



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2004/11/08
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2005/06/02
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2006/05/19
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: EP 2004/012626
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2005/049482
(30) Priorité/Priority: 2003/11/21 (EP03026780.1)

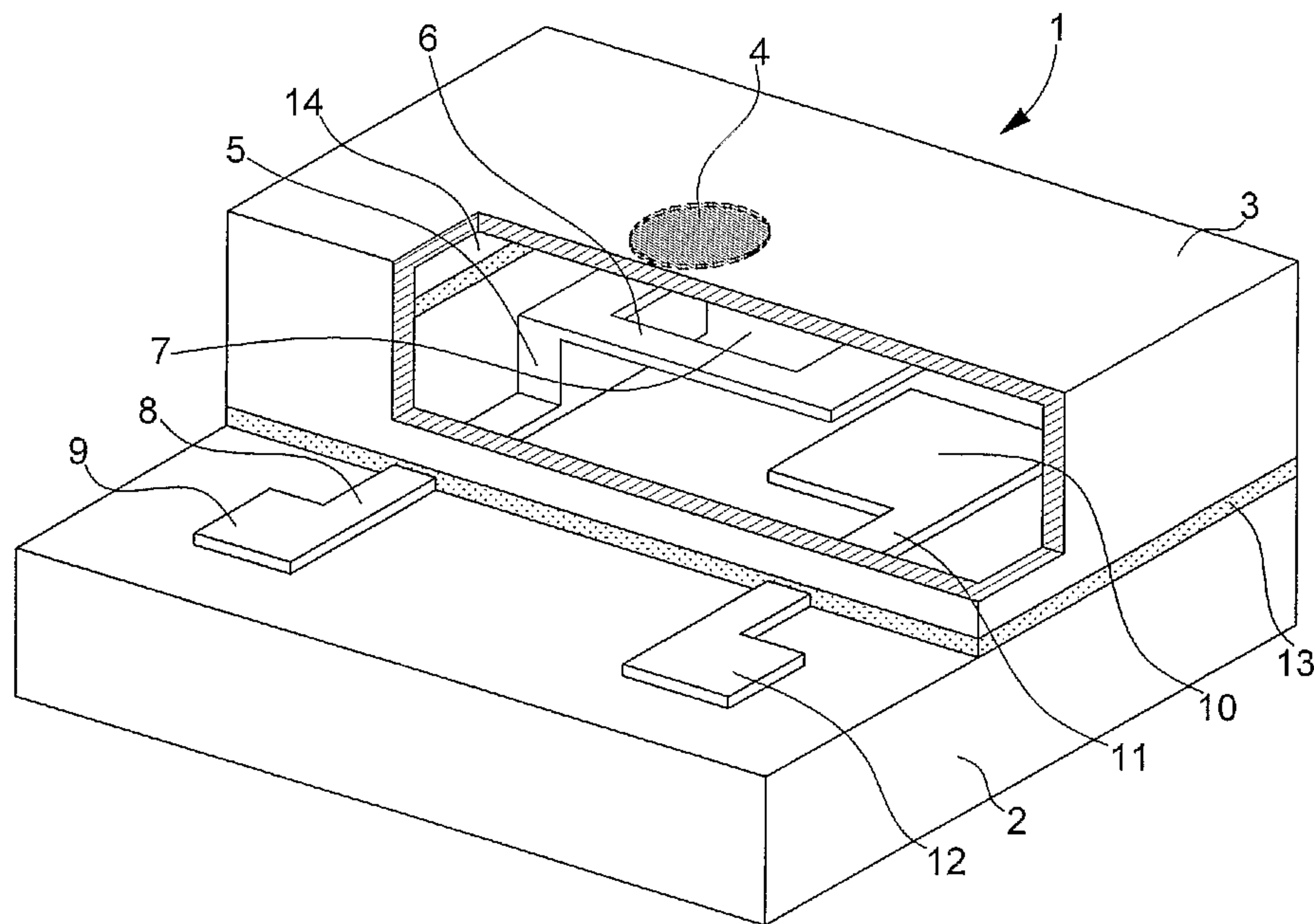
(51) Cl.Int./Int.Cl. *B81C 5/00* (2006.01),
B81B 7/00 (2006.01), *G01M 3/02* (2006.01),
G01M 3/04 (2006.01), *G01M 3/38* (2006.01),
G01M 3/40 (2006.01), *H01L 23/00* (2006.01),
H01L 23/10 (2006.01), *H01L 23/20* (2006.01),
H01L 23/26 (2006.01)

(71) Demandeur/Applicant:
ASULAB S.A., CH

(72) Inventeurs/Inventors:
GUEISSAZ, FRANCOIS, CH;
RANDIN, JEAN-PAUL, CH

(74) Agent: GOWLING LAFLEUR HENDERSON LLP

(54) Titre : PROCEDE DE CONTROLE DE L'HERMETICITE D'UNE CAVITE CLOSE D'UN COMPOSANT
MICROMETRIQUE, ET COMPOSANT MICROMETRIQUE POUR SA MISE EN OEUVRE
(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING THE HERMETICITY OF A CLOSED CAVITY OF A MICROMETRIC
COMPONENT, AND MICROMETRIC COMPONENT FOR THE IMPLEMENTATION THEREOF



(57) Abrégé/Abstract:

Pour le procédé de contrôle de l'herméticité d'une cavité close (14) d'au moins un composant micrométrique (1), ledit composant comprend une structure (5, 6, 10) réalisée sur ou dans une portion d'un substrat (2), un capot (3) fixé sur une zone du substrat pour protéger la structure, et un élément témoin (4, 15) dont les propriétés optiques ou électriques changent en présence d'un fluide réactif. L'élément témoin peut être une couche de cuivre (4) pour un contrôle optique ou une résistance en palladium (15) pour un contrôle électrique. Le composant micrométrique (1) est placé dans une enceinte qui est ensuite fermée hermétiquement. Cette enceinte est remplie du fluide réactif sous pression qui est de l'oxygène pour le contrôle optique et de l'hydrogène pour le contrôle électrique. Le composant dans l'enceinte est soumis à une pression supérieure à 10 bars du fluide réactif pendant une période de temps déterminée, et à une activation thermique ($T > 100^{\circ}\text{C}$) ou optique ($\lambda < 500\text{ nm}$). Après cette période de temps, un contrôle optique ou électrique de l'élément témoin (4, 15) permet de déterminer l'herméticité de ladite cavité (14).



(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
2 juin 2005 (02.06.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2005/049482 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ : **B81C 5/00**,
B81B 7/00, G01M 3/38, 3/40, 3/04, 3/02, H01L 23/20,
23/26, 23/00, 23/10

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **GUEIS-
SAZ, François** [CH/CH]; Les Pacots 24A, CH-2075 Wavre
(CH). **RANDIN, Jean-Paul** [CH/CH]; Potat-Dessus 13,
CH-2016 Cortaillod (CH).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2004/012626

(22) Date de dépôt international :

8 novembre 2004 (08.11.2004)

(74) Mandataire : **ICB INGENIEURS CONSEILS EN
BREVETS S.A.**; Rue des Sors 7, CH-2074 Marin (CH).

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

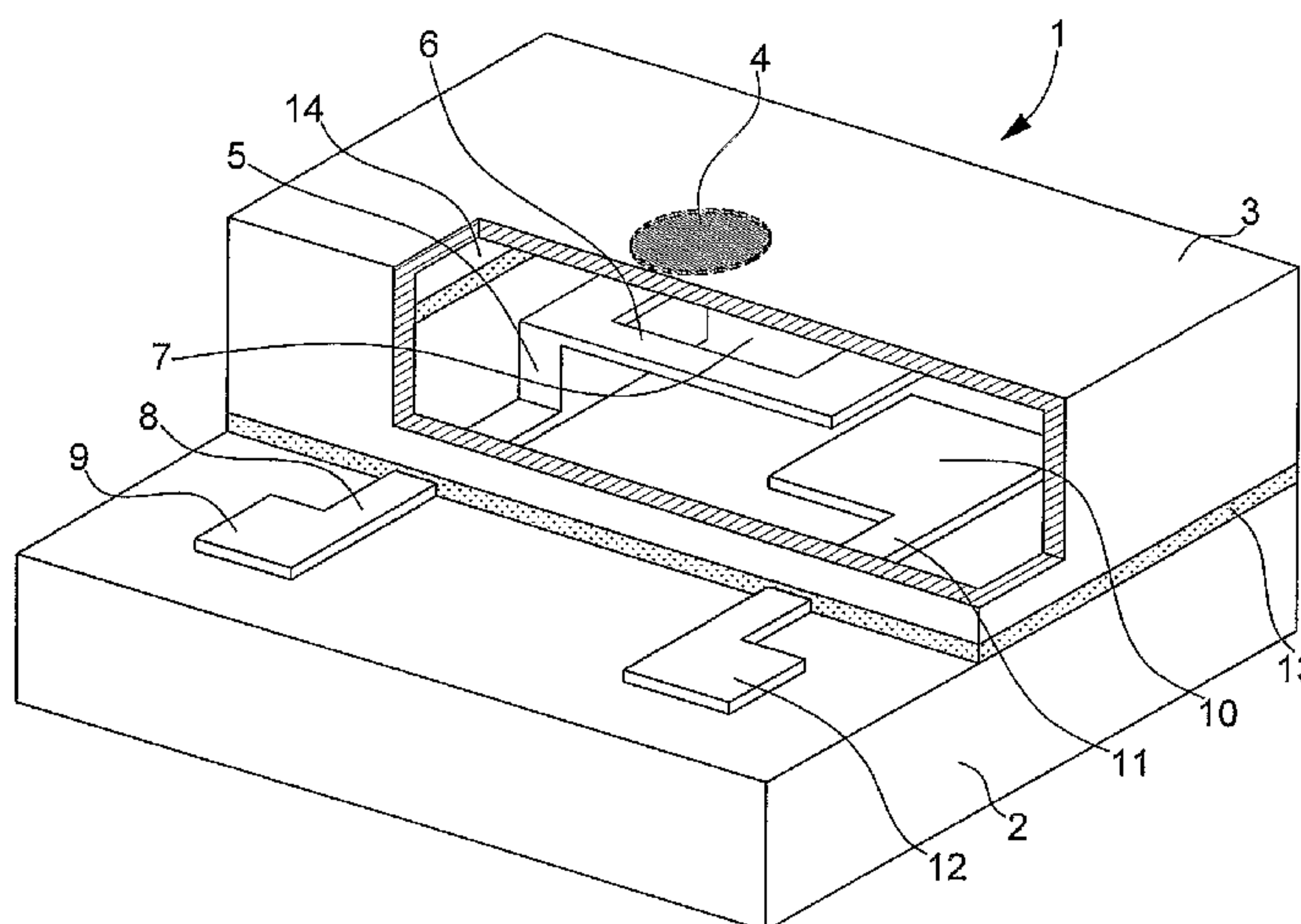
03026780.1 21 novembre 2003 (21.11.2003) EP

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **ASU-
LAB S.A.** [CH/CH]; Rue de Sors 3, CH-2074 Marin (CH).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,
MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING THE HERMETICITY OF A CLOSED CAVITY OF A MICROMETRIC COMPONENT, AND MICROMETRIC COMPONENT FOR THE IMPLEMENTATION THEREOF

(54) Titre : PROCEDE DE CONTROLE DE L'HERMETICITE D'UNE CAVITE CLOSE D'UN COMPOSANT MICROMETRIQUE, ET COMPOSANT MICROMETRIQUE POUR SA MISE EN OEUVRE

(57) Abstract: For the method for controlling the hermeticity of a closed cavity(14) of at least one micrometric component (1), said component comprises a structure (5, 6,10) created on or in a portion of a substrate (2), a cap (3) fixed to an area of the substrate in order to protect the structure, and a monitoring element (4,15) whose optical or electrical properties change in the presence of a reactive fluid. The monitoring element can be a copper layer (4) for optical control or a palladium resistor (15) for electric control. The micrometric component (1) is placed in an enclosure which is then hermetically closed. Said enclosure is filled with pressurized reactor fluid i.e. oxygen for optical control and hydrogen for electric control. The component inside the enclosure is subjected to a pressure of more than 10 bars of the reactive fluid during a set period of time and subjected to thermal activation ($T > 100^{\circ}\text{C}$) or optical activation ($\lambda < 500 \text{ nm}$). After said period, it is possible to determine the hermeticity of the cavity (14) by optical or electrical control of the monitoring element (4, 15).

[Suite sur la page suivante]

WO 2005/049482 A1

WO 2005/049482 A1

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

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.

