

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication : **3 142 546**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **22 12455**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 01 J 5/00 (2023.01)**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Dispositif de détection d'un rayonnement électromagnétique et procédé de fabrication.

②2 Date de dépôt : 29.11.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 31.05.24 Bulletin 24/22.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 13.12.24 Bulletin 24/50.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

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

⑦2 Inventeur(s) : YON Jean-Jacques, DUMONT
Geoffroy et CARLE Laurent.

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

⑦4 Mandataire(s) : HAUTIER IP.

FR 3 142 546 - B1



Description

Titre de l'invention : Dispositif de détection d'un rayonnement électromagnétique et procédé de fabrication

Domaine technique

[0001] Le domaine de l'invention est celui des dispositifs de détection de rayonnement électromagnétique, en particulier infrarouge ou térahertz, comportant au moins un détecteur thermique, par exemple un micro-bolomètre, encapsulé dans une cavité. L'invention s'applique notamment au domaine de l'imagerie infrarouge ou térahertz, de la thermographie, de la détection de présence, voire de la détection de gaz.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Les dispositifs de détection de rayonnement électromagnétique, par exemple infrarouge ou térahertz, peuvent comprendre une matrice de détecteurs thermiques comportant chacun une membrane apte à absorber le rayonnement électromagnétique à détecter et contenant un transducteur thermométrique tel qu'un matériau thermistance. Pour assurer l'isolation thermique des transducteurs thermométriques vis-à-vis du substrat de lecture sur lequel sont fabriqués les détecteurs, les membranes absorbantes sont habituellement suspendues au-dessus du substrat par l'intermédiaire de piliers d'ancrage et sont isolées thermiquement de ceux-ci par des bras d'isolation thermique. Ces piliers d'ancrage et bras d'isolation thermique présentent également une fonction électrique en connectant les membranes absorbantes au circuit de lecture généralement disposé dans le substrat.

[0003] Pour assurer un fonctionnement optimal des détecteurs thermiques, un faible niveau de pression peut être requis. Pour cela, les détecteurs thermiques sont généralement confinés, ou encapsulés, seuls ou à plusieurs, dans au moins une cavité hermétique sous vide ou à pression réduite.

[0004] Parmi les différentes techniques utilisées pour encapsuler les détecteurs thermiques (intégration dans un boîtier hermétique, assemblage hermétique avec un deuxième substrat, confinement par dépôts de couches minces), une cavité hermétique délimitée avec le substrat de lecture par une structure d'encapsulation formée de couches minces est une technique particulièrement adaptée à la fabrication en grand volume et à faible coût de dispositifs de détection de rayonnement.

[0005] Le document FR2003858 décrit un exemple d'un tel procédé d'encapsulation pour la fabrication d'un dispositif de détection 1, illustré ici sur la [Fig.1], dont les détecteurs thermiques sont disposés dans une cavité 2 formée au sein d'une structure d'encapsulation sur le substrat de lecture 100. Le procédé utilise deux couches sacrificielles minérales pour réaliser successivement les détecteurs thermiques reliés aux

piliers d'ancrage 21, puis la partie supérieure de la structure d'encapsulation. Ces couches sacrificielles sont ensuite supprimées par une gravure chimique en phase vapeur. La partie supérieure de la structure d'encapsulation est formée par une couche mince 23 dite d'encapsulation et par une couche mince 24 dite de scellement visant à obturer des événements 230 utilisés pour supprimer les couches sacrificielles. La couche d'encapsulation 23 s'étend ici continûment au-dessus des détecteurs thermiques et à la surface d'une portion non gravée de la deuxième couche sacrificielle. Elle s'étend continûment aussi dans des portions verticales pour former des piliers de support 22 de la structure d'encapsulation qui sont positionnés en appui sur les piliers d'ancrage 21. Une couche 3 électriquement isolante est en outre prévue entre les piliers d'ancrage 21 et les piliers de support 22, pour isoler électriquement les détecteurs thermiques supportés par les piliers d'ancrage 21.

[0006] Les piliers de support de la structure d'encapsulation ont notamment pour fonction de maintenir l'intégrité mécanique de la structure d'encapsulation qui est soumise aux forces de la pression atmosphérique extérieure à la cavité. Les piliers de support sont donc prévus pour supporter des efforts en compression. Un inconvénient de cette solution est que la couche à l'interface entre les piliers de support et les piliers d'ancrage ne présente pas une forte adhérence avec les piliers d'ancrage. En conséquence, si la structure d'encapsulation est soumise à une force de traction, les piliers de support peuvent se désolidariser des piliers d'ancrage. De telles forces de traction peuvent typiquement être induites par des contraintes mécaniques différentielles existant entre le substrat de lecture et la structure d'encapsulation.

[0007] Il subsiste donc un besoin de disposer d'un procédé de fabrication d'une structure d'encapsulation dont la tenue mécanique est améliorée. Un objectif de l'invention est de répondre à ce besoin.

[0008] En particulier, un objet de l'invention est un dispositif de détection permettant d'améliorer la tenue mécanique de la structure d'encapsulation, limitant notamment le risque de décollement entre des piliers de support de la structure d'encapsulation et des piliers d'ancrage supportant les détecteurs. Un autre objet de l'invention est un procédé de réalisation d'un tel dispositif.

[0009] Les autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à l'examen de la description suivante et des dessins d'accompagnement. Il est entendu que d'autres avantages peuvent être incorporés.

RESUME

[0010] Pour atteindre cet objectif, selon un mode de réalisation on prévoit un dispositif de détection d'un rayonnement électromagnétique, comprenant au moins un détecteur disposé au sein d'une cavité formée par une structure d'encapsulation, ladite structure d'encapsulation comprenant des piliers d'ancrage dont l'un au moins est relié à l'au

moins un détecteur, et des piliers de support surmontant lesdits piliers d'ancrage.

[0011] Avantageusement, les piliers de support présentent une portion s'étendant sur au moins un flanc des piliers d'ancrage.

[0012] Cela permet d'augmenter la surface de contact des piliers de support avec la structure sous-jacente. La force d'adhésion est ainsi améliorée. Par ailleurs, les piliers de support sont au moins partiellement en contact direct avec les piliers d'ancrage, par l'intermédiaire de la portion s'étendant sur le flanc des piliers d'ancrage. Ce contact direct offre une force d'adhésion typiquement plus grande qu'un contact indirect via une couche d'isolation électrique intercalée entre les piliers d'ancrage et les piliers de support, comme divulguée par le document FR2003858. La tenue mécanique est encore améliorée.

[0013] Dans le cadre du développement de la présente invention, il a en effet été constaté que la couche d'isolation électrique, typiquement formée par un empilement de couches minces, pouvait se délaminer ou se détacher du pilier d'ancrage sous l'effet d'un effort de traction lié à la présence d'une contrainte mécanique différentielle entre le substrat de lecture et la structure d'encapsulation. Une délamination de la couche d'isolation est d'autant plus probable lorsque celle-ci comprend un grand nombre de couches de nature différente et de faibles épaisseurs.

[0014] Pour améliorer l'adhérence des couches entre elles et éviter la délamination, l'homme du métier pourrait envisager des solutions d'optimisation, par exemple en modifiant la nature des couches de la couche d'isolation, ou en améliorant la préparation des surfaces et/ou les procédés de dépôt de ces différentes couches. Ces solutions de routine sont typiquement accessibles à l'homme du métier. Elles restent cependant peu efficaces et n'ont pas été retenues dans le cadre de la présente invention.

[0015] La liaison originale entre les piliers d'ancrage et les piliers de support selon l'invention permet ainsi avantagement d'améliorer significativement la tenue mécanique de la structure d'encapsulation du dispositif de détection d'un rayonnement électromagnétique.

[0016] Un autre aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication d'un tel dispositif de détection d'un rayonnement électromagnétique, comprenant :

- Fournir un substrat,
- Former une première couche sacrificielle sur ledit substrat,
- Former les piliers d'ancrage au travers de ladite première couche sacrificielle,
- Disposer au moins un détecteur au-dessus de la première couche sacrificielle et former une liaison entre l'au moins un détecteur et au moins un pilier d'ancrage parmi les piliers d'ancrage,
- Former une deuxième couche sacrificielle sur la première couche sacrificielle, sur l'au moins un détecteur et sur les piliers d'ancrage,

- Former une deuxième ouverture dans ladite deuxième couche sacrificielle au-dessus des piliers d’ancrage, ladite deuxième ouverture s’étendant sur au moins un flanc des piliers d’ancrage, et s’étendant de préférence dans la première couche sacrificielle,
- Remplir ladite deuxième ouverture par au moins un matériau de remplissage de façon à former les piliers de support surmontant les piliers d’ancrage,
- Former une couche d’encapsulation en un matériau d’encapsulation sur la deuxième couche sacrificielle et au moins en partie sur les piliers de support,
- Former au moins un événement au sein de la couche d’encapsulation, ledit événement débouchant sur la deuxième couche sacrificielle,
- Retirer les deuxième et première couches sacrificielles à travers l’au moins un événement, de façon à former une cavité autour de l’au moins un détecteur,
- Former une couche de scellement en un matériau de scellement sur la couche d’encapsulation de façon à boucher l’au moins un événement, et de préférence de façon à rendre la cavité hermétique.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0017] Les buts, objets, ainsi que les caractéristiques et avantages de l’invention ressortiront mieux de la description détaillée d’un mode de réalisation de cette dernière qui est illustré par les dessins d’accompagnement suivants dans lesquels :

[0018] [Fig.1] La [Fig.1] est un dispositif de détection d’un rayonnement électromagnétique comprenant une structure d’encapsulation, selon l’art antérieur.

