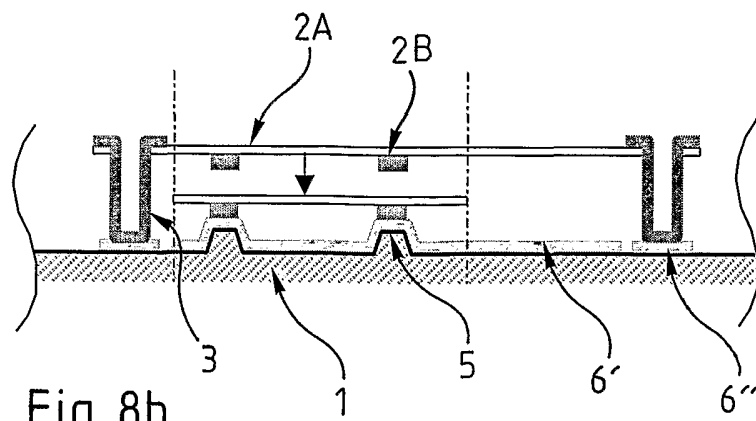


Fig. 8b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR 02/02096

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 G01J5/40 G01J5/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 IPC 7 G01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 080 988 A (AKAGAWA KEIICHI ET AL) 27 June 2000 (2000-06-27) column 41, last line -column 42, line 8; figure 15B -----	1-17

Further documents are listed in the continuation of box C.
 Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

<p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>* & * document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
31 October 2002	11/11/2002

Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Clevorn, J
--	--------------------------------------

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 02/02096

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 6080988	A	27-06-2000	JP	10185680 A	14-07-1998
			JP	10260080 A	29-09-1998
			JP	10253447 A	25-09-1998

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dem. Internationale No
PCT/FR 02/02096

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE CIB 7 G01J5/40 G01J5/20		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 G01J		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 6 080 988 A (AKAGAWA KEIICHI ET AL) 27 juin 2000 (2000-06-27) colonne 41, dernière ligne -colonne 42, ligne 8; figure 15B	1-17
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents		
<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
° Catégories spéciales de documents cités:		
A document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		
T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier *&* document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 31 octobre 2002		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 11/11/2002
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Clevorn, J

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Der Internationale No

PCT/FR 02/02096

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication	
US 6080988	A	27-06-2000	JP 10185680 A	14-07-1998
			JP 10260080 A	29-09-1998
			JP 10253447 A	25-09-1998