(57) **Abrégé :** Pour le procédé de contrôle de l'herméticité d'une cavité close (14) d'au moins un composant micrométrique (1), ledit composant comprend une structure (5, 6, 10) réalisée sur ou dans une portion d'un substrat (2), un capot (3) fixé sur une zone du substrat pour protéger la structure, et un élément témoin (4, 15) dont les propriétés optiques ou électriques changent en présence d'un fluide réactif. L'élément témoin peut être une couche de cuivre (4) pour un contrôle optique ou une résistance en palladium (15) pour un contrôle électrique. Le composant micrométrique (1) est placé dans une enceinte qui est ensuite fermée hermétiquement. Cette enceinte est remplie du fluide réactif sous pression qui est de l'oxygène pour le contrôle optique et de l'hydrogène pour le contrôle électrique. Le composant dans l'enceinte est soumis à une pression supérieure à 10 bars du fluide réactif pendant une période de temps déterminée, et à une activation thermique ($T > 100^{\circ}\text{C}$) ou optique ($\lambda < 500\text{ nm}$). Après cette période de temps, un contrôle optique ou électrique de l'élément témoin (4, 15) permet de déterminer l'herméticité de ladite cavité (14).

PROCEDE DE CONTROLE DE L'HERMETICITE D'UNE CAVITE CLOSE
D'UN COMPOSANT MICROMETRIQUE, ET COMPOSANT
MICROMETRIQUE POUR SA MISE EN ŒUVRE

L'invention concerne un procédé de contrôle de l'herméticité d'une cavité close d'au moins un composant micrométrique. Le composant micrométrique comprend une structure réalisée sur ou dans une portion d'un substrat et un capot fixé sur une zone du substrat pour protéger la structure. La cavité du composant micrométrique est
5 délimitée par la surface intérieure du capot, la structure et la zone du substrat. Cette cavité peut être remplie par exemple d'un gaz inerte à pression voisine de la pression atmosphérique ou peut être une cavité sous vide.

L'invention concerne également le composant micrométrique à cavité close pour la mise en œuvre du procédé de contrôle. La structure réalisée sur ou dans une
10 portion du substrat peut être un circuit intégré ou une structure tridimensionnelle ou une combinaison d'un circuit intégré et d'une structure tridimensionnelle.

On entend par structures tridimensionnelles de ces composants micrométriques, des dispositifs micro-optoélectromécaniques (MOEMS) ou des dispositifs micro-électromécaniques (MEMS) tels que des contacteurs reed, des
15 accéléromètres, des micro-moteurs, des résonateurs à quartz, des capteurs de taille micrométrique où il est nécessaire de les laisser libres de mouvements après encapsulation dans une atmosphère contrôlée. La construction de ces structures tridimensionnelles des composants micrométriques peut se faire sur un substrat isolant ou sur un substrat semi-conducteur dans lequel des circuits intégrés ont été
20 par exemple préalablement réalisés. Dans ce dernier cas, il est possible de prendre les plages de contact métallique du circuit intégré pour débiter le dépôt des couches métalliques devant constituer en partie la structure du composant micrométrique et pour permettre de le relier électriquement audit circuit.

Dans le brevet EP 0 874 379 du même demandeur, il est décrit un micro-
25 contacteur à lames de taille micrométrique en tant qu'exemple de structure tridimensionnelle et son procédé de réalisation. Le contacteur comprend des lames métalliques distantes l'une de l'autre à l'état de repos qui sont réalisées par voie électrolytique en plusieurs étapes et sont solidaires d'un substrat. Les lames sont constituées d'un alliage de fer et de nickel déposé par procédé électrolytique. Cet
30 alliage a la propriété d'être ferromagnétique pour que les lames puissent être mises en contact l'une avec l'autre lorsqu'un champ magnétique les traversant crée une force d'attraction entre elles. Au moins une ouverture ou un rétrécissement sont pratiqués sur au moins une des lames pour faciliter la flexion de la lame.

Le procédé de contrôle de l'herméticité doit permettre de détecter un taux de fuite de très petites cavités closes de composants micrométriques dont le volume est inférieur à 1 mm^3 , par exemple de l'ordre de $0,02 \text{ mm}^3$. Il est nécessaire de garantir pour la cavité close de ces composants micrométriques de longues constantes de
5 temps d'égalisation d'au moins 20 années afin que la structure de chaque composant soit protégée de tout fluide contaminant. Le fluide contaminant peut être un liquide ou un gaz.

Lorsque le capot du composant micrométrique est fixé sur le substrat pour enfermer la structure à protéger, il peut être observé des micro-fissures susceptibles
10 de permettre à un liquide ou un gaz contaminant de l'extérieur de pénétrer dans la cavité et contaminer ladite structure.

Pour contrôler l'herméticité ou détecter une fuite d'une cavité close d'un composant par une méthode traditionnelle, un gaz de contrôle doit être introduit dans la cavité. Pour ce faire, ledit composant doit être placé dans une enceinte qui est
15 remplie d'un gaz, tel que de l'hélium à une pression élevée afin d'accélérer l'introduction du gaz dans ladite cavité. Cependant, un inconvénient d'une telle méthode est que le gaz de mesure introduit dans la cavité risque de s'échapper partiellement ou entièrement en présence d'une grosse fuite, ce qui peut fausser le contrôle de l'herméticité qui est traditionnellement effectué à l'aide d'un spectromètre
20 de masse.

Un autre inconvénient de la méthode traditionnelle est que le seuil de détection de fuite d'un système à spectromètre de masse est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-12} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$. Ceci ne permet pas de détecter les taux de fuites maxima de l'ordre de 10^{-15} à $10^{-14} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$ qui permettent de garantir des constantes d'égalisation d'au moins 20 années
25 pour des cavités de volume inférieur à 1 mm^3 .

Dans le brevet US 6,223,586, il est décrit un procédé d'inspection de fuites de composants électroniques, tels que des dispositifs micro-électromécaniques ayant une cavité close. Pour ce faire, des plaquettes de tels composants électroniques sont placées tout d'abord dans un bain de liquide sous pression pendant une période de
30 temps déterminée. Le liquide sous pression peut être par exemple de l'eau. Une fois cette étape terminée, les composants sont placés dans un autre liquide et une inspection par microscope peut être effectuée pour détecter des zones de fuite des cavités de ces composants. Cet autre liquide peut également être de l'eau de manière à éviter que l'eau à l'intérieur de la cavité s'évapore. Un inconvénient majeur d'un tel
35 procédé réside dans le fait que la sensibilité pour le contrôle de l'herméticité est très réduite.

L'invention a donc pour but principal de pallier les inconvénients de l'art antérieur en fournissant un procédé de contrôle de l'herméticité du type cumulatif d'une cavité close d'au moins un composant micrométrique, avec une sensibilité remarquablement accrue. Ce procédé a la capacité de révéler les fuites grossières en
5 une seule opération de détection. Des moyens sont ainsi prévus dans chaque cavité afin de réagir avec une quantité de fluide ayant pénétré dans la cavité pendant une période de temps déterminée pour le contrôle de l'herméticité.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de mesure de l'herméticité d'une cavité close d'au moins un composant micrométrique cité ci-devant, qui se
10 caractérise en ce qu'il comprend des étapes consistant à :

- placer le composant micrométrique dans une enceinte, ledit composant comprenant à l'intérieur de la cavité un élément témoin pour le contrôle d'herméticité dont les propriétés optiques ou électriques changent de manière permanente en présence d'un fluide réactif susceptible de réagir avec l'élément témoin,
- 15 - fermer hermétiquement l'enceinte qui comprend ledit composant,
- remplir l'enceinte d'un fluide réactif sous pression pour soumettre ledit composant à une pression du fluide supérieure à la pression dans la cavité pendant une période de temps déterminée, telle que quelques jours, l'enceinte comprenant des moyens pour l'introduction du fluide réactif, et
- 20 - contrôler la variation des propriétés de l'élément témoin par voie optique ou électrique en fonction de la quantité de fluide réactif ayant pénétré dans la cavité et réagi avec l'élément témoin pour déterminer l'herméticité de ladite cavité.

Un avantage du procédé de contrôle de l'herméticité de la cavité, selon l'invention, réside dans le fait que l'élément témoin placé dans la cavité permet
25 d'absorber ou de réagir avec une certaine quantité de fluide réactif ayant pénétré dans la cavité close. De ce fait, l'élément témoin permet de cumuler l'effet de cette quantité de fluide ayant pénétré dans la cavité et ainsi d'avoir ses propriétés optiques ou électriques modifiées de manière permanente. Grâce à cela, une fuite grossière ou une fine fuite peut être contrôlée de la même manière en une seule opération à l'aide
30 du procédé de contrôle de l'herméticité.

De préférence, plusieurs plaquettes, qui comprennent chacune plusieurs composants micrométriques réalisés sur un même substrat et ayant une plaque de capots fixée sur le substrat pour enfermer chaque structure des composants micrométriques, peuvent être placées dans l'enceinte. Pour réduire le temps de
35 contrôle d'une multitude de composants micrométriques, ces plaquettes sont toutes soumises à la pression du fluide réactif dans l'enceinte pendant une période de temps déterminée. Ces plaquettes peuvent être placées dans l'enceinte en fin du procédé de

fabrication desdites plaquettes et avant ou après des opérations de test électriques de chaque composant. Dans chaque cavité des composants micrométriques, un gaz inerte, tel que de l'argon, à pression voisine de la pression atmosphérique peut protéger chaque structure.

- 5 Avantageusement, l'enceinte remplie du fluide réactif peut être chauffée à une température supérieure à la température ambiante, de préférence à une température supérieure à 100 °C par des moyens de chauffage pendant la période de temps déterminée. Ceci permet d'accélérer la réaction du fluide réactif, ayant pénétré dans chaque cavité, avec l'élément témoin. Cette accélération de réaction peut également
10 être obtenue à l'aide d'une illumination dans l'ultraviolet (UV).

- Avantageusement, l'enceinte est remplie d'un gaz réactif sous pression de préférence supérieure à 10 bars, par exemple 15 bars de manière à accélérer l'introduction du gaz réactif dans les cavités des composants. Comme il doit être garanti un temps d'égénéralisation d'au moins 20 années de ces composants
15 micrométriques, la période de temps déterminée pour le contrôle de l'herméticité peut ainsi être réduite à quelques jours avec une pression de 15 bars. Ceci permet d'introduire une quantité suffisante de gaz dans chaque cavité pour réagir de manière mesurable avec l'élément témoin, même si la concentration finale de ce gaz dans la cavité reste inférieure à 1%.

- 20 Pour un contrôle par voie optique, l'élément témoin de chaque cavité peut être une mince couche de cuivre ou de titane, et le gaz réactif est de l'oxygène afin que la couche de cuivre ou de titane s'oxyde en fonction de la quantité d'oxygène ayant pénétré dans la cavité. L'épaisseur de la couche de cuivre ou de titane, qui est placée sur le substrat ou sous le capot, peut être inférieure à 100 nm, de préférence égale à
25 30 nm. En s'oxydant la couche de cuivre ou de titane change de couleur et de transparence à une longueur d'onde déterminée d'au moins un faisceau de lumière émis par une source de lumière. Dans le cas où le substrat et/ou le capot de chaque composant est en matériau transparent, la longueur d'onde du faisceau peut être dans le domaine infrarouge proche, par exemple égale à 850 nm. Dans le cas où le
30 substrat et/ou le capot de chaque composant est en matériau semi-conducteur, tel qu'en silicium, la longueur d'onde du faisceau peut être augmentée à 1,3 µm pour le traverser sans absorption.

- Pour un contrôle par voie électrique, l'élément témoin de chaque cavité est par exemple une résistance en palladium, et le gaz réactif est de l'hydrogène. La
35 résistance est reliée par des pistes conductrices traversant le composant micrométrique pour une mesure de résistance depuis l'extérieur de chaque composant.

L'invention a également pour objet un composant micrométrique convenant à la mise en œuvre du procédé cité ci-devant, qui se caractérise en ce qu'il comprend à l'intérieur de la cavité un élément témoin pour le contrôle d'herméticité dont les propriétés optiques ou électriques changent de manière permanente en présence d'un fluide réactif susceptible de réagir avec l'élément témoin afin de permettre un contrôle de l'herméticité de la cavité dudit composant.

Avantageusement, l'élément témoin est une couche de cuivre ou de titane pour un contrôle par voie optique pour réagir avec de l'oxygène en tant que fluide réactif, ou une résistance en palladium pour un contrôle par voie électrique pour réagir avec de l'hydrogène en tant que fluide réactif. La cavité de chaque composant est préférablement remplie d'un gaz inerte, tel que de l'argon à pression voisine de la pression atmosphérique.

Bien entendu, l'élément témoin, notamment pour un contrôle optique, peut être choisi parmi plusieurs autres matériaux métalliques, tels que l'argent, le zirconium ou le niobium.