[0019] [Fig.2A][Fig.3A][Fig.4A][Fig.5A][Fig.6A][Fig.7A][Fig.8A][Fig.9A] Les figures nA (n=2...9) illustrent schématiquement selon une première coupe transverse des étapes de fabrication d’un dispositif de détection d’un rayonnement électromagnétique, selon un mode de réalisation de la présente invention.

[0020] [Fig.2B][Fig.3B][Fig.4B][Fig.5B][Fig.6B][Fig.7B][Fig.8B][Fig.9B] Les figures nB (n=2...9) illustrent schématiquement selon différentes coupes transverses les étapes de fabrication illustrées aux figures nA correspondantes, selon un mode de réalisation de la présente invention.

[0021] [Fig.10A][Fig.11A][Fig.12A] Les figures jA (j=10...12) illustrent schématiquement selon une première coupe transverse des étapes de fabrication d’un dispositif de détection d’un rayonnement électromagnétique, selon un autre mode de réalisation de la présente invention.

[0022] [Fig.10B][Fig.11B][Fig.12B] Les figures jB (j=10...12) illustrent schématiquement selon une coupe transverse les étapes de fabrication illustrées aux figures jA correspondantes, selon un autre mode de réalisation de la présente invention.

[0023] [Fig.13A][Fig.13B][Fig.13C][Fig.13D] Les figures 13A à 13D illustrent schéma-

tiquement en vue de dessus des variantes de fabrication d'un dispositif de détection d'un rayonnement électromagnétique, selon différents modes de réalisation de la présente invention.

[0024] [Fig.14A][Fig.14B] Les figures 14A et 14B illustrent schématiquement un dispositif de détection d'un rayonnement électromagnétique selon un autre mode de réalisation de la présente invention. La [Fig.14B] correspond à la coupe transverse X-X illustrée sur la [Fig.14A].

[0025] [Fig.15] La [Fig.15] illustre schématiquement en vue de dessus une variante de fabrication d'un dispositif de détection d'un rayonnement électromagnétique, selon un mode de réalisation de la présente invention.

[0026] Pour les figures en coupes transverses, des plans de coupe sont indiqués (A-A, B-B, ..., X-X) avec des références croisées aux plans de coupe des figures correspondantes. Les dessins sont donnés à titre d'exemples et ne sont pas limitatifs de l'invention. Ils constituent des représentations schématiques de principe destinées à faciliter la compréhension de l'invention et ne sont pas nécessairement à l'échelle des applications pratiques. En particulier, sur les schémas de principe, les épaisseurs et/ou les dimensions des différentes couches, motifs et reliefs ne sont pas représentatives de la réalité. Pour des raisons de clarté, un seul pilier de support surmontant un seul pilier d'ancrage est représenté sur chaque figure. Il est entendu que le dispositif de détection comprend typiquement une pluralité de piliers de support et de piliers d'ancrage.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0027] Avant d'entamer une revue détaillée de modes de réalisation de l'invention, sont énoncées ci-après des caractéristiques optionnelles qui peuvent éventuellement être utilisées en association ou alternativement :

[0028] Selon un exemple, le dispositif comprend en outre une structure intermédiaire entre les piliers de support et les piliers d'ancrage, ladite structure intermédiaire présentant :

- un bras d'isolation configuré pour supporter l'au moins un détecteur, et
- au moins un débord en pourtour d'une face supérieure des piliers d'ancrage.

[0029] Selon un exemple, la portion des piliers de support passe autour de l'au moins un débord ou au travers de l'au moins un débord. Ainsi, la portion des piliers de support vient au contact du flanc des piliers d'ancrage sous le débord, en passant autour ou au travers du débord. L'ancrage mécanique des piliers de support se fait ainsi sous le débord. Le débord participe à la tenue mécanique des piliers de support. La tenue mécanique de la structure d'encapsulation est renforcée.

[0030] Selon un exemple, la portion des piliers de support comprend une première partie au niveau de l'au moins un débord présentant une première dimension La selon une direction x ou y de référence, et une deuxième partie au-delà de l'au moins un débord

sur l'au moins un flanc des piliers d'ancrage et présentant une deuxième dimension L_b selon ladite direction x ou y de référence, telles que la deuxième dimension L_b est strictement supérieure à la première dimension L_a . La portion des piliers de support s'élargit ainsi au niveau du flanc des piliers d'ancrage, après être passée au niveau du débord. La deuxième partie élargie forme ainsi une butée contre le débord empêchant la traction des piliers de support vis-à-vis des piliers d'ancrage.

- [0031] Selon un exemple, la portion des piliers de support forme une clé d'assemblage, par exemple en queue d'aronde ou en adent, avec l'au moins un débord de la structure intermédiaire. La portion des piliers de support est en prise avec le débord. Elle peut se présenter sous forme d'un encastrement avec le débord ou plus généralement d'un assemblage mécanique tirant parti du débord.
- [0032] Selon un exemple, au moins la deuxième partie de la portion des piliers de support est au contact de l'au moins un flanc des piliers d'ancrage.
- [0033] Selon un exemple, les première et deuxième parties de la portion des piliers de support sont au contact de l'au moins un flanc des piliers d'ancrage. L'adhérence de la portion des piliers de support avec les piliers d'ancrage est améliorée.
- [0034] Selon un exemple, la première partie de la portion des piliers de support est au contact de la face supérieure des piliers d'ancrage. L'adhérence de la portion des piliers de support avec les piliers d'ancrage est encore améliorée.
- [0035] Selon un exemple, la portion des piliers de support s'étend sur un premier flanc des piliers d'ancrage, situé d'un premier côté, et s'étend sur un deuxième flanc des piliers d'ancrage, situé d'un deuxième côté opposé au premier côté. La tenue mécanique est encore renforcée.
- [0036] Selon un exemple, la cavité est fermée par une couche d'encapsulation en un matériau d'encapsulation prenant appui sur les piliers de support, et par une couche de scellement en un matériau de scellement sur ladite couche d'encapsulation, et les piliers de support sont au moins en partie formés par la couche d'encapsulation seule ou par la couche d'encapsulation et la couche de scellement, de sorte que les piliers de support comprennent le matériau d'encapsulation seul ou le matériau d'encapsulation et le matériau de scellement.
- [0037] Selon un exemple, la cavité est délimitée latéralement par une paroi périphérique s'étendant sensiblement verticalement entre le substrat de lecture et la couche d'encapsulation. Cette paroi périphérique est typiquement à base du matériau des couches sacrificielles utilisées pour la formation de la cavité, typiquement à base de SiO_2 .
- [0038] Selon un exemple, la cavité est hermétique.
- [0039] Selon un exemple, la cavité présente une hauteur inférieure ou égale à $10\ \mu\text{m}$, voire inférieure à $5\ \mu\text{m}$ (par exemple si la seule fonction de packaging sous vide est requise).

- [0040] Selon un exemple, la couche mince d'encapsulation présente une épaisseur inférieure ou égale à 800 nm.
- [0041] Selon un exemple, les piliers de support et/ou d'ancrage sont agencés de façon matricielle.
- [0042] Selon un exemple, les détecteurs thermiques comportent une membrane absorbante suspendue au-dessus du substrat de lecture par les piliers d'ancrage.
- [0043] Selon un exemple, le procédé comprend en outre, après formation de la première couche sacrificielle et avant formation de la deuxième couche sacrificielle, une formation d'une structure intermédiaire entre les piliers de support et les piliers d'ancrage, ladite structure intermédiaire présentant :
- un bras d'isolation configuré pour supporter l'au moins un détecteur, ledit bras d'isolation formant la liaison entre ledit au moins un détecteur et l'au moins un pilier d'ancrage parmi les piliers d'ancrage,
 - au moins un débord en pourtour d'une face supérieure des piliers d'ancrage.
- [0044] Selon un exemple, la formation de la deuxième ouverture comprend
- Une gravure anisotrope configurée pour étendre la deuxième ouverture sous et à l'aplomb de l'au moins un débord,
 - Une gravure isotrope configurée pour étendre la deuxième ouverture sous l'au moins un débord et contre l'au moins un flanc des piliers d'ancrage, de sorte que, après remplissage de ladite deuxième ouverture, la portion des piliers de support présente une première partie au niveau de l'au moins un débord présentant une première dimension L_a selon une direction x ou y de référence, et une deuxième partie en-dessous de l'au moins un débord sur l'au moins un flanc des piliers d'ancrage et présentant une deuxième dimension L_b selon ladite direction x ou y de référence, telles que la deuxième dimension L_b est strictement supérieure à la première dimension L_a .
- [0045] Selon un exemple, le procédé comprend en outre, après formation de la structure intermédiaire, une formation d'une première ouverture dans la structure intermédiaire, ladite première ouverture exposant en partie la face supérieure des piliers d'ancrage et traversant l'au moins un débord en pourtour des piliers d'ancrage.
- [0046] Selon un exemple, la formation de la deuxième ouverture dans la deuxième couche sacrificielle est configurée de manière à ce que ladite deuxième ouverture passe au moins en partie par la première ouverture. Ainsi, lors du remplissage ultérieur, la portion des piliers de support se trouve directement au contact de la face supérieure des piliers d'ancrage et du flanc des piliers d'ancrage, en traversant le débord. Cela renforce la tenue mécanique et l'adhérence des piliers de support sur les piliers d'ancrage.
- [0047] Selon un exemple, le remplissage de la deuxième ouverture est au moins par-