Pour un contrôle par voie optique, l'élément témoin est constitué d'une couche de cuivre ou de titane gravée sélectivement ou déposée sélectivement par évaporation sous vide au travers d'un masque sur une partie de la surface intérieure du capot ou sur une partie de la zone du substrat avant l'opération de fixation du capot sur une zone du substrat. L'épaisseur de cette couche de cuivre ou de titane est comprise entre 10 et 100 nm, de préférence sensiblement égale à 30 nm. Dans le cas d'une forme circulaire de l'élément témoin, le diamètre de cette couche de cuivre ou de titane est comprise entre 10 et 100 μm , de préférence 70 μm .

Les buts, avantages et caractéristiques du procédé de mesure de l'herméticité d'une cavité d'un composant micrométrique, ainsi que dudit composant micrométrique apparaîtront mieux dans la description suivante de modes de réalisation de l'invention en liaison avec les dessins dans lesquels :

La figure 1 représente une vue tridimensionnelle en coupe partielle d'un composant micrométrique représentant un micro-contacteur magnétostatique, selon une première forme d'exécution, dans lequel un élément témoin peut être contrôlé par voie optique pour le contrôle de l'herméticité,

la figure 2 représente une vue tridimensionnelle en coupe partielle d'un composant micrométrique représentant un micro-contacteur magnétostatique, selon une seconde forme d'exécution, dans lequel un élément témoin peut être mesuré par voie optique pour le contrôle de l'herméticité,

la figure 3 représente de manière simplifiée une coupe verticale d'une enceinte thermique dans laquelle sont placées des plaquettes de composants micrométriques pour la mise en œuvre du procédé de contrôle d'herméticité selon l'invention,

la figure 4 représente de manière simplifiée une vue tridimensionnelle d'une machine de mesure pour un contrôle par voie optique de l'élément témoin de certains composants micrométriques d'une plaquette de composants pour la mise en œuvre du procédé de contrôle d'herméticité selon l'invention,

la figure 5 représente schématiquement une coupe partielle d'une partie d'une plaquette de composants micrométriques de la première forme d'exécution de la figure 1, et des moyens de contrôle de la machine de mesure pour la mise en œuvre du procédé de contrôle de l'herméticité selon l'invention,

la figure 6 représente schématiquement une coupe partielle d'une partie d'une plaquette de composants micrométriques de la seconde forme d'exécution de la figure 2, et des moyens de contrôle de la machine de mesure pour la mise en œuvre du procédé de contrôle de l'herméticité selon l'invention,

la figure 7 représente une vue tridimensionnelle en coupe partielle d'un composant micrométrique à micro-contacteur, selon une troisième forme d'exécution, dans lequel un élément témoin peut être contrôlé par voie électrique pour le contrôle de l'herméticité,

la figure 8 représente un graphique de la pression partielle d'oxygène en fonction du temps d'exposition dans une cavité close d'un composant micrométrique pour un procédé de contrôle de l'herméticité par voie optique selon l'invention, et

la figure 9 représente des graphiques de la transmission optique d'une couche de cuivre oxydée, d'une couche non oxydée et du rapport de contraste entre des couches de cuivre oxydée et non oxydée en fonction de la longueur d'onde d'un faisceau de lumière traversant ladite couche pour le procédé de contrôle par voie optique selon l'invention.

Dans la description suivante, les moyens de mise en œuvre du procédé de contrôle de l'herméticité d'une cavité close d'au moins un composant micrométrique, qui sont bien connus d'un homme du métier, ne sont représentés et expliqués que de manière simplifiée.

A la figure 1, il est représenté une première forme d'exécution préférée d'un composant micrométrique 1 pour la mise en œuvre du procédé de contrôle de l'herméticité par voie optique. Ledit composant micrométrique 1, représenté sur la figure 1, provient d'une plaquette de plusieurs composants micrométriques, qui sont réalisés sur un même substrat semi-conducteur 2, tel qu'en silicium, ou en verre, après l'opération de sciage de ladite plaquette. Toutefois pour le procédé de contrôle

de l'herméticité d'une cavité close 14 d'au moins un composant micrométrique 1, il peut s'agir d'un composant séparé de la plaquette ou d'au moins un composant de la plaquette avant une opération de sciage. La plaquette non représentée à la figure 1 peut comprendre des milliers de composants micrométriques.

5 Le composant micrométrique 1 comprend une structure tridimensionnelle 5, 6 et 10 réalisée sur une portion d'un substrat 2, un capot 3 de protection de la structure fixé sur une zone du substrat 2 et un élément témoin 4 sensible à un fluide réactif spécifique. L'élément témoin 4 est placé sur une partie supérieure de la surface intérieure du capot 3 dans cette première forme d'exécution. Une cavité close 14 est
10 délimitée par la surface intérieure du capot 3, la structure tridimensionnelle 5, 6 et 10 et la zone du substrat 2.

Le volume d'une cavité 14 d'un tel composant micrométrique 1 est de l'ordre de $0,02 \text{ mm}^3$ (1000 μm de long, 200 μm de large et 100 μm de haut). Cette cavité 14 à très faible volume est remplie de préférence d'un gaz inerte, tel que de l'argon, à
15 pression voisine de la pression atmosphérique.

La structure tridimensionnelle 5, 6 et 10 peut être un micro-contacteur magnétique. Pour des détails techniques de réalisation de ce micro-contacteur, le lecteur peut se référer au document EP 0 874 379 du même Demandeur qui est cité en référence.

20 Ce micro-contacteur est composé d'une première lame conductrice 6, dont une extrémité est solidaire du substrat 2 par l'intermédiaire d'un pied conducteur 5, et l'autre extrémité de la première lame est libre de mouvement, et d'une seconde lame conductrice 10 fixée sur le substrat. Chaque lame métallique 6 et 10, ainsi que le pied conducteur 5 peuvent être obtenus par un procédé électrolytique. En présence d'un
25 champ magnétique, l'extrémité libre de la première lame 6 peut venir en contact de la seconde lame 10.

Une première piste conductrice 8 relie le pied conducteur 5 de la première lame 6 à une première borne de contact électrique 9 placée à l'extérieur de la cavité 14 sur le substrat 2. Une seconde piste conductrice 11 relie la seconde lame 10 à une
30 seconde borne de contact électrique 12 placée à l'extérieur de la cavité 14 sur le substrat 2. Chaque borne de contact 9 et 12 peut être connectée à des bornes de contact d'un circuit électronique ou à des bornes de contact d'un appareil électronique. Un circuit intégré non représenté peut être réalisé en dessous du micro-
35 contacteur et relié électriquement à chaque lame métallique 6 et 10 dudit micro-contacteur. Bien entendu, la connexion électrique du micro-contacteur vers l'extérieur de la cavité 14 peut également être réalisée à l'aide de trous métallisés à travers le substrat 2 ou d'une autre manière que celle présentée à la figure 1.

Une partie intermédiaire de la première lame 6 du micro-contacteur a une ouverture 7 s'étendant sur la majeure partie de sa longueur pour faciliter la flexion de la lame 6. La distance séparant le pied 5 de la première lame 6 et une extrémité de la seconde lame 10 correspond approximativement à la longueur de l'ouverture 7.

5 L'élément témoin 4, utilisé pour le contrôle de l'herméticité de la cavité close 14 du composant micrométrique 1, est de préférence une couche de cuivre, mais peut être également une couche de titane, qui est placée distante et en regard de l'ouverture 7. Cette couche de cuivre, voire de titane peut être obtenue par gravure chimique sélective ou par dépôt sélectif par évaporation sous vide sur une partie
10 supérieure de la surface intérieure du capot avant la fixation du capot 3 sur le substrat 2. La technique de gravure chimique peut être difficile à mettre en œuvre pour réaliser la couche de cuivre ou de titane dans une cavité. Il est donc préférable d'utiliser la technique du dépôt par évaporation sous vide du cuivre, voire du titane dans cette première forme d'exécution. De préférence, il est déposé une couche de cuivre qui est
15 facile à réaliser par cette méthode de dépôt.

Bien entendu, le dépôt par évaporation sous vide de la couche de cuivre, voire de la couche de titane peut être réalisé pendant les étapes de fabrication des plaquettes de composants micrométriques. Pour ce faire, des capots sont tout d'abord réalisés par exemple par gravure chimique dans une plaque en verre ou en silicium.
20 Après cette étape, la couche de cuivre ou de titane est déposée sélectivement en même temps sur la surface intérieure des capots 3 d'au moins une plaque de capots à travers un masque dans lequel des trous de dimension sensiblement égale à la dimension de la couche de cuivre à déposer sont réalisés. Le masque utilisé peut être par exemple un masque en verre photo-structurable du type Foturan de la maison
25 Schott Glas en Allemagne.

Une fois que les couches de cuivre sont déposées sélectivement sur chaque surface intérieure des capots 3 de la plaque de capots, la plaque est fixée sur le substrat 2 de la plaquette. Ainsi chaque capot 3 de la plaque est fixé sur chaque zone correspondante du substrat 2 afin d'enfermer un micro-contacteur respectif à protéger
30 de la plaquette. Cette plaque de capots peut être par exemple du verre ou du silicium.

L'épaisseur de cette couche de cuivre est comprise entre 10 et 100 nm, de préférence sensiblement égale à 30 nm pour permettre à un faisceau de lumière de longueur d'onde déterminée de traverser ladite couche pour un contrôle d'herméticité par voie optique. Il est à noter que plus l'épaisseur de la couche de cuivre est petite et
35 plus la sensibilité est grande, mais avec un contraste diminué. Il a donc dû être trouvé un compromis entre contraste et sensibilité ce qui fait que l'épaisseur de la couche de cuivre a été choisie de préférence égale à 30 nm.

La dimension de la surface de la couche de cuivre peut être de dimension inférieure à la dimension de la surface de l'ouverture 7 du micro-contacteur. Ceci permet de définir à travers l'ouverture 7 des première et seconde zones de mesure comme expliqué ci-après en référence notamment aux figures 5 et 6. Dans le cas
5 d'une surface circulaire de ladite couche, le diamètre de cette couche peut être approximativement de 70 μm afin d'être facilement mesurable par voie optique à l'aide de moyens traditionnels. Ainsi, chaque couche de cuivre 4 déposée sur la surface intérieure de chaque capot 3 a une masse d'environ 1,03 ng ou $1,63 \cdot 10^{-11}$ mole.

La fixation du capot 3 ou de chaque capot de la plaque de capots sur chaque
10 zone du substrat 2 est faite par un joint annulaire de glas frit ou de préférence par un anneau d'alliage métallique 13. L'alliage métallique peut être un alliage composé d'or et d'étain (Au-Sn) à point de fusion de l'ordre de 280 °C. Bien entendu, il est nécessaire que l'alliage métallique choisi assure une bonne adhérence sur les matériaux choisis du substrat 2 et du capot 3. Avec une fixation du capot par cet
15 alliage métallique, il doit être prévu une couche d'isolation traditionnelle, non représentée, sur les pistes conductrices 8 et 11.

A la figure 2, il est représenté une seconde forme d'exécution préférée d'un composant micrométrique 1 pour la mise en œuvre du procédé de contrôle de l'herméticité par voie optique. Il est à noter que les éléments de la figure 2, qui
20 correspondent à ceux de la figure 1, portent des signes de référence identiques. De ce fait par simplification, il ne sera pas répété la description de ces éléments.

La différence essentielle de cette seconde forme d'exécution par rapport à la première forme d'exécution du composant micrométrique est le fait que la couche de cuivre ou de titane 4 est réalisée directement sur le substrat 2 par exemple avant la
25 réalisation du micro-contacteur. Cette couche de cuivre ou de titane 4 est positionnée en regard de l'ouverture 7. La dimension de la surface de la couche est inférieure à la dimension de la surface de l'ouverture. Ceci permet de définir des première et seconde zone de mesure à travers l'ouverture pour un contrôle par voie optique dans le sens vertical du composant.

30 Il est possible de réaliser cette couche de cuivre ou de titane 4 par des techniques de gravure chimique sélective ou de dépôt par évaporation sous vide comme expliqué ci-devant. Il est à noter que la gravure chimique dans cette seconde forme d'exécution peut aussi être employée étant donné que la couche de cuivre est réalisée sur une surface plane du substrat 2, par exemple sur une couche d'isolation.

35 Comme les couches de cuivre ou de titane de cette seconde forme d'exécution sont réalisées lors des étapes de fabrication des plaquettes sur le substrat, le temps de fabrication desdites plaquettes peut être plus lent que le temps de fabrication des

plaquettes de la première forme d'exécution des composants micrométriques. Cependant, les dimensions de cette couche de cuivre, voire de titane pour chaque capot 3 peuvent être équivalentes à celles mentionnées dans la première forme d'exécution.

5 En référence à la figure 3, une enceinte thermique 30 est représentée de manière très simplifiée pour l'explication des premières étapes du procédé de contrôle de l'herméticité de plusieurs composants micrométriques. Bien entendu, tous les éléments de cette enceinte peuvent prendre diverses formes autres que celles présentées sur la figure 3 pour autant que les premières étapes du procédé puissent
10 être réalisées normalement.