tiellement effectué lors de la formation de la couche d'encapsulation, par dépôt conforme de ladite couche d'encapsulation sur la deuxième couche sacrificielle et dans la deuxième ouverture, de sorte que l'au moins un matériau de remplissage comprenne le matériau d'encapsulation. Cela permet de limiter le nombre d'étapes nécessaires pour le remplissage et la formation de couche d'encapsulation, qui peuvent ainsi être effectuées au moins en partie simultanément.

- [0048] Selon un exemple, le remplissage de la deuxième ouverture est au moins partiellement effectué lors de la formation de la couche de scellement, par dépôt de ladite couche de scellement sur la couche d'encapsulation, de sorte que l'au moins un matériau de remplissage comprenne le matériau d'encapsulation et le matériau de scellement. Cela permet de limiter le nombre d'étapes nécessaires pour le remplissage et la formation de couche de scellement, qui peuvent ainsi être effectuées au moins en partie simultanément.
- [0049] Selon un exemple, le remplissage de la deuxième ouverture est effectué avant la formation de la couche d'encapsulation, par un matériau de remplissage différent du matériau d'encapsulation. Cela permet de choisir un matériau de remplissage en fonction de ses propriétés d'adhérence, indépendamment de ses propriétés optiques.
- [0050] Selon un exemple, le matériau de remplissage est choisi identique ou à base du matériau des piliers d'ancrage.
- [0051] Sauf incompatibilité, il est entendu que l'ensemble des caractéristiques optionnelles ci-dessus peuvent être combinées de façon à former un mode de réalisation qui n'est pas nécessairement illustré ou décrit. Un tel mode de réalisation n'est évidemment pas exclu de l'invention. Les caractéristiques et les avantages d'un aspect de l'invention, par exemple le dispositif ou le procédé, peuvent être adaptés *mutatis mutandis* à l'autre aspect de l'invention.
- [0052] L'invention porte d'une manière générale sur un dispositif de détection de rayonnement électromagnétique adapté à détecter un rayonnement infrarouge ou térahertz, et un procédé de fabrication d'un tel dispositif. Le dispositif de détection comporte au moins un détecteur, de préférence une matrice de détecteurs thermiques situés dans une cavité hermétique. La matrice de détecteurs thermiques forme un réseau de préférence périodique. Chacun des détecteurs thermiques est un détecteur optiquement sensible, et forme un pixel de détection adapté à détecter le rayonnement électromagnétique d'intérêt.
- [0053] Dans le cadre de la présente invention, la cavité est délimitée dans sa partie inférieure par le substrat de lecture et dans sa partie supérieure par une structure d'encapsulation qui comporte une ou plusieurs couches minces transparentes au rayonnement électromagnétique à détecter, dont notamment une couche mince d'encapsulation et une couche mince de scellement des événements. La structure d'encapsulation comprend en

outre des piliers d'ancrage et des piliers de support surmontant les piliers d'ancrage, l'ensemble de ces piliers permettant de soutenir les couches supérieures de la structure d'encapsulation.

- [0054] La cavité est en outre délimitée latéralement par une paroi périphérique qui s'étend continûment autour de la matrice de détecteurs thermiques. Comme explicité plus loin, la paroi périphérique correspond typiquement à une portion non gravée des couches sacrificielles.
- [0055] Par couche mince, on entend une couche formée par les techniques de dépôt de matériau de la microélectronique, dont l'épaisseur est de préférence inférieure ou égale à 10 μm . Par ailleurs, une couche mince est dite transparente lorsqu'elle présente un coefficient de transmission supérieur ou égal à 50%, de préférence à 75%, voire à 90% pour une longueur d'onde centrale de la gamme spectrale du rayonnement électromagnétique à détecter.
- [0056] Il est précisé que, dans le cadre de la présente invention, les termes « sur », « surmonte », « recouvre », « sous-jacent », en « vis-à-vis » et leurs équivalents ne signifient pas forcément « au contact de ». Ainsi par exemple, le dépôt, le report, le collage, l'assemblage ou l'application d'une première couche sur une deuxième couche, ne signifie pas obligatoirement que les deux couches sont directement au contact l'une de l'autre, mais signifie que la première couche recouvre au moins partiellement la deuxième couche en étant soit directement à son contact, soit en étant séparée d'elle par au moins une autre couche ou au moins un autre élément.
- [0057] Une couche peut par ailleurs être composée de plusieurs sous-couches d'un même matériau ou de matériaux différents.
- [0058] On entend par un substrat, un film, une couche, « à base » d'un matériau A, un substrat, un film, une couche comprenant ce matériau A uniquement ou ce matériau A et éventuellement d'autres matériaux, par exemple des éléments dopants ou des éléments d'alliage.
- [0059] Plusieurs modes de réalisation de l'invention mettant en œuvre des étapes successives du procédé de fabrication sont décrits ci-après. Sauf mention explicite, l'adjectif « successif » n'implique pas nécessairement, même si cela est généralement préféré, que les étapes se suivent immédiatement, des étapes intermédiaires pouvant les séparer.
- [0060] Par ailleurs, le terme « étape » s'entend de la réalisation d'une partie du procédé, et peut désigner un ensemble de sous-étapes.
- [0061] Par ailleurs, le terme « étape » ne signifie pas obligatoirement que les actions menées durant une étape soient simultanées ou immédiatement successives. Certaines actions d'une première étape peuvent notamment être suivies d'actions liées à une étape différente, et d'autres actions de la première étape peuvent être reprises ensuite. Ainsi,

le terme étape ne s'entend pas forcément d'actions unitaires et inséparables dans le temps et dans l'enchaînement des phases du procédé.

- [0062] On entend par « gravure sélective vis-à-vis de » ou « gravure présentant une sélectivité vis-à-vis de » une gravure configurée pour enlever un matériau A ou une couche A vis-à-vis d'un matériau B ou d'une couche B, et présentant une vitesse de gravure du matériau A supérieure à la vitesse de gravure du matériau B. La sélectivité est le rapport entre la vitesse de gravure du matériau A sur la vitesse de gravure du matériau B. Elle est notée $S_{A:B}$. Une sélectivité $S_{A:B}$ de 10:1 signifie que la vitesse de gravure du matériau A est 10 fois supérieure à la vitesse de gravure du matériau B.
- [0063] Un repère de préférence orthonormé, comprenant les axes x, y, z est représenté sur les figures annexées. Lorsqu'un seul repère est représenté sur une même planche de figures, ce repère s'applique à toutes les figures de cette planche.
- [0064] Dans la présente demande de brevet, on parlera préférentiellement d'épaisseur pour une couche ou un film, et de hauteur pour un dispositif ou une structure. L'épaisseur est prise selon une direction normale au plan d'extension principal de la couche ou du film. Ainsi, une couche ou un film présente typiquement une épaisseur selon z. La structure d'encapsulation ou les piliers présentent une hauteur selon z. Les termes relatifs « sur », « surmonte », « sous », « sous-jacent » se réfèrent à des positions prises selon la direction z. Une dimension « latérale » correspond à une dimension selon une direction du plan xy. On entend par une extension « latérale » ou « latéralement », une extension selon une ou des directions du plan xy.
- [0065] Un élément situé « à l'aplomb » ou « au droit d' » un autre élément signifie que ces deux éléments sont situés tous deux sur une même ligne perpendiculaire à un plan dans lequel s'étend principalement une face inférieure ou supérieure d'un substrat, c'est-à-dire sur une même ligne orientée verticalement sur les figures en coupe transverse.
- [0066] Les termes « sensiblement », « environ », « de l'ordre de » signifient à 10% près, et de préférence à 5% près. Par ailleurs, les termes « compris entre ... et ... » et équivalents signifient que les bornes sont incluses, sauf mention contraire.
- [0067] Les figures 2A à 9A illustrent selon une première vue en coupe (A-A, C-C, ..., O-O), un mode de réalisation d'un dispositif de détection d'un rayonnement infrarouge compris entre 8 μm et 14 μm de longueurs d'onde, contenant des détecteurs thermiques du type micro-bolomètres. Les figures 2B à 9B illustrent ce même mode de réalisation selon d'autres vues en coupe B-B, D-D, ..., P-P illustrées sur les figures 2A à 9A correspondantes.
- [0068] Comme illustré aux figures 2A, 2B, les premières étapes consistent à former de façon connue des piliers d'ancrage 21 sur un substrat 100 comprenant de préférence un circuit de lecture à base de transistors CMOS (acronyme signifiant Complementary

Metal Oxide Semiconductor), dit substrat de lecture 100. Le circuit de lecture du substrat 100 comprend typiquement au moins un niveau de métallisation comprenant des portions conductrices 101, généralement en Cu, affleurant la surface du substrat 100. Ces portions conductrices 101 sont ici destinées à connecter électriquement les piliers d'ancrage 21 au circuit de lecture du substrat 100.

[0069] Sur ce substrat de lecture 100, une couche 110 de barrière à la diffusion du cuivre, par exemple en nitrure de silicium (SiN) peut être formée. Une couche 120 de protection, par exemple en nitrure d'aluminium (AlN) ou en oxyde d'aluminium (Al₂O₃), électriquement isolante et chimiquement inerte vis-à-vis de l'acide fluorhydrique (HF), est ensuite formée. Cette couche 120 a pour fonction de protéger le substrat 100 lors d'une étape ultérieure d'attaque chimique par du HF vapeur configurée pour retirer les couches sacrificielles et former la cavité du dispositif.

[0070] Une première couche sacrificielle 20a, préférentiellement en dioxyde de silicium (SiO₂), est ensuite formée sur la couche 120 de protection. Cette première couche sacrificielle 20a est ensuite ouverte par gravure localisée, par l'intermédiaire de motifs de photolithographie correspondant à l'emplacement des piliers d'ancrage 21 au-dessus des portions 101. La forme des motifs de photolithographie, qui peut être circulaire, carrée ou rectangulaire, définit sensiblement la section dans le plan xy des piliers d'ancrage 21. La gravure est prolongée au travers des couches 120, 110 de manière à exposer la portion conductrice 101. Une étape de dépôt d'une couche barrière (non illustrée), par exemple en TiN, est de préférence effectuée avant de remplir les ouvertures de la première couche sacrificielle 20a par une étape de dépôt d'une couche d'un matériau électriquement conducteur, par exemple en Tungstène (W) ou en Cuivre (Cu). Une étape de polissage mécano-chimique (CMP) visant à éliminer les matériaux déposés sur la face supérieure de la première couche sacrificielle 20a et à former la face supérieure 211 des piliers d'ancrage 21 est ensuite effectuée. A ce stade, les piliers d'ancrage 21 sont formés sous la forme de plots métalliques présentant typiquement une dimension selon x et/ou y ou un diamètre de l'ordre de 0,5 µm, et une hauteur selon z de l'ordre de 1,8 µm. Ces piliers d'ancrage 21 sont électriquement reliés au circuit de lecture du substrat 100. La face supérieure 211 des piliers d'ancrage 21 est sensiblement dans le plan de la face supérieure de la première couche sacrificielle 20a. La face supérieure 211 peut former une petite dépression vis-à-vis de la face supérieure de la première couche sacrificielle 20a, résultant de l'opération de polissage CMP qui retire préférentiellement le matériau métallique du pilier d'ancrage 21 vis-à-vis du SiO₂ de la couche sacrificielle 20a. Cette dépression est par exemple de l'ordre de 70 nm, ce qui représente moins de 4% de la hauteur d'un pilier d'ancrage de 1,8 µm. Le ou les flancs 210 des piliers d'ancrage 21 sont au contact de la première couche sacrificielle 20a.

- [0071] Comme illustré aux figures 3A, 3B, une galette 310 par exemple circulaire, octogonale, carrée ou rectangulaire, est formée sur la face supérieure 211 de chaque plot métallique 21. Cette galette 310 est avantageusement réalisée en TiN pour faire office de barrière à la diffusion des atomes métalliques du plot métallique. Elle présente une épaisseur typiquement comprise entre 20 nm et 50 nm. Elle présente typiquement une dimension selon x et/ou y ou un diamètre supérieur à celui du pilier d'ancrage 21. Elle est de préférence centrée vis-à-vis du pilier d'ancrage 21. Elle forme ainsi un premier débord vis-à-vis du pilier d'ancrage 21. La galette 310 déborde latéralement du pilier d'ancrage 21 sur une distance de quelques dizaines à quelques centaines de nanomètres. Ce premier débord peut s'étendre sur une distance supérieure ou égale à 50 nm, par exemple 100 nm ou 200 nm.
- [0072] Comme illustré aux figures 4A, 4B, un empilement de couches 301, 302, 303 est formé sur la galette 310 et sur la face supérieure de la première couche sacrificielle 20a, puis structuré par gravure de manière à former une structure intermédiaire 3 comprenant un bras d'isolation thermique 30. La structure intermédiaire 3 comprend ainsi la galette 310 et l'empilement structuré des couches 301, 302, 303. Cette structure intermédiaire 3 est destinée à être intercalée entre le pilier d'ancrage 21 sous-jacent, et un pilier de support au-dessus.
- [0073] Le bras d'isolation thermique 30 est généralement étroit avec une largeur selon y comprise par exemple entre 0,1 μm et 0,3 μm , typiquement 0,18 μm . Le bras d'isolation thermique 30 comprend ici une couche 302 électriquement conductrice en TiN, d'épaisseur 7 nm environ, intercalée entre deux couches diélectriques 301, 303 en silicium amorphe (a-Si), chacune présentant une épaisseur typiquement comprise entre 15 nm et 50 nm. Au niveau d'une zone centrale de la galette 310, la couche 301 est retirée avant dépôt de la couche 302 de façon à ce que la couche 302 conductrice soit électriquement reliée au pilier d'ancrage 21. De façon connue, le bras d'isolation thermique 30 est destiné à supporter une membrane absorbante (non illustrée) apte à absorber le rayonnement infrarouge. Cette membrane absorbante peut typiquement comprendre un transducteur thermométrique tel qu'une thermistance apte à mesurer la température de la membrane absorbante. De façon connue, la membrane et la thermistance forment un détecteur thermique appelé micro bolomètre.
- [0074] La structuration de l'empilement de couches 301, 302, 303 est configurée de manière à conserver une portion de ces trois couches 301, 302, 303 à cheval sur la galette 310 et en périphérie de la galette 310. Cela permet d'obtenir une liaison mécanique et électrique entre le bras d'isolation thermique 30 et le pilier d'ancrage 21. Cette portion d'empilement des trois couches 301, 302, 303 s'étend avantageusement latéralement au-delà de la périphérie de la galette 310, en partie sur la première couche sacrificielle 20a. Cette extension latérale est typiquement de l'ordre de 0,2 μm . Elle permet de

former un débord 31 de la structure intermédiaire 3. Le débord 31 de la structure intermédiaire 3 forme un surplomb vis-à-vis du flanc 210 du pilier d'ancrage 21, sur une distance latérale typiquement comprise entre 0,4 μm et 0,6 μm .

- [0075] Après formation de la structure intermédiaire 3, le détecteur thermique est typiquement formé à l'extrémité du bras d'isolation thermique 31, comme décrit dans le document FR2999805. Le détecteur thermique forme typiquement un micro-bolomètre comprenant une membrane absorbante et un transducteur thermométrique reliés au pilier d'ancrage 21.
- [0076] Comme illustré aux figures 5A, 5B, après formation de la structure intermédiaire 3, une première ouverture 300 est réalisée dans l'empilement de couches 301, 302, 303, 310. Cette ouverture 300 est typiquement réalisée par photolithographie et gravure. La forme de l'ouverture 300, dans le plan xy, peut être carrée, rectangulaire, circulaire, oblongue ou autre. Cette ouverture 300 peut être réalisée par une gravure apte à graver simultanément les couches 301, 302, 303, 310 à base de silicium amorphe a-Si et de nitrure de titane TiN, sélectivement au matériau du plot métallique du pilier d'ancrage 21. Une telle gravure peut être obtenue par un procédé de gravure RIE (gravure ionique réactive) utilisant des agents chimiques fluorés. Les paramètres de gravure sauront être ajustés sans difficulté par l'homme du métier.
- [0077] Comme illustré à la [Fig.5A], l'ouverture 300 est pratiquée de préférence au niveau d'un débord 31, à cheval sur la face supérieure 211 du pilier d'ancrage 21. Une partie de la face supérieure 211 du pilier d'ancrage 21 est ainsi avantageusement exposée. Cette partie exposée du pilier d'ancrage 21 permettra ultérieurement de former avantageusement un contact direct avec le pilier de support, améliorant ainsi l'adhérence entre le pilier de support et le pilier d'ancrage 21. L'ouverture 300 s'étend ici à l'aplomb de la première couche sacrificielle 20a. L'extension latérale selon y de l'ouverture 300 au-dessus de la première couche sacrificielle 20a peut être de l'ordre de 0,2 μm à 0,4 μm . L'extension latérale selon y de l'ouverture 300 au-dessus du pilier d'ancrage 21 peut être de l'ordre de 0,1 μm à 0,2 μm . Cela permet de conserver une surface de contact suffisante entre le plot métallique 21 et la structure intermédiaire 3.
- [0078] Sur la [Fig.5A], l'ouverture 300 s'étend selon y sur la première couche sacrificielle 20a au-delà du débord 31. La continuité selon x du débord 31 est ainsi interrompue. L'ouverture 300 est à cheval sur la structure intermédiaire 3. Selon une autre possibilité non illustrée, une partie périphérique du débord 31 peut subsister autour de l'ouverture 300. La continuité selon x du débord 31 est conservée pour cette partie périphérique. L'ouverture 300 est dans ce cas interne à la structure intermédiaire 3. Elle débouche dans tous les cas sur la première couche sacrificielle 20a, et de préférence sur la face supérieure 211 du pilier d'ancrage 21.
- [0079] Comme illustré à la [Fig.5B] qui est une coupe selon le plan H-H illustré sur la