L'enceinte thermique 30 comprend essentiellement une cuve 31 et un couvercle 32 articulé autour d'un axe de rotation 34 à l'embouchure de la cuve 31. Des moyens de fermeture 33 sont prévus pour fermer hermétiquement l'enceinte 30 en appliquant le couvercle 32 sur le bord supérieur de la cuve 31. Ces moyens de
15 fermeture 33 sont par exemple constitués par une vis 33a, dont la tête vient en appui contre une surface supérieure du couvercle 32, et un écrou 33b en appui sur la surface inférieure du bord supérieur de la cuve 31. La tige de la vis 33a traverse une ouverture 33c qui est pratiquée dans le couvercle 32 et sur le bord supérieur de la cuve 31 pour être vissée dans l'écrou 33b. La tête de la vis 33a a une forme adaptée
20 à une manipulation manuelle. Une garniture d'étanchéité non représentée doit en outre être prévue au niveau du contact entre le bord supérieur de la cuve 31 et le couvercle 32 pour assurer une fermeture hermétique de l'enceinte 30.

L'enceinte thermique 30 comprend encore des moyens d'introduction 35 à 39 du fluide réactif, notamment de l'oxygène à l'intérieur de la cuve 31, et des moyens de
25 chauffage 40 et 41 pour chauffer l'intérieur de la cuve 31. Les moyens de chauffage sont constitués principalement par un corps de chauffe 41 disposé à l'intérieur de l'enceinte et d'un dispositif de commande du chauffage 40 qui contrôle le corps de chauffe pour obtenir une température souhaitée dans l'enceinte 30.

Les moyens d'introduction de l'oxygène sous pression dans la cuve sont
30 constitués par une vanne à trois voies 35, et d'un appareil de mesure de la pression 36 à l'intérieur de l'enceinte 30. Une première conduite 37 de la vanne à trois voies 35 est reliée à une bombonne d'oxygène non représentée pour remplir, par une seconde conduite 38 de la vanne 35, l'enceinte d'oxygène à une pression p lorsque les première et seconde conduites sont ouvertes et la troisième conduite 39 est fermée. A
35 la fin des premières étapes du procédé de contrôle, l'enceinte 30 est dépressurisée en retirant l'oxygène sous pression dans l'enceinte. Pour ce faire, les seconde et

troisième conduites 38 et 39 sont ouvertes et la première conduite 37 est maintenue fermée.

Les premières étapes du procédé de contrôle de l'herméticité sont expliquées ci-après de manière plus précise. Tout d'abord, plusieurs plaquettes 1' de composants
5 micrométriques sont placées dans un réceptacle ouvert 43. Ce réceptacle 43 portant les plaquettes 1' est posé ensuite sur un socle 42 disposé sur le fond de la cuve 31 de l'enceinte 30.

L'enceinte 30 est ensuite fermée hermétiquement par les moyens de fermeture 33 en plaçant le couvercle 32 en appui contre le bord supérieur de la cuve 31. Une
10 fois que l'enceinte 30, qui comprend les plaquettes 1' de composants micrométriques, est hermétiquement fermée, les première et seconde conduites 37 et 38 de la vanne 35 sont ouvertes alors que la troisième conduite 39 est fermée. De cette façon, l'enceinte 30 peut être remplie d'oxygène à une pression déterminée, qui peut être contrôlée par l'appareil de mesure 36. Bien entendu, la vanne peut être
15 électroniquement commandée de manière à fermer toutes les conduites 37 à 39 quand l'oxygène à l'intérieur de l'enceinte est à la pression déterminée souhaitée.

La pression d'oxygène dans l'enceinte 30 peut être supérieure à 10 bars et de préférence sensiblement égale à 15 bars ou 20 bars. Ainsi, tous les composants micrométriques sont soumis à une pression d'oxygène élevée. De cette manière, la
20 période de temps nécessaire à introduire une quantité détectable d'oxygène dans chaque cavité et permettant de garantir un temps d'égalisation supérieur à 20 années peut être fortement réduite comme expliqué ci-dessous notamment en référence aux figures 8 et 9.

Pour s'assurer que l'oxygène introduit va rapidement réagir avec l'élément
25 témoin en cuivre, l'enceinte est chauffée par les moyens de chauffage à une température supérieure à 100 °C, par exemple à 150 °C. La période de temps déterminée pour causer une oxydation de la couche de cuivre en tant qu'élément témoin de chaque cavité, si de l'oxygène a pénétré dans la cavité, est ainsi réduite à quelques heures, voire quelques jours (65 h). Comme plusieurs plaquettes d'environ
30 5'000 composants chacune sont placées dans l'enceinte, il est possible de réaliser ces premières étapes du procédé pour près de 500'000 composants micrométriques en même temps, ce qui procure un gain de temps considérable. De plus, la méthode de mesure optique sur plaque avant le sciage permet une vérification rapide de l'herméticité.

35 Pour mieux comprendre le gain de temps obtenu par les premières étapes du procédé pour assurer l'herméticité de la cavité close des composants micrométriques, il est fait référence tout d'abord à la figure 8. Sur cette figure 8, il est représenté un

graphique de la pression partielle d'oxygène en fonction du temps d'exposition dans une cavité close d'un composant micrométrique.

Lorsque le composant micrométrique est placé dans une ambiance normale à l'air libre, ledit composant est en présence d'environ 20% d'oxygène, ce qui
5 correspond à une pression partielle de 200 mbar d'oxygène à l'équilibre. Comme la cavité du composant micrométrique est remplie uniquement d'un gaz inerte, tel que de l'argon, à une pression par exemple de 800 mbar, il y a donc un écart de 200 mbar d'oxygène entre l'extérieur et l'intérieur de la cavité. De ce fait, en cas de fuite de la cavité, l'oxygène va rentrer progressivement dans ladite cavité de manière
10 asymptotique exponentielle jusqu'à un équilibre de la pression partielle d'oxygène.

Dès l'instant où le composant micrométrique est placé à l'air libre, la pression partielle d'oxygène à l'intérieur de la cavité en fonction du temps peut être définie par la formule $p = p_0 \cdot (1 - e^{(-t/\tau)})$. Dans cette formule, p_0 est la pression d'équilibre d'oxygène à savoir 200 mbar, et τ la constante de temps d'échange déterminée par le taux de
15 fuite. Cette constante de temps d'échange doit être d'au moins 20 années pour assurer une herméticité suffisante de la cavité dans la plupart des cas de composants micrométriques. La pente de la courbe à l'origine est donc définie par p_0/τ . En soumettant les composants micrométriques dans l'enceinte fermée à une pression d'oxygène par exemple de 20 bars, la pente à l'origine est plus importante et on
20 accélère la vitesse d'introduction d'oxygène par un facteur 100.

Il est à noter que la couche de cuivre utilisée comme élément témoin dans chaque cavité peut s'oxyder en quelques heures en présence de pressions partielles d'oxygène supérieures ou égales à environ 1 mbar, c'est-à-dire environ 100 fois inférieures à la pression d'équilibre. De ce fait, lorsque les composants
25 micrométriques sont soumis à une pression d'oxygène de 15 bars ou de 20 bars à une température par exemple de 120 ou 150 °C, la couche de cuivre a tendance à s'oxyder simultanément à l'introduction d'oxygène à l'intérieur de la cavité.

Dans chaque cavité close de volume V proche de $0,02 \text{ mm}^3$, la masse de cuivre est d'environ 1,03 ng avec une couche de cuivre de 70 μm de diamètre et une
30 épaisseur de 30 nm. Avec une telle couche de cuivre, il suffit de $4,08 \cdot 10^{-12}$ mole d'oxygène pour former une couche d'oxyde de cuivre facile à détecter optiquement en transmission. Pour garantir une constante de temps d'égaleisation de 20 années avec une pression partielle ambiante de 200 mbar, le taux de fuite défini par la formule $L = p_0 \cdot V/\tau$ est de $6,34 \cdot 10^{-15} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$. Par conversion en flux moléculaire défini par la
35 formule $(dn/dt) = L/R \cdot T$ où R vaut $8,31 \text{ J/K} \cdot \text{mole}$ et T vaut 393 K, on trouve que la fuite d'oxygène doit être inférieure à $1,94 \cdot 10^{-19} \text{ mole/s}$.

Dans une enceinte à 20 bars d'oxygène, cette fuite sera 100 fois plus forte, c'est-à-dire $1,94 \cdot 10^{-17}$ mole/s. Ainsi, il faut un peu plus de 58 h d'exposition des plaquettes de composants micrométriques dans l'enceinte pour pouvoir introduire les $4,08 \cdot 10^{-12}$ mole d'oxygène nécessaire à une oxydation quantifiable de la couche de cuivre. Comme décrit ci-dessus, il faut atteindre au moins 1 mbar de pression d'oxygène dans la cavité, ce qui représente $4,9 \cdot 10^{-13}$ mole, ce qui correspond à un temps mort supplémentaire de 7 h indépendant du volume de la cavité. Ainsi, les plaquettes de composants micrométriques doivent être laissées dans l'enceinte sous une pression d'oxygène de 20 bars à une température de 120 °C pendant une période de temps déterminée de 65 h.

Après la période de temps déterminée, l'enceinte 30 montrée à la figure 3 est dépressurisée en ouvrant les seconde et troisième conduites 38 et 39, et refroidie. Puis l'enceinte est ouverte pour sortir le réceptacle 43 portant les plaquettes 1' pour les opérations de contrôle optique du procédé selon l'invention. Ces opérations de contrôle optique sont expliquées notamment en référence aux figures 4 à 6 et 9.

A la figure 4, il est représenté une machine de mesure 50 pour le contrôle par voie optique de l'herméticité de la cavité d'au moins certains composants 1 des plaquettes 1'. Tous les éléments de la machine, qui sont bien connus dans le domaine technique de contrôle optique, sont représentés de manière très simplifiée. Bien entendu, chaque élément représenté pour la mesure optique peut être d'une forme différente de celle présentée sur cette figure 4.

La machine de mesure 50 comprend une base 54 sur laquelle est monté un support mobile 51 qui peut être déplacé selon les directions X et Y. Des moyens 56 schématiquement représentés servent de guidage du support mobile 51 sur la base 54. Le support mobile 51 comprend un évidement 53 en son centre lui conférant une forme en U. Un rebord 52 du côté de l'évidement 53 est pratiqué sur la partie supérieure du support mobile 51 afin de pouvoir positionner et maintenir une plaquette 1' de composants micrométriques 1 à contrôler. La plaquette 1' est ainsi positionnée distante de la partie basse de l'évidement 53.

Pour la mesure optique, la machine de mesure 50 comprend une source de lumière 20 fixée à l'extrémité libre d'un bras 57 dont l'autre extrémité est fixée à une paroi frontale 55 de la machine de mesure 50. La machine de mesure comprend encore un capteur d'image 21 fixé à l'extrémité libre d'un bras 58, dont l'autre extrémité est fixée à la paroi frontale de la machine. Des moyens d'alimentation en électricité et de traitement des informations non représentés sont disposés dans la machine de mesure.

Le bras 57 portant à son extrémité libre la source de lumière 20 est situé dans l'évidemment 53 prévu sur le support mobile 51 entre la partie basse du support et le dos de la plaquette 1' à contrôler. Après avoir positionné la plaquette 1' de composants micrométriques à l'aide du support mobile 51 pour le contrôle de
5 l'élément témoin 4 d'un des composants 1, la source de lumière 20 est enclenchée. Cette source de lumière 20 fournit au moins un faisceau de lumière IR d'une longueur d'onde déterminée qui traverse perpendiculairement la plaquette dans une des zones de mesure du composant micrométrique 1 positionné. Le capteur d'image positionné au dessus de la plaquette 1' reçoit le faisceau de lumière IR afin de déterminer en
10 fonction de la transparence, voire de la couleur de la couche de cuivre l'herméticité dudit composant.

La longueur d'onde du faisceau de lumière de la source de lumière doit être proche de 850 nm dans l'infrarouge proche si le substrat et chaque capot sont réalisés en verre, ou proche de 1,3 μm si le substrat et/ou chaque capot sont réalisés
15 dans un matériau semi-conducteur, tel que du silicium. Dans le premier cas, il peut être utilisé des diodes LED (880 nm ou 950 nm) ou un laser semi-conducteur (780 nm) comme source de lumière 20 et un capteur du type CCD comme capteur d'image 21. Dans le second cas, il est utilisé un laser semi-conducteur à 1,3 μm , et un imageur infrarouge adéquat comme capteur d'image 21.