[Fig.5A], l'ouverture 300 est pratiquée de préférence au milieu du débord 31, en conservant des parties 31a, 31b du débord 31 (selon y). Ces parties 31a, 31b du débord 31 permettront ultérieurement de former avantageusement un appui pour le pilier de support, s'opposant à une traction selon +z.

[0080] Comme illustré aux figures 6A, 6B, une deuxième couche sacrificielle 20b est d'abord formée sur la première couche sacrificielle 20a, sur la structure intermédiaire 3 et sur les détecteurs thermiques. La deuxième couche sacrificielle 20b est de préférence de même nature que la première couche sacrificielle, ici en SiO₂. La deuxième couche sacrificielle 20b est ensuite ouverte localement par gravure au-dessus des piliers d'ancrage 21. Cette deuxième ouverture 200 est typiquement réalisée par une gravure apte à graver la deuxième couche sacrificielle 20b sélectivement aux matériaux de la structure intermédiaire 3 et du plot métallique du pilier d'ancrage 21. Cette deuxième ouverture 200 s'étend latéralement à l'aplomb des débords 31 de la structure intermédiaire 3, et verticalement sur toute la hauteur de la deuxième couche sacrificielle 20b, de manière à exposer la partie de la face supérieure 211 du pilier d'ancrage 21 préalablement exposée par la formation de la première ouverture 300. Avantageusement, la deuxième ouverture 200 est prolongée le long du flanc 210 du pilier d'ancrage 21, ici dans la première couche sacrificielle 20a, par une partie d'ouverture 201a située sous le débord 31, contre le flanc 210 du pilier d'ancrage 21. Cette partie d'ouverture 201a est typiquement formée par gravure anisotrope selon z au travers de la première ouverture 300. La gravure peut se faire par RIE présentant une chimie de plasma à base d'espèces fluorées. Dans ce cas, on ajustera les paramètres de gravure de façon à ce que les vitesses respectives de gravure du SiO₂ des première et deuxième couches sacrificielles 20a, 20b d'une part, et du silicium amorphe des couches 303, 301 soient suffisamment distinctes. Typiquement, on ajustera les paramètres de gravure de façon à obtenir une sélectivité $S_{\text{SiO}_2:\text{a-Si}}$ supérieure à 20:1, de préférence supérieure à 50:1, par exemple de l'ordre de 80:1. A ce stade, la deuxième ouverture 200, 201a permet ici d'exposer la partie de la face supérieure 211 du pilier d'ancrage 21 et une partie du flanc 210 du pilier d'ancrage 21. Selon une possibilité, la deuxième ouverture 200, 201a peut être remplie pour former le pilier de support comme illustré dans la suite. Le pilier de support présente alors une partie au contact de la face supérieure 211 du pilier d'ancrage 21 et du flanc 210 du pilier d'ancrage 21. L'adhérence du pilier de support sur le pilier d'ancrage 21 est déjà améliorée.

[0081] Selon une possibilité préférée illustrée aux figures 7A, 7B, la deuxième ouverture 200 est élargie par un procédé de gravure isotrope, par exemple par voie humide à base d'une solution aqueuse partiellement diluée de HF tamponnée. Cette gravure isotrope permet d'étendre la deuxième ouverture 200 sous les parties de débord 31a, 31b non gravées lors de la formation de la première ouverture 300. Cette extension d'ouverture

201b permet ainsi de découvrir une surface plus importante du flanc 210 du pilier d'ancrage 21. Le pilier de support formé ultérieurement dans cette ouverture 200, 201b présente ainsi un contact direct avec le pilier d'ancrage 21 plus étendu. Par ailleurs, l'extension d'ouverture 201b vient avantageusement s'étendre sous et contre les parties de débord 31a, 31b. Le pilier de support formé ultérieurement dans cette ouverture 200, 201b vient ainsi avantageusement en butée contre les parties de débord 31a, 31b. Le pilier de support forme ainsi un encastrement avec la structure intermédiaire 3. La tenue mécanique en traction selon +z est encore améliorée.

- [0082] Comme illustré aux figures 8A, 8B, on procède ensuite au remplissage de la deuxième ouverture 200, 200b pour former un pilier de support surmontant le pilier d'ancrage 21.
- [0083] Selon ce mode de réalisation, une couche 231 électriquement isolante et inerte au HF, par exemple une couche de Al_2O_3 , est d'abord déposée dans la deuxième ouverture et sur la surface de la deuxième couche sacrificielle 20b. La couche 231 peut être déposée par ALD (Atomic Layer Deposition). Un dépôt du type ALD permet d'obtenir un dépôt conforme de la couche 231 de Al_2O_3 . La couche 231 présente ainsi une épaisseur sensiblement constante, typiquement comprise entre 20 nm et 40 nm. Cette couche 231 a pour fonction d'isoler électriquement le pilier de support vis-à-vis de la structure intermédiaire 3 et du pilier d'ancrage 21, reliés électriquement aux détecteurs thermiques. Des étapes de photolithographie et de gravure permettent de retirer la couche 231 d' Al_2O_3 déposée sur la face supérieure de la deuxième couche sacrificielle 20b. Une partie de la couche 231 localisée en bordure des ouvertures, sur la face supérieure de la deuxième couche sacrificielle 20b, peut être conservée. Cette partie peut typiquement s'étendre sur 250 nm à 500 nm.
- [0084] Une couche d'encapsulation 23 en silicium amorphe est ensuite déposée de façon conforme dans la deuxième ouverture, sur la couche 231 et sur la surface de la deuxième couche sacrificielle 22b. La couche d'encapsulation 23 peut présenter une épaisseur uniforme comprise entre 200 nm et 800 nm. Le dépôt de cette couche d'encapsulation 23 en silicium amorphe peut être fait avec une épaisseur suffisante pour combler en partie ou en totalité la deuxième ouverture, en particulier au niveau de l'extension d'ouverture en contact avec le pilier d'ancrage 21 sous-jacent. Cette couche d'encapsulation 23 forme de manière continue la partie supérieure de la structure d'encapsulation et au moins en partie le pilier de support de la structure d'encapsulation.
- [0085] Comme illustré aux figures 9A, 9B, des événements 230 sont d'abord gravés au travers la couche d'encapsulation 23. Ces événements 230 débouchent sur la deuxième couche sacrificielle 20b. Une attaque chimique en HF vapeur est ensuite effectuée pour retirer les deux couches sacrificielles 20a, 20b en SiO_2 , par les événements 230. Une cavité 2 est ainsi

formée. Une couche de scellement 24 est ensuite formée pour obturer les événements 230, et éventuellement pour compléter le remplissage de la deuxième ouverture. Dans ce mode de réalisation, le pilier de support 22 est formé simultanément avec la formation de la couche d'encapsulation 23 et la formation de la couche de scellement 24. Cela permet d'économiser une étape de procédé dédiée au remplissage de la deuxième ouverture pour la formation du pilier de support 22. Le pilier de support 22 comprend ici le matériau d'encapsulation et éventuellement le matériau de scellement.

[0086] La couche de scellement 24 est typiquement formée par une technique de dépôt sous vide secondaire tel qu'un dépôt par évaporation sous vide du matériau à déposer. La cavité 2 est ainsi scellée sous une pression réduite. Cela permet un fonctionnement optimal des détecteurs thermiques tels que des micro-bolomètres logés au sein de la cavité 2. La couche de scellement 24 est réalisée dans un matériau de scellement transparent au rayonnement que l'on souhaite détecter, par exemple du germanium (Ge) pour un dispositif de détection dans le domaine infrarouge. Une couche antireflet 25, ici en sulfure de zinc (ZnS), est de préférence déposée à la surface de la couche de scellement 24 pour améliorer la transmission du rayonnement infrarouge à travers l'ensemble des deux couches 24, 25. Un dispositif de détection 1 comprenant une structure d'encapsulation autour d'une cavité 2 hermétique est ainsi formé. La structure d'encapsulation comprend un pilier de support 22 comprenant une portion inférieure 220 au contact du pilier d'ancrage 21 sous-jacent. Dans cet exemple, la portion 220 du pilier de support 22 comprend une première partie 220a passant au travers du débord 31, et une deuxième partie 220b sous le débord 31. La première partie 220a est au contact de la face supérieure du pilier d'ancrage 21. Cela améliore l'adhérence du pilier de support 22 sur le pilier d'ancrage 21. La deuxième partie 220b est au contact du flanc 210 du pilier d'ancrage 21. Cela améliore encore l'adhérence du pilier de support 22 sur le pilier d'ancrage 21. La première partie 220a présente une première dimension L_a selon x , et la deuxième partie 220b présente une deuxième dimension L_b selon x strictement supérieure à la première dimension L_a . Cela permet de former une butée pour la portion 220 contre le débord 31. La tenue mécanique en traction du pilier de support 22 sur le pilier d'ancrage 21 est encore améliorée.

[0087] Dans la suite, différentes variantes du dispositif 1 et du procédé de fabrication sont décrites et illustrées. Seules les caractéristiques qui diffèrent du premier mode de réalisation sont décrites et illustrées. Les autres caractéristiques sont réputées identiques à celles du premier mode de réalisation.

[0088] Comme illustré aux figures 10A, 10B, selon une possibilité, le remplissage de la deuxième ouverture et la formation de la couche d'encapsulation sont effectués séparément. Le remplissage de la deuxième ouverture peut se faire avec un ou des matériaux de remplissage différents du matériau d'encapsulation. La couche

d'encapsulation ne s'étend plus ici au sein du pilier de support 22. La couche d'encapsulation peut être réalisée à une étape ultérieure, après formation des piliers de support, et dans un matériau différent de celui utilisé pour les piliers de support. Ce mode de réalisation permet de choisir indépendamment les matériaux utilisés pour former d'une part les piliers de support, et d'autre part la couche d'encapsulation. Ce mode de réalisation permet avantageusement de former des piliers de support de la structure d'encapsulation dans un matériau offrant une bonne adhérence avec le matériau des plots d'ancrage. La couche d'encapsulation peut être réalisée dans des matériaux transparents optiquement, par exemple en silicium amorphe pour un détecteur de rayonnements compris entre 8 et 14 μ m de longueur d'onde.

[0089] Les piliers de support 22 peuvent être réalisés en tungstène comme les piliers d'ancrage 21. Cela permet d'obtenir une bonne adhérence entre le pilier de support 22 et le pilier d'ancrage 21. Selon une possibilité, une couche 40 en chrome est préalablement déposée de façon conforme dans la deuxième ouverture. Cette couche 40 en chrome est en contact direct avec les parties exposées des piliers d'ancrage 21. Cette couche 40 en chrome peut présenter une épaisseur comprise entre 100 nm et 200 nm. Un dépôt épais de tungstène, par exemple d'épaisseur comprise entre 200 nm et 800 nm, permet ensuite de combler la deuxième ouverture. Le pilier de support 22 peut ainsi comprendre une couche 40 en chrome relativement fine et une partie 41 épaisse en tungstène. La couche 40 en chrome a ici pour fonction d'améliorer encore l'adhérence entre les piliers d'ancrage et de support 21, 22. Le pilier de support 22 peut donc être réalisé dans des matériaux choisis pour leurs propriétés d'adhérence, indépendamment de leurs propriétés optiques. Dans ce mode de réalisation, le pilier de support 22 ne comprend pas nécessairement des matériaux transparents vis-à-vis du rayonnement à détecter. En outre, dans ce mode de réalisation, le pilier de support 22 ne comprend pas nécessairement une couche électriquement isolante et inerte au HF car l'isolation électrique entre la couche d'encapsulation et la structure intermédiaire 3 et le pilier d'ancrage 21 peut être formée avantageusement à une étape ultérieure. En effet prévoir une telle couche d'isolation électrique entre le pilier d'ancrage 21 et le pilier de support 22 peut dégrader les propriétés d'adhérence qui sont recherchées ici.

[0090] Un polissage mécano-chimique (CMP) est typiquement effectué pour éliminer les matériaux déposés sur la face supérieure de la deuxième couche sacrificielle 20b et pour former la face supérieure 221 des piliers de support 22. La face supérieure 221 des piliers de support 22 est ici sensiblement dans le plan de la face supérieure de la deuxième couche sacrificielle 20b.

[0091] Comme illustré aux figures 11A, 11B, une couche 231 en un matériau électriquement isolant, par exemple une couche d'alumine (Al₂O₃) d'épaisseur comprise entre 20 nm et 100 nm, est déposée à la surface de la deuxième couche sacrificielle 20b et sur la

face supérieure 221 des piliers de support 22. Des étapes de photolithographie et de gravure permettent de retirer la couche 231 d'Al₂O₃ déposée sur la face supérieure de la deuxième couche sacrificielle 20b. Une partie de la couche 231 localisée en bordure de la face supérieure 221 du pilier de support 22, sur la face supérieure de la deuxième couche sacrificielle 20b, peut être conservée. Cette partie peut typiquement s'étendre sur 250 nm à 500 nm. Cette couche 231 isolante a pour fonction d'isoler électriquement le pilier de support 22, qui est ici électriquement relié au pilier d'ancrage 21 et aux détecteurs, de la couche d'encapsulation 23 en silicium amorphe, elle-même conductrice.

- [0092] La couche d'encapsulation 23 en silicium amorphe est ensuite déposée sur la couche 231 et sur la surface de la deuxième couche sacrificielle 22b. La couche d'encapsulation 23 peut présenter une épaisseur uniforme comprise entre 200 nm et 800 nm. La couche d'encapsulation 23 est ici essentiellement plane.
- [0093] La suite du procédé est identique au mode de réalisation précédent, et comprend la formation des événements 230, la suppression des couches sacrificielles 20a, 20b par attaque chimique en HF vapeur, le dépôt des couches de scellement et d'antireflet 24, 25, comme illustré aux figures 12A, 12B.
- [0094] Dans la suite, différentes variantes sur le principe d'un pilier de support comprenant une portion inférieure au contact d'au moins un flanc du pilier d'ancrage sont décrites et illustrées.
- [0095] Les figures 13A, 13B, 13C illustrent en vue de dessus certaines variantes de formation de la première ouverture 300, qui conditionne la morphologie de la deuxième ouverture 200 et *in fine* la morphologie de la portion inférieure du pilier de support. La [Fig.13A] illustre le cas déjà décrit en référence aux figures 5A, 5B, où la première ouverture 300 se trouve, en projection dans le plan xy, à cheval sur le pilier d'ancrage 21 sous-jacent, sur le débord 31 et se prolonge latéralement selon y au-dessus de la première couche sacrificielle. La première ouverture 300 s'étend ici de part et d'autre du débord 31 et rompt la continuité du débord 31. La [Fig.13B] illustre le cas dans lequel la première ouverture comprend deux parties d'ouverture 300a, 300b situées sur deux débords 31a, 31b. Cela double la surface de contact entre le pilier de support et le pilier d'ancrage, par rapport au cas illustré à la [Fig.13A]. L'adhérence et la tenue mécanique du pilier de support sur le pilier d'ancrage sont améliorées. La première partie d'ouverture 300a s'étend transversalement au premier débord 31a, de façon similaire au cas illustré à la [Fig.13A]. Le premier débord 31a est situé d'un premier côté de la structure intermédiaire 3. La deuxième partie d'ouverture 300b s'étend transversalement au deuxième débord 31b. Le deuxième débord 31b est situé d'un deuxième côté de la structure intermédiaire 3, de préférence opposé au premier côté. Cela permet d'équilibrer la répartition des efforts de traction sur la structure inter-

médiaire. La [Fig.13C] illustre le cas dans lequel la première ouverture comprend deux parties d'ouverture 300a, 300b internes aux débords 31a, 31b. Dans ce cas, les parties d'ouverture 300a, 300b ne s'étendent pas selon y au-delà des débords 31a, 31b. La continuité de chaque débord 31a, 31b est préservée. La rigidité de la structure intermédiaire est optimisée. Ce type d'ouverture requiert néanmoins une meilleure résolution de photolithographie que les cas illustrés aux figures 13A, 13B. La [Fig.13D] illustre la superposition d'un motif de deuxième ouverture 200 sur les parties de première ouverture 300a, 300b. Selon une possibilité préférée, ce motif de deuxième ouverture 200 s'étend latéralement au-delà des flancs 210 du pilier d'ancrage 21, mais reste confiné dans le périmètre des débords 31a, 31b de la structure intermédiaire. L'encombrement latéral du pilier de support reste ainsi limité.

[0096] La zone de contact électrique 410 (où le TiN de la couche 302 est en contact avec le TiN de la galette 310, voir par exemple les figures 4A, 4B en coupe) peut:

- soit être inscrite dans l'empreinte du pilier d'ancrage délimitée par le flanc 210 (c'est le cas représenté sur les figures),
- soit déborder du pilier d'ancrage délimité par le flanc 210 tout en restant inscrite dans l'empreinte de la galette 310 (cas non représenté sur les figures).