20 De préférence, comme montré dans les deux formes d'exécution des figures 5 et 6, un premier faisceau de lumière IR1 émis par la source de lumière traverse un composant micrométrique 1 de la plaquette 1' en passant par la première zone de mesure de l'ouverture 7 à travers la couche de cuivre 4 afin d'être capté par le capteur d'image 21. Ensuite de quoi après avoir déplacé la plaquette 1', un second faisceau
25 de lumière IR2 émis par la source de lumière traverse ledit composant en passant par la seconde zone de mesure de l'ouverture 7 à côté de la couche de cuivre. De cette façon une mesure optique comparative peut être réalisée. Cette mesure comparative peut permettre aux moyens de traitement de l'information de calculer un rapport relatif de la transmission optique entre une couche de cuivre oxydée et une couche de
30 cuivre non oxydée. Ainsi, un contrôle d'herméticité ou un taux de fuite du composant peut être déterminé.

La figure 9 représente un graphique de transmission optique des couches de cuivre de 30 nm d'épaisseur dans un état oxydé ou dans un état non oxydé en fonction de la longueur d'onde du faisceau de lumière. On remarque bien sur cette
35 figure 9, que la différence de transmission d'un faisceau de lumière à travers une couche de cuivre oxydée et une couche de cuivre non oxydée augmente avec la longueur d'onde au-delà de 580 nm.

Alors que la couche de cuivre devient de plus en plus opaque vers l'infrarouge, l'oxyde de cuivre devient lui de plus en plus transparent, d'où un contraste de mesure élevé. En déterminant le rapport de transmission T_{ox}/T_{cu} entre la couche de cuivre oxydée et la couche de cuivre non oxydée, on obtient une référence définie à 100% à 5 850 nm de longueur d'onde du faisceau de lumière fourni par la source de lumière et capté par le capteur d'image. On constate que le rapport de transmission dans l'infrarouge est supérieur à 10, alors que dans le vert, ce facteur est inférieur à 2,5.

A la figure 7, il est représenté une troisième forme d'exécution d'un composant micrométrique 1 pour la mise en œuvre du procédé de contrôle de l'herméticité par 10 voie électrique. Il est à noter que les éléments de la figure 7, qui correspondent à ceux des figures 1 et 2, portent des signes de référence identiques. De ce fait par simplification, il ne sera pas répété la description de ces éléments.

Pour le contrôle de l'herméticité de la cavité 14 du composant micrométrique 1 par voie électrique, il est prévu en lieu et place d'une couche de cuivre, d'une 15 résistance en palladium 15 logée intégralement dans ladite cavité close. De manière à avoir une valeur de résistance significative susceptible de pouvoir être aisément mesurée par un appareil de mesure, la résistance décrit un serpentín dans la cavité. Bien entendu, la longueur du serpentín peut être beaucoup plus grande que ce qui est illustré à la figure 7. Cette résistance en palladium peut être réalisée par un procédé 20 électrolytique, par gravure chimique, ou d'une autre manière connue.

Une troisième piste conductrice 16 relie une première extrémité de la résistance 15 à une troisième borne de contact électrique 17 placée à l'extérieur de la cavité 14 sur le substrat 2. Une quatrième piste conductrice 18 relie une seconde 25 extrémité de la résistance 15 à une quatrième borne de contact 19 placée à l'extérieur de la cavité 14 sur le substrat 2. Chaque borne de contact 17 et 19 peut être connectée à des bornes de contact d'un circuit électronique ou à des bornes de contact d'un appareil électronique de mesure non représentés.

La valeur de la résistance en palladium a la faculté de changer en présence d'hydrogène en tant que fluide réactif. Il est à noter que le palladium possède la 30 propriété d'absorber à température ambiante jusqu'à 900 fois son volume d'hydrogène. Ceci correspond à une fraction atomique d'environ 50%. De ce fait, grâce à cette résistance 15 en palladium dans la cavité 14 du composant micrométrique 1 et au procédé de contrôle décrit ci-devant, il est possible de contrôler par voie électrique l'herméticité de ladite cavité close ou définir un taux de fuite de 35 cette cavité.

Grâce aux éléments témoins placés dans chaque cavité des composants micrométriques d'une ou plusieurs plaquettes de composants, il est possible

d'effectuer des mesures indirectes par cumul dans l'élément témoin du fluide réactif ayant pénétré dans la cavité. L'élément témoin dans la cavité change ses propriétés optiques ou électriques en fonction du gaz réactif introduit dans ladite cavité. Ceci procure l'avantage qu'il est possible d'employer le même procédé de contrôle de l'herméticité pour des composants micrométriques ayant des fuites grossière ou fine de leur cavité.

A partir de la description qui vient d'être faite, de multiples variantes de réalisation du procédé de contrôle de l'herméticité d'une cavité close d'au moins un composant micrométrique peuvent être conçues par l'homme du métier sans sortir du cadre de l'invention définie par les revendications. Dans le cas d'un contrôle par voie optique, il peut être prévu d'opérer une mesure de la couche de cuivre par réflexion d'un faisceau de lumière sur la couche de cuivre en lieu et place d'une transmission à travers le composant micrométrique. Cette couche de cuivre peut recouvrir complètement la surface intérieure de chaque capot et/ou chaque zone intérieure du substrat. Le contrôle optique de la couche de cuivre peut être pratiqué à l'aide de moyens de mesure disposés dans l'enceinte, ou visuellement sous un microscope par exemple.

REVENDICATIONS

1. Procédé de contrôle de l'herméticité d'une cavité close (14) d'au moins un composant micrométrique (1) qui comprend une structure (5, 6, 10) réalisée sur ou dans une portion d'un substrat (2) et un capot (3) fixé sur une zone du substrat pour protéger la structure, la cavité étant délimitée par la surface intérieure du capot, la
5 structure et la zone du substrat, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend des étapes consistant à :

- placer le composant micrométrique (1) dans une enceinte (30), ledit composant comprenant à l'intérieur de la cavité (14) un élément témoin (4) pour le contrôle d'herméticité dont les propriétés optiques changent de manière permanente
10 en présence d'un fluide réactif susceptible de réagir avec l'élément témoin,
 - fermer hermétiquement l'enceinte qui comprend ledit composant,
 - remplir l'enceinte d'un fluide réactif sous pression pour soumettre ledit composant à une pression du fluide supérieure à la pression dans la cavité pendant une période de temps déterminée, telle que quelques jours, l'enceinte comprenant
15 des moyens (35 à 39) pour l'introduction du fluide réactif, et
- contrôler la variation des propriétés de l'élément témoin (4) par voie optique en fonction de la quantité de fluide réactif ayant pénétré dans la cavité (14) et réagi avec l'élément témoin pour déterminer l'herméticité de ladite cavité.

2. Procédé de mesure de l'herméticité d'une cavité close (14) d'au moins
20 un composant micrométrique (1) qui comprend une structure (5, 6, 10) réalisée sur ou dans une portion d'un substrat (2) et un capot (3) fixé sur une zone du substrat pour protéger la structure, la cavité étant délimitée par la surface intérieure du capot, la structure et la zone du substrat, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend des étapes consistant à :

- 25 - placer le composant micrométrique (1) dans une enceinte (30), ledit composant comprenant à l'intérieur de la cavité un élément témoin (15) pour le contrôle d'herméticité dont les propriétés électriques changent de manière permanente en présence d'un fluide réactif susceptible de réagir avec l'élément témoin,
30 - fermer hermétiquement l'enceinte qui comprend ledit composant,
 - remplir l'enceinte d'un fluide réactif sous pression pour soumettre ledit composant à une pression du fluide supérieure à la pression dans la cavité pendant une période de temps déterminée, telle que quelques jours, l'enceinte comprenant des moyens pour l'introduction (35 à 39) du fluide réactif, et

- contrôler électriquement la variation des propriétés de l'élément témoin en fonction de la quantité de fluide réactif ayant pénétré dans la cavité et réagi avec l'élément témoin pour déterminer l'herméticité de ladite cavité.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que plusieurs plaquettes (1'), qui comprennent chacune plusieurs composants micrométriques (1) réalisés sur un même substrat (2) et ayant une plaque (3') de capots (3) fixée sur le substrat pour enfermer chaque structure des composants micrométriques, sont placées dans l'enceinte (30) pour être mises sous pression par le fluide réactif introduit dans l'enceinte pendant une période de temps déterminée.

10 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'intérieur de l'enceinte (30) remplie du fluide réactif est chauffée à une température supérieure à la température ambiante, de préférence à une température supérieure à 100 °C par des moyens de chauffage (40, 41) pendant la période de temps déterminée.

5. Procédé selon la revendication 1, pour lequel la cavité (14) du
15 composant micrométrique (1) ou chaque cavité de composants micrométriques, réalisés sur un même substrat (2) d'au moins une plaquette (1') et ayant une plaque (3') de capots (3) fixée sur le substrat pour enfermer chaque structure des composants micrométriques, comprend un gaz inerte, tel que de l'argon, à pression voisine de la pression atmosphérique, et pour lequel l'élément témoin (4) est une
20 couche de cuivre ou de titane obtenue par gravure chimique sélective ou par dépôt sélectif par évaporation sous vide sur une partie de la surface intérieure de chaque capot (3) ou sur une partie de chaque zone du substrat (2), caractérisé en ce que l'enceinte (30) est remplie d'oxygène en tant que fluide réactif à une pression supérieure à 10 bars, de préférence sensiblement égale à 15 bars ou 20 bars pour
25 que les propriétés optiques de la couche de cuivre ou de titane se modifient par oxydation en fonction de la quantité d'oxygène ayant pénétré dans la cavité pendant la période de temps déterminée.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'après la période de temps déterminée et avant l'opération de contrôle des propriétés optiques de la
30 couche (4) de cuivre ou de titane, l'enceinte (30) est dépressurisée et ouverte, en ce que le composant micrométrique (1) ou au moins une plaquette (1') de composants micrométriques est retiré de l'enceinte et placé sur un support mobile (51) d'une machine de mesure (50) pour le contrôle de l'herméticité, et en ce que pour le contrôle de l'herméticité, au moins un faisceau de lumière (IR) de longueur d'onde
35 déterminée, qui est émis par une source de lumière (20) de la machine de mesure, est dirigé vers la couche de cuivre ou de titane, afin d'être capté par un capteur d'image (21) de la machine de mesure par réflexion du faisceau de lumière sur la

couche de cuivre ou de titane ou par transmission du faisceau de lumière à travers le composant micrométrique en passant par la couche de cuivre ou de titane, le substrat et/ou le capot étant transparent au faisceau de lumière de longueur d'onde déterminée.

5 7. Procédé selon la revendication 6, pour lequel la structure de chaque composant micrométrique est un micro-contacteur magnétique (5, 6, 10) qui comprend une première lame conductrice (6), dont une extrémité est solidaire du substrat par l'intermédiaire d'un pied conducteur (5), et l'autre extrémité de la première lame est libre de mouvement pour venir en contact avec une seconde lame
10 conductrice (10) fixée sur le substrat (2) en présence d'un champ magnétique, une partie intermédiaire de la première lame ayant une ouverture (7) s'étendant sur la majeure partie de sa longueur, la distance séparant le pied de la première lame et une extrémité de la seconde lame correspondant à la longueur de l'ouverture, et pour lequel la couche (4) de cuivre ou de titane distante et en regard de l'ouverture (7) a
15 une épaisseur comprise entre 10 et 100 nm, de préférence 30 nm, et une surface de dimension inférieure à la dimension de la surface de l'ouverture pour définir à travers l'ouverture des première et seconde zones de mesure, caractérisé en ce que pour le contrôle des propriétés optiques de la couche de cuivre ou de titane, un premier faisceau de lumière (IR1) émis par la source de lumière (20) traverse le composant
20 micrométrique (1) en passant par la première zone de mesure à travers la couche de cuivre ou de titane afin d'être capté par le capteur d'image (21) de la machine (50), en ce qu'un second faisceau de lumière (IR2) émis par la source de lumière traverse le composant micrométrique en passant par la seconde zone de mesure sans traverser la couche de cuivre ou de titane afin d'être capté par le capteur d'image, et en ce que
25 des moyens de traitement de la machine de mesure déterminent par comparaison d'intensités lumineuses des premier et second faisceaux captés par le capteur d'image un taux de fuite de la cavité du composant micrométrique.

8. Procédé selon l'une des revendications 6 et 7, pour lequel le substrat (2) et/ou le capot (3) de chaque composant micrométrique (1) est en silicium, caractérisé
30 en ce que les premier et second faisceaux de lumière (IR1, IR2) sont émis par la source de lumière (20) avec une longueur d'onde de l'ordre de 1,3 μm .

9. Procédé selon l'une des revendications 6 et 7, pour lequel le substrat (2) et/ou le capot (3) de chaque composant micrométrique (1) est en verre, caractérisé en
ce que les premier et second faisceaux de lumière (IR1, IR2) sont émis par la source
35 de lumière (20) avec une longueur d'onde dans le domaine infrarouge proche, notamment proche de 850 nm.