[0097] Les figures 14A, 14B illustrent en coupes un mode de réalisation comprenant uniquement la formation de la deuxième ouverture, sans formation préalable d'une première ouverture. Dans ce mode de réalisation, la structure intermédiaire n'est pas gravée. La deuxième ouverture passe en pourtour du débord 31 lors de la gravure anisotrope, puis sous le débord 31 lors de la gravure isotrope, pour arriver au contact du flanc 210 du pilier d'ancrage. Pour faciliter l'extension de la deuxième ouverture sous le débord 31, la largeur du débord 31 selon y est réduite lors de la formation de la structure intermédiaire. Dans ce mode de réalisation, le débord 31 forme un surplomb vis-à-vis du flanc 210 du pilier d'ancrage 21, sur une distance latérale de préférence comprise entre 0,2 μm et 0,3 μm . Pour former la deuxième ouverture 200, un motif d'ouverture comprenant une première extension latérale 200a et/ou une deuxième extension latérale 200b, tel qu'illustré à la [Fig.15], est typiquement utilisé. Ces extensions latérales 200a et/ou 200b s'étendent au-delà du périmètre du ou des débords 31a, 31b, directement au-dessus de la première couche sacrificielle.

[0098] Une étape de gravure anisotrope selon z permet de graver la deuxième couche sacrificielle sur la totalité de son épaisseur, sélectivement aux matériaux de la structure intermédiaire, et de graver dans le prolongement une partie seulement de l'épaisseur de la première couche sacrificielle, typiquement sur une profondeur comprise entre 200 nm et 800 nm.

[0099] A l'issue de la gravure anisotrope par RIE, la portion gravée de la première couche sacrificielle est alignée à l'aplomb du périmètre extérieur du débord de la structure in-

termédiaire. Cette portion gravée est donc séparée du flanc du pilier d'ancrage d'une distance approximative de $0,2\ \mu\text{m}$ à $0,3\ \mu\text{m}$ correspondant au surplomb que forme le débord avec le flanc du pilier d'ancrage. Une gravure isotrope, typiquement par voie humide, est ici prévue de telle manière à ce que la deuxième ouverture s'étende sous la face inférieure du débord sur une distance au moins égale à la distance qui sépare le front de gravure anisotrope du flanc du pilier d'ancrage. Cela peut être obtenu en ajustant le temps de la gravure humide. Il est avantageux de prévoir un temps de gravure supplémentaire de manière à dégager une surface plus importante du flanc du pilier d'ancrage. Cela permet de former un contact direct plus étendu entre le pilier de support et le pilier d'ancrage.

- [0100] Ce mode de réalisation économise au moins une étape de procédé dédiée à la formation de la première ouverture. Néanmoins, le pilier de support n'est pas en contact avec la face supérieure du pilier d'ancrage dans ce mode de réalisation. Dans cet exemple, la portion 220 du pilier de support 22 comprend une première partie 220a passant autour du débord 31, et une deuxième partie 220b sous le débord 31. Seule la deuxième partie 220b est au contact du flanc 210 du pilier d'ancrage 21. La première partie 220a présente une première dimension L_a selon y , et la deuxième partie 220b présente une deuxième dimension L_b selon y strictement supérieure à la première dimension L_a . Cela permet de former une butée pour la portion 220 contre le débord 31. La tenue mécanique en traction du pilier de support 22 sur le pilier d'ancrage 21 est améliorée.
- [0101] Au vu de la description qui précède, il apparaît clairement que le dispositif et le procédé proposés offrent une solution particulièrement efficace pour améliorer l'adhérence des piliers de support de la structure d'encapsulation par contact direct avec les piliers d'ancrage. Ce contact entre piliers massifs permet d'améliorer nettement la solidité mécanique de la structure d'encapsulation. Les piliers de support peuvent également avantageusement venir en butée contre une face inférieure du débord de la structure intermédiaire, pour améliorer la tenue en traction de la structure d'encapsulation.
- [0102] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisations précédemment décrits.
- [0103] Pour une pluralité de piliers de support sur des piliers d'ancrage correspondants, chaque pilier de support comprend de préférence une portion inférieure en contact du pilier d'ancrage sous-jacent. D'autres options sont possibles où seulement un sous-ensemble des piliers de support comprend une portion inférieure en contact du pilier d'ancrage sous-jacent, par exemple un pilier de support sur deux, par exemple organisés en quinconce ou tout autre arrangement que l'homme du métier saura définir au vu de la présente description. La cavité formée au sein de la structure d'encapsulation peut typiquement abriter un matériau dit « getter » destiné à piéger des

gaz résiduels dans la cavité, pour améliorer la fiabilité et la durée de vie du dispositif de détection. Les piliers de support et/ou les piliers d'ancrage peuvent comprendre d'autres couches, par exemple une couche barrière à la diffusion des atomes métalliques en TiN.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif (1) de détection d'un rayonnement électromagnétique, comprenant au moins un détecteur disposé au sein d'une cavité (2) formée par une structure d'encapsulation, ladite structure d'encapsulation comprenant des piliers d'ancrage (21) dont l'un au moins est relié à l'au moins un détecteur, et des piliers de support (22) surmontant lesdits piliers d'ancrage (21), le dispositif (1) étant caractérisé en ce que les piliers de support (22) présentent une portion (220) s'étendant sur au moins un flanc (210) des piliers d'ancrage (21).
- [Revendication 2] Dispositif (1) selon la revendication précédente comprenant une structure (3) intermédiaire entre les piliers de support (22) et les piliers d'ancrage (21), ladite structure (3) intermédiaire présentant :
- un bras d'isolation (30) configuré pour supporter l'au moins un détecteur, et
 - au moins un débord (31) en pourtour d'une face supérieure (211) des piliers d'ancrage (21),
- dans lequel la portion (220) des piliers de support (22) passe autour de l'au moins un débord (31) ou au travers de l'au moins un débord (31).
- [Revendication 3] Dispositif (1) selon la revendication précédente dans lequel la portion (220) des piliers de support (22) comprend une première partie (220a) au niveau de l'au moins un débord (31) présentant une première dimension L_a selon une direction (x, y) de référence, et une deuxième partie (220b) au-delà de l'au moins un débord (31) sur l'au moins un flanc (210) des piliers d'ancrage (21) et présentant une deuxième dimension L_b selon la direction (x, y) de référence, telles que la deuxième dimension L_b est strictement supérieure à la première dimension L_a .
- [Revendication 4] Dispositif (1) selon la revendication précédente dans lequel au moins la deuxième partie (220b) de la portion (220) des piliers de support (22) est au contact de l'au moins un flanc (210) des piliers d'ancrage (21).
- [Revendication 5] Dispositif (1) selon la revendication précédente dans lequel les première et deuxième parties (220a, 220b) de la portion (220) des piliers de support (22) sont au contact de l'au moins un flanc (210) des piliers d'ancrage (21).
- [Revendication 6] Dispositif (1) selon l'une quelconque des trois reven-

dications précédentes dans lequel la première partie (220a) de la portion (220) des piliers de support (22) est au contact de la face supérieure (211) des piliers d'ancrage (21).

[Revendication 7]

Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la portion (220) des piliers de support (22) s'étend sur un premier flanc (210a) des piliers d'ancrage (21), situé d'un premier côté, et s'étend sur un deuxième flanc (210b) des piliers d'ancrage (21), situé d'un deuxième côté opposé au premier côté.

[Revendication 8]

Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la cavité (2) est fermée par une couche d'encapsulation (23) en un matériau d'encapsulation prenant appui sur les piliers de support (22), et par une couche de scellement (24) en un matériau de scellement sur ladite couche d'encapsulation (23), et dans lequel les piliers de support (22) sont au moins en partie formés par la couche d'encapsulation (23) seule ou par la couche d'encapsulation (23) et la couche de scellement (24), de sorte que les piliers de support (22) comprennent le matériau d'encapsulation seul ou le matériau d'encapsulation et le matériau de scellement.