10. Procédé selon la revendication 2, pour lequel la cavité (14) du composant micrométrique (1) ou chaque cavité de composants micrométriques, réalisés sur un même substrat (2) d'au moins une plaquette (1') et ayant une plaque (3') de capots (3) fixée sur le substrat pour enfermer chaque structure (5, 6, 10) des composants micrométriques, comprend un gaz inerte, tel que de l'argon, à pression voisine de la pression atmosphérique, et pour lequel l'élément témoin (15) est une résistance en palladium réalisée sur une partie de chaque zone du substrat, des pistes conductrices (16, 18) isolées reliant la résistance et traversant le composant micrométrique pour un contrôle des propriétés électriques, caractérisé en ce que l'enceinte (30) est remplie d'hydrogène en tant que fluide réactif à une pression supérieure à 10 bars, de préférence sensiblement égale à 15 bars ou 20 bars pour que la valeur de la résistance en palladium se modifie en fonction de la quantité d'hydrogène ayant pénétré dans la cavité pendant la période de temps déterminée.

11. Composant micrométrique (1) convenant à la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications précédentes, le composant comprenant une structure (5, 6, 10) réalisée sur ou dans une portion d'un substrat (2) et un capot (3) fixé sur une zone du substrat pour protéger la structure, une cavité close (14) étant délimitée par la surface intérieure du capot, la structure et la zone du substrat, caractérisé en ce qu'il comprend à l'intérieur de la cavité un élément témoin (4, 15) pour le contrôle d'herméticité dont les propriétés optiques ou électriques changent de manière permanente en présence d'un fluide réactif susceptible de réagir avec l'élément témoin afin de permettre un contrôle de l'herméticité de la cavité dudit composant.

12. Composant micrométrique (1) selon la revendication 11, caractérisé en ce que la cavité (14) comprend un gaz inerte, tel que l'argon, à pression voisine de la pression atmosphérique, et en ce que l'élément témoin (4) est une couche de cuivre ou de titane sensible à l'oxygène en tant que fluide réactif, ladite couche étant obtenue par gravure chimique sélective ou par dépôt sélectif par évaporation sous vide sur une partie de la surface intérieure du capot (3) ou sur une partie de la zone du substrat (2) .

13. Composant micrométrique (1) selon la revendication 12, caractérisé en ce que l'épaisseur de la couche (4) de cuivre est comprise entre 10 et 100 nm, de préférence égale à 30 nm.

14. Composant micrométrique (1) selon la revendication 13, caractérisé en ce que la structure est un micro-contacteur magnétique (5, 6, 10) qui comprend une première lame conductrice (6), dont une extrémité est solidaire du substrat (2) par l'intermédiaire d'un pied conducteur (5), et l'autre extrémité de la première lame est libre de mouvement pour venir en contact avec une seconde lame conductrice (10)

fixée sur le substrat en présence d'un champ magnétique, une partie intermédiaire de la première lame ayant une ouverture (7) s'étendant sur la majeure partie de sa longueur, la distance séparant le pied de la première lame et une extrémité de la seconde lame correspondant à la longueur de l'ouverture, et en ce que la couche (4) de cuivre distante et en regard de l'ouverture (7) a une surface de dimension inférieure à la dimension de la surface de l'ouverture pour définir à travers l'ouverture des première et seconde zones de mesure pour le passage de faisceaux de lumière de contrôle de l'herméticité.

15 10 15. Composant micrométrique (1) selon la revendication 11, caractérisé en ce que le substrat (2) et/ou le capot (3) sont en verre ou en silicium.

16. Composant micrométrique (1) selon la revendication 11, caractérisé en ce que la cavité (14) comprend un gaz inerte, tel que l'argon, à pression voisine de la pression atmosphérique, et en ce que l'élément témoin (15) est une résistance en palladium réalisée sur une partie de la zone du substrat (2), des pistes conductrices isolées reliant la résistance et traversant le composant micrométrique convenant à un contrôle des propriétés électriques.

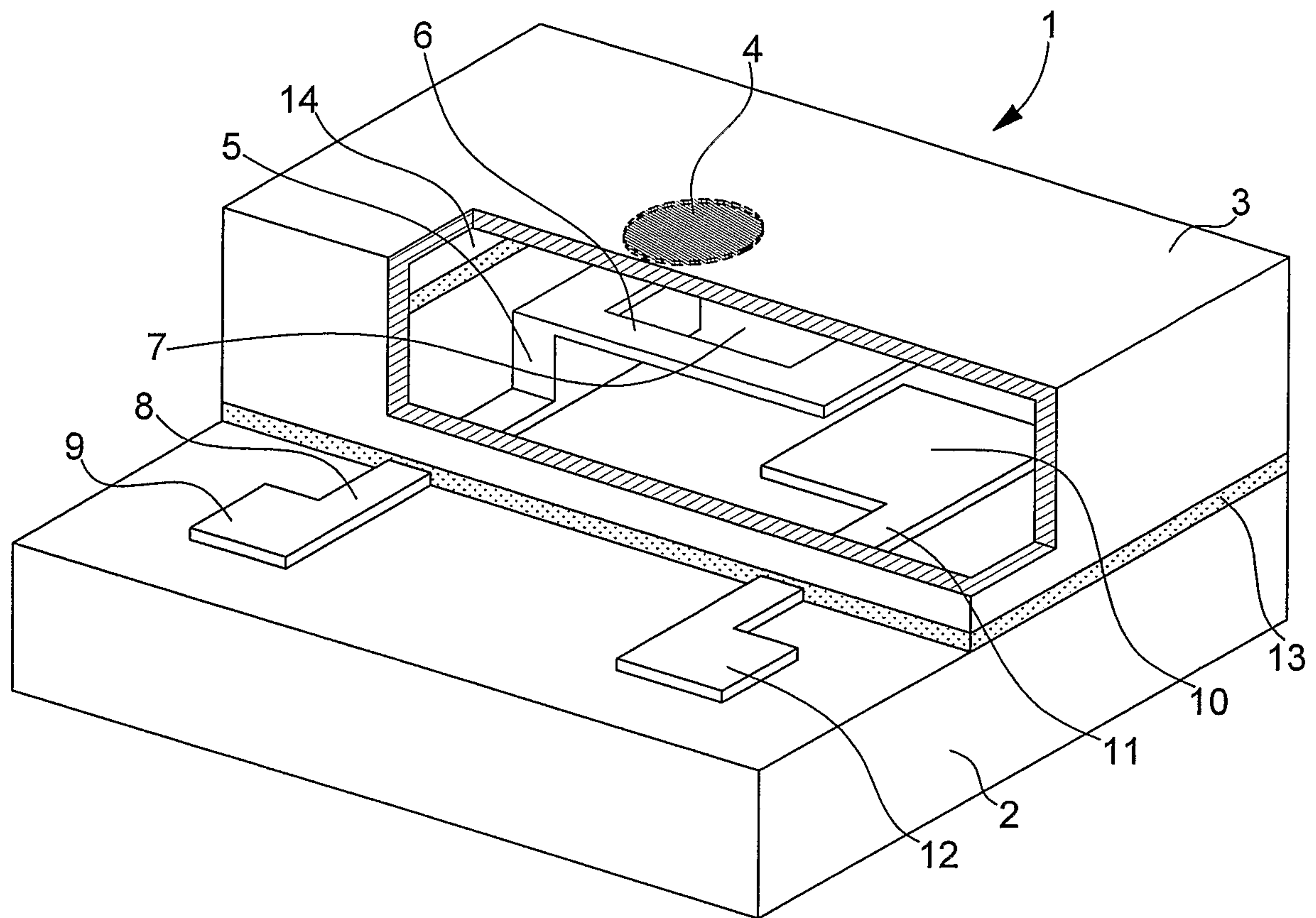


Fig. 1

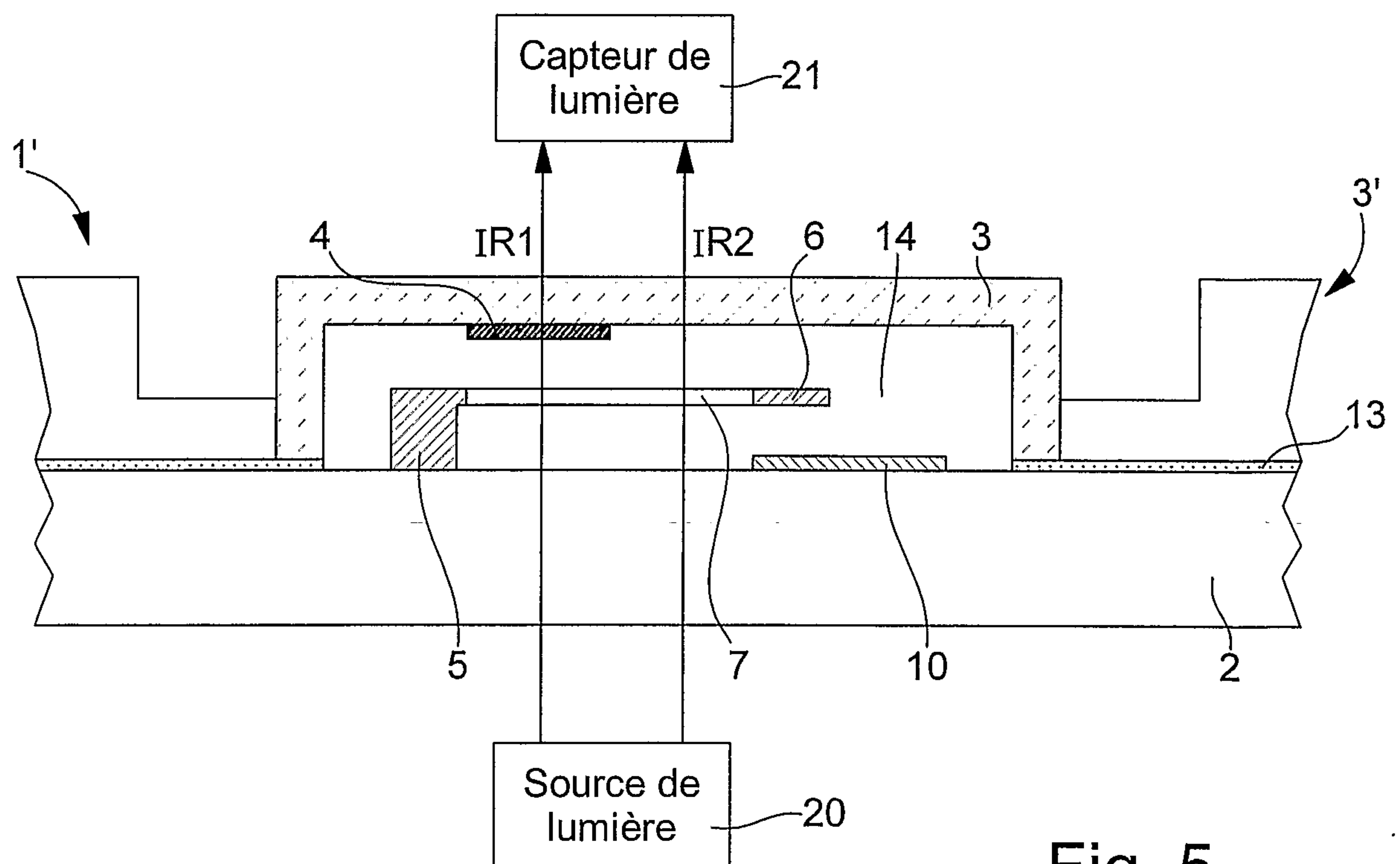


Fig. 5

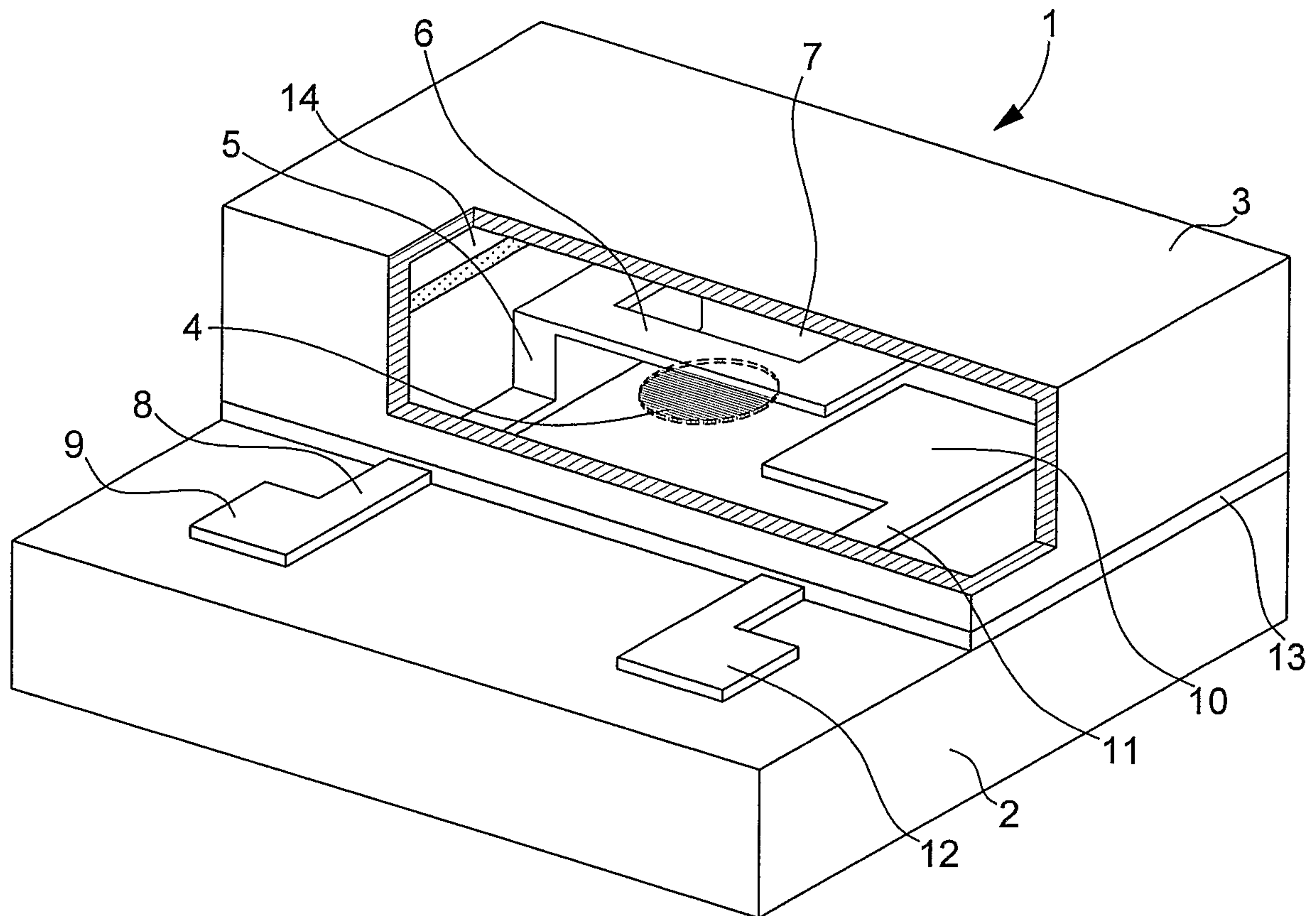


Fig. 2

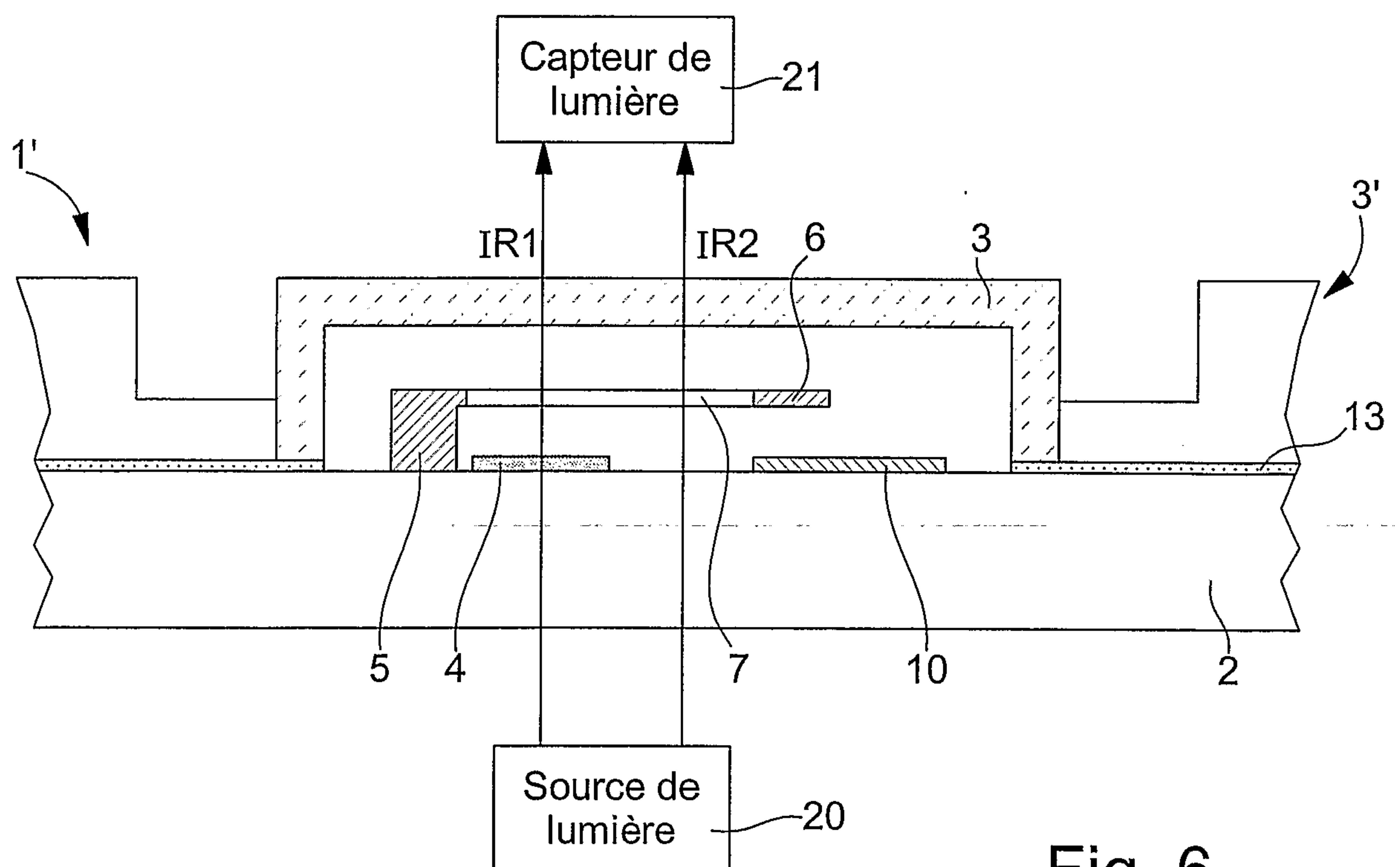


Fig. 6

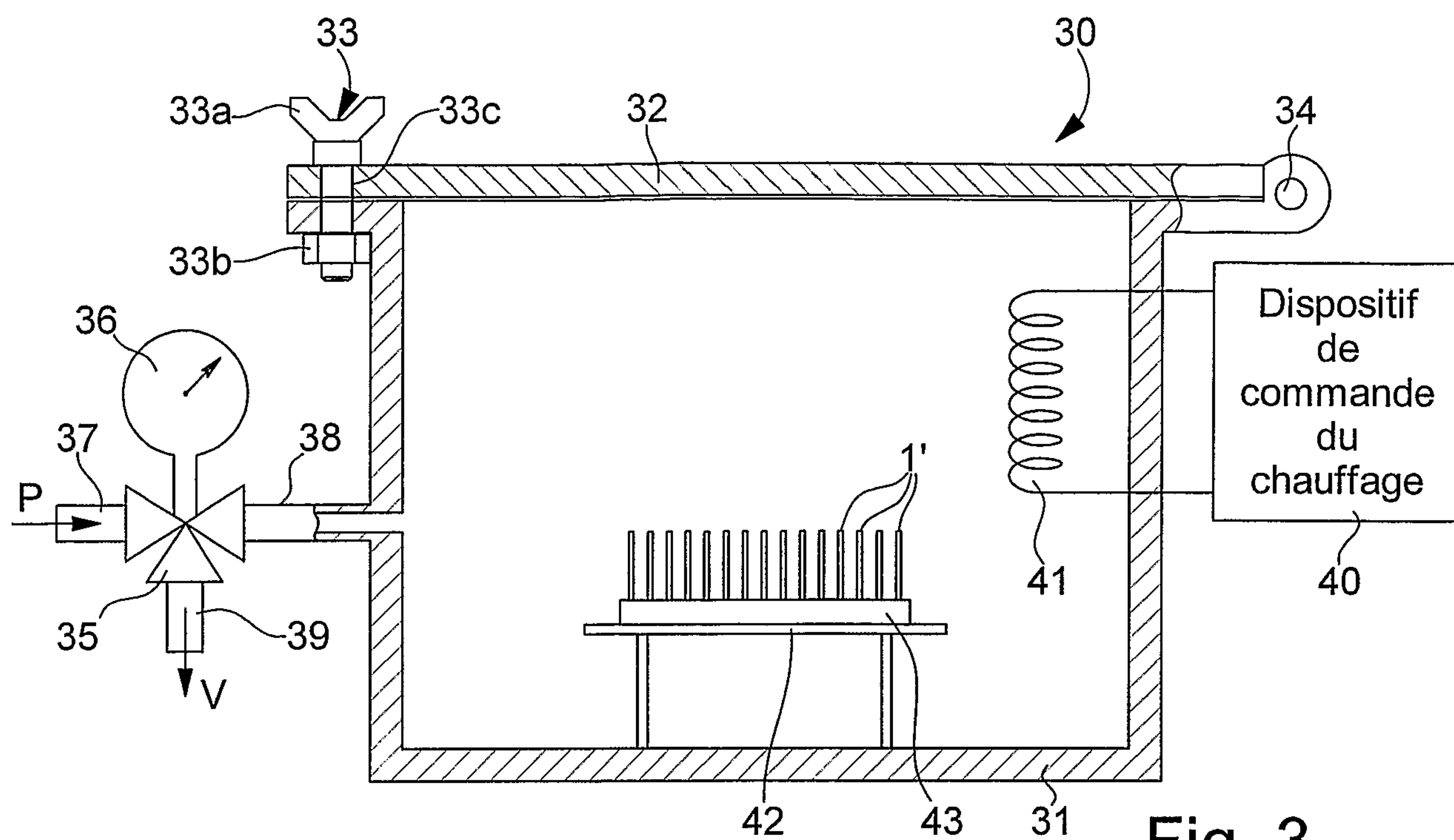


Fig. 3

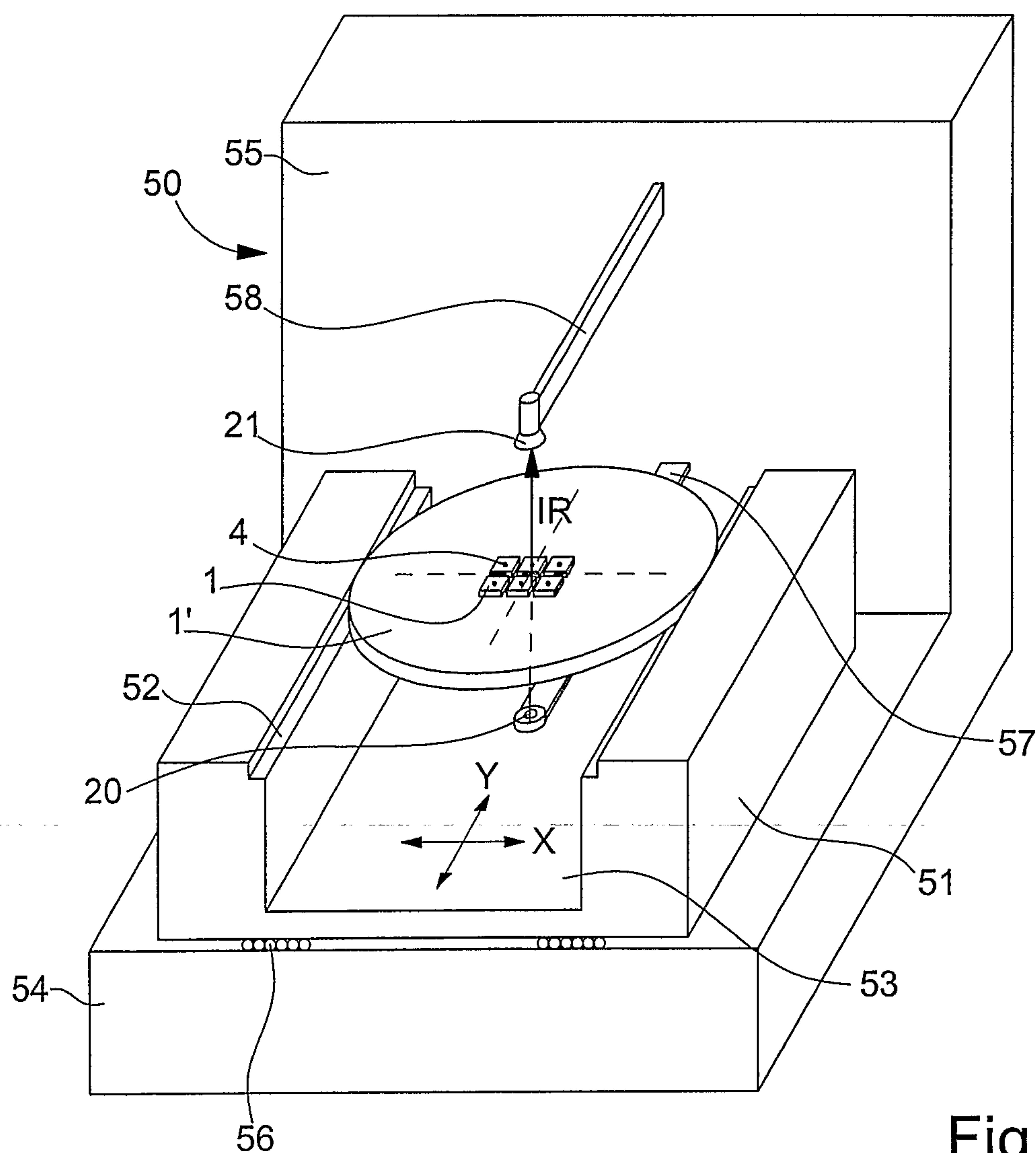


Fig. 4

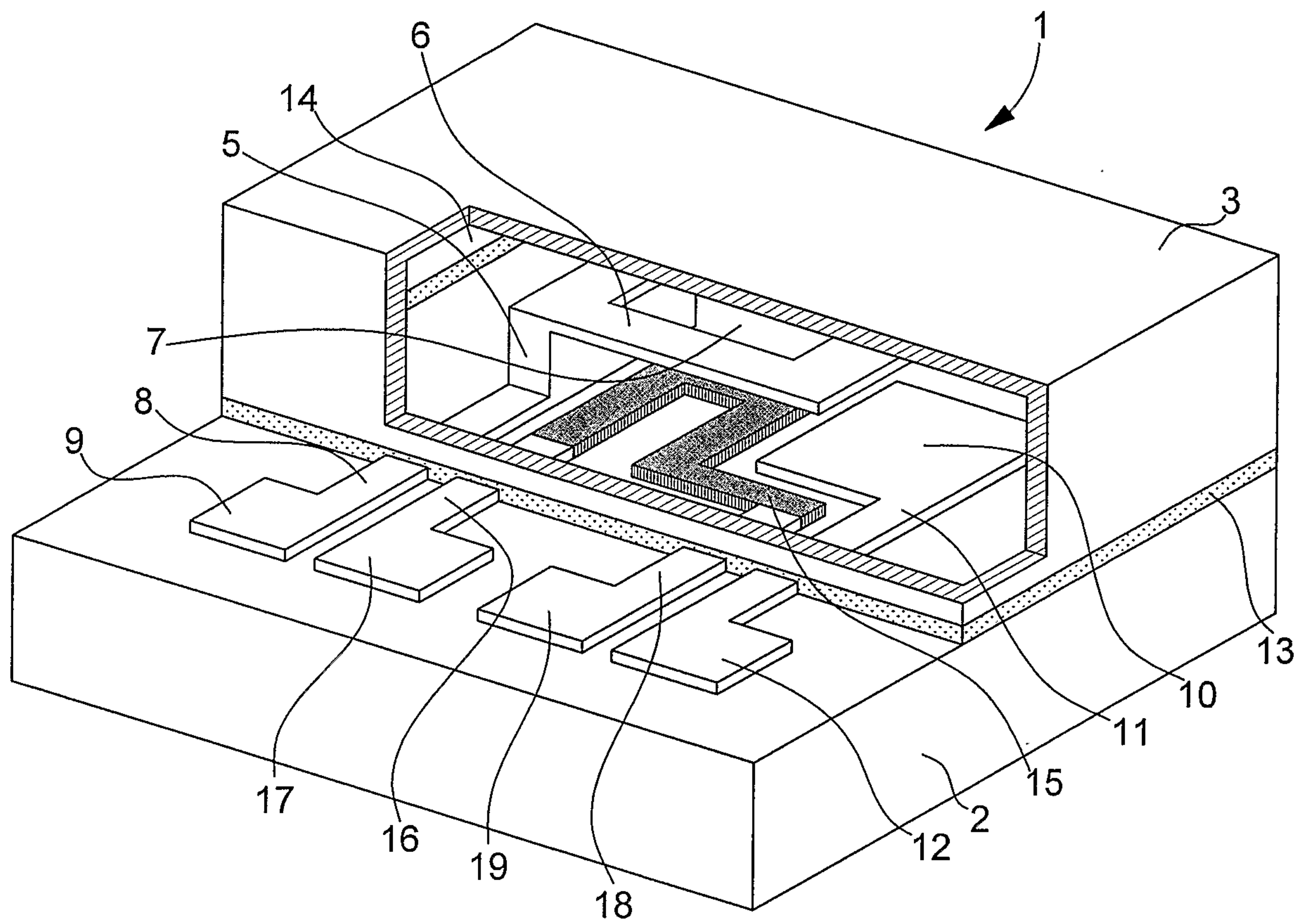


Fig. 7

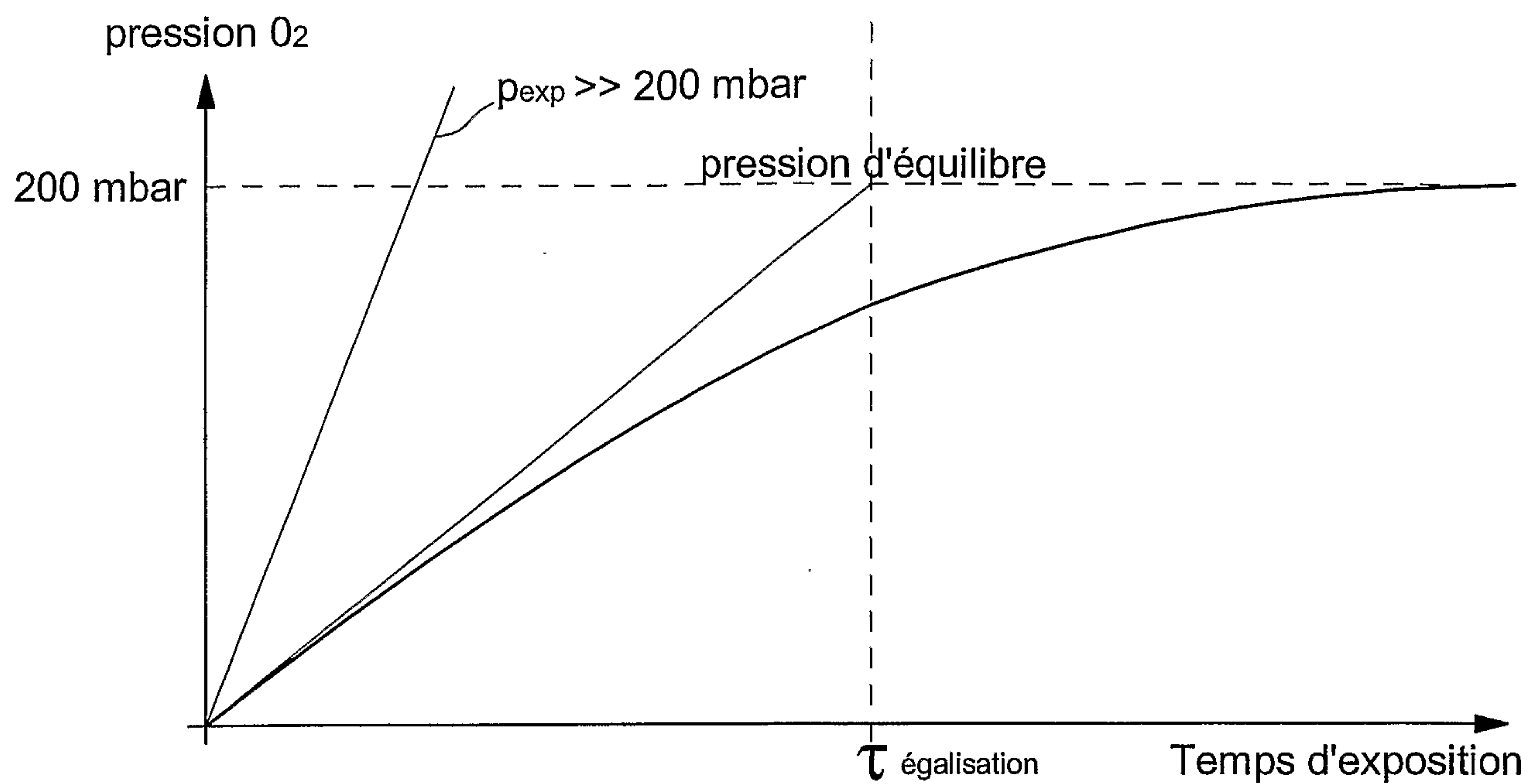


Fig. 8

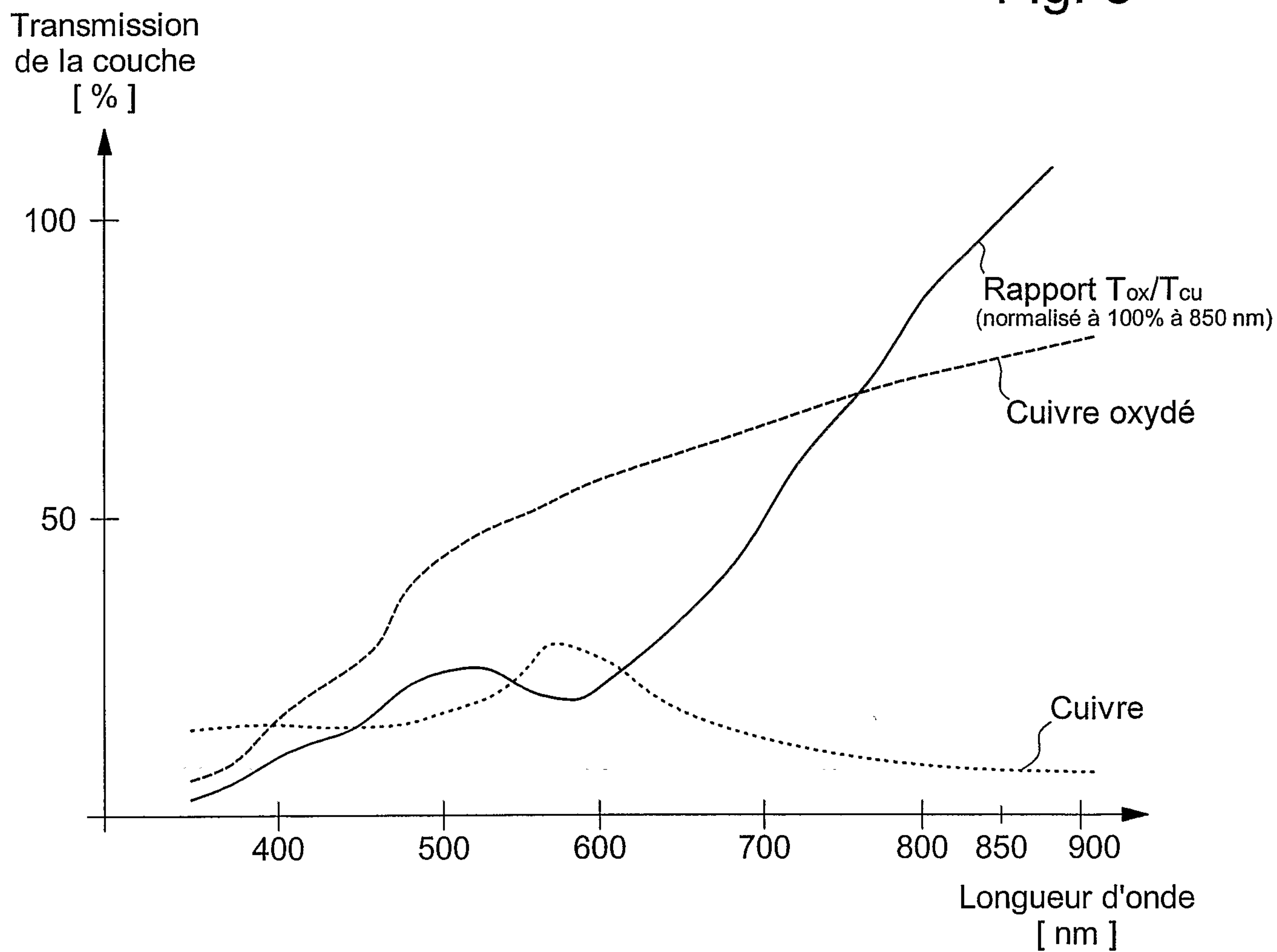


Fig. 9