[Revendication 9]

Procédé de fabrication d'un dispositif (1) de détection d'un rayonnement électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant :

- Fournir un substrat (100),
- Former une première couche sacrificielle (20a) sur ledit substrat (100),
- Former les piliers d'ancrage (21) au travers de ladite première couche sacrificielle (20a),
- Disposer au moins un détecteur au-dessus de la première couche sacrificielle (20a) et former une liaison entre l'au moins un détecteur et au moins un pilier d'ancrage (21) parmi les piliers d'ancrage (21),
- Former une deuxième couche sacrificielle (20b) sur la première couche sacrificielle (20a), sur l'au moins un détecteur et sur les piliers d'ancrage (21),
- Former une deuxième ouverture (200) dans ladite deuxième couche sacrificielle (20b) au-dessus des piliers d'ancrage (21), ladite deuxième ouverture (200) s'étendant sur au moins un flanc (210) des piliers d'ancrage (21), et s'étendant de

- préférence dans la première couche sacrificielle (20a),
- Remplir ladite deuxième ouverture (200) par au moins un matériau de remplissage de façon à former les piliers de support (22) surmontant les piliers d'ancrage (21),
- Former une couche d'encapsulation (23) en un matériau d'encapsulation sur la deuxième couche sacrificielle (20b) et au moins en partie sur les piliers de support (22),
- Former au moins un événement (230) au sein de la couche d'encapsulation (23), ledit événement (230) débouchant sur la deuxième couche sacrificielle (20b),
- Retirer les deuxième et première couches sacrificielles (20b, 20a) à travers l'au moins un événement (230), de façon à former une cavité (2) autour de l'au moins un détecteur,
- Former une couche de scellement (24) en un matériau de scellement sur la couche d'encapsulation (23) de façon à boucher l'au moins un événement (230).

[Revendication 10] Procédé selon la revendication précédente comprenant en outre, après formation de la première couche sacrificielle (20a) et avant formation de la deuxième couche sacrificielle (20b), une formation d'une structure intermédiaire (3) entre les piliers de support (22) et les piliers d'ancrage (21), ladite structure intermédiaire (3) présentant :

- un bras d'isolation (30) configuré pour supporter l'au moins un détecteur, ledit bras d'isolation (30) formant la liaison entre ledit au moins un détecteur et l'au moins un pilier d'ancrage (21) parmi les piliers d'ancrage (21),
- au moins un débord (31, 31a, 31b) en pourtour d'une face supérieure (211) des piliers d'ancrage (21),

dans lequel la formation de la deuxième ouverture (200) comprend

- Une gravure anisotrope configurée pour étendre la deuxième ouverture (200) sous et à l'aplomb de l'au moins un débord (31, 31a, 31b),
- Une gravure isotrope configurée pour étendre la deuxième ouverture (200) sous l'au moins un débord (31) et contre l'au moins un flanc (210) des piliers d'ancrage (21), de sorte que,

après remplissage de ladite deuxième ouverture (200), la portion (220) des piliers de support (22) présente une première partie (220a) au niveau de l'au moins un débord (31) présentant une première dimension L_a selon une direction (x, y) de référence, et une deuxième partie (220b) en-dessous de l'au moins un débord (31) sur l'au moins un flanc (210) des piliers d'ancrage (21) et présentant une deuxième dimension L_b selon la direction (x, y) de référence, telles que la deuxième dimension L_b est strictement supérieure à la première dimension L_a .

- [Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 10 comprenant en outre, après formation de la structure intermédiaire (3), une formation d'une première ouverture (300) dans la structure intermédiaire (3), ladite première ouverture (300) exposant en partie la face supérieure (211) des piliers d'ancrage (21) et traversant l'au moins un débord (31) en pourtour des piliers d'ancrage (21), et dans lequel la formation de la deuxième ouverture (200) dans la deuxième couche sacrificielle (20b) est configurée de manière à ce que ladite deuxième ouverture (200) passe au moins en partie par la première ouverture (300).
- [Revendication 12] Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 11 dans lequel le remplissage de la deuxième ouverture (200) est au moins partiellement effectué lors de la formation de la couche d'encapsulation (23), par dépôt conforme de ladite couche d'encapsulation (23) sur la deuxième couche sacrificielle (20b) et dans la deuxième ouverture (200), de sorte que l'au moins un matériau de remplissage comprenne le matériau d'encapsulation.
- [Revendication 13] Procédé selon la revendication précédente dans lequel le remplissage de la deuxième ouverture (200) est au moins partiellement effectué lors de la formation de la couche de scellement (24), par dépôt de ladite couche de scellement (24) sur la couche d'encapsulation (23), de sorte que l'au moins un matériau de remplissage comprenne le matériau d'encapsulation et le matériau de scellement.
- [Revendication 14] Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 11 dans lequel le remplissage de la deuxième ouverture (200) est effectué avant la formation de la couche d'encapsulation (23), par un matériau de rem-

plissage différent du matériau d'encapsulation.

[Fig. 1]

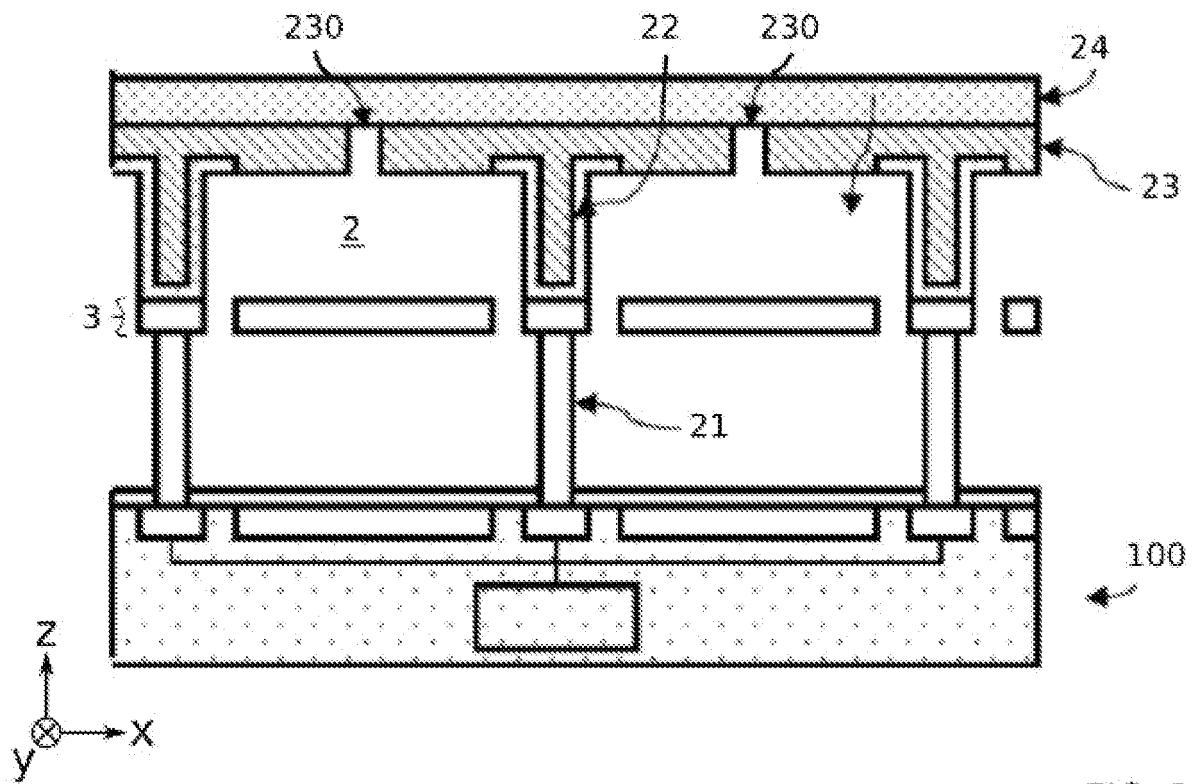


FIG. 1

[Fig. 2A]

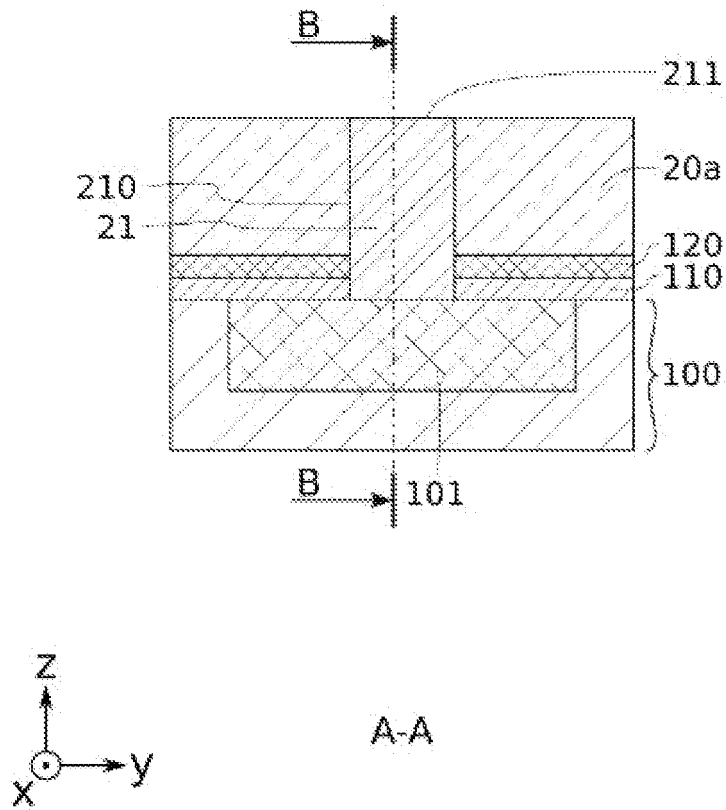


FIG. 2A

[Fig. 2B]

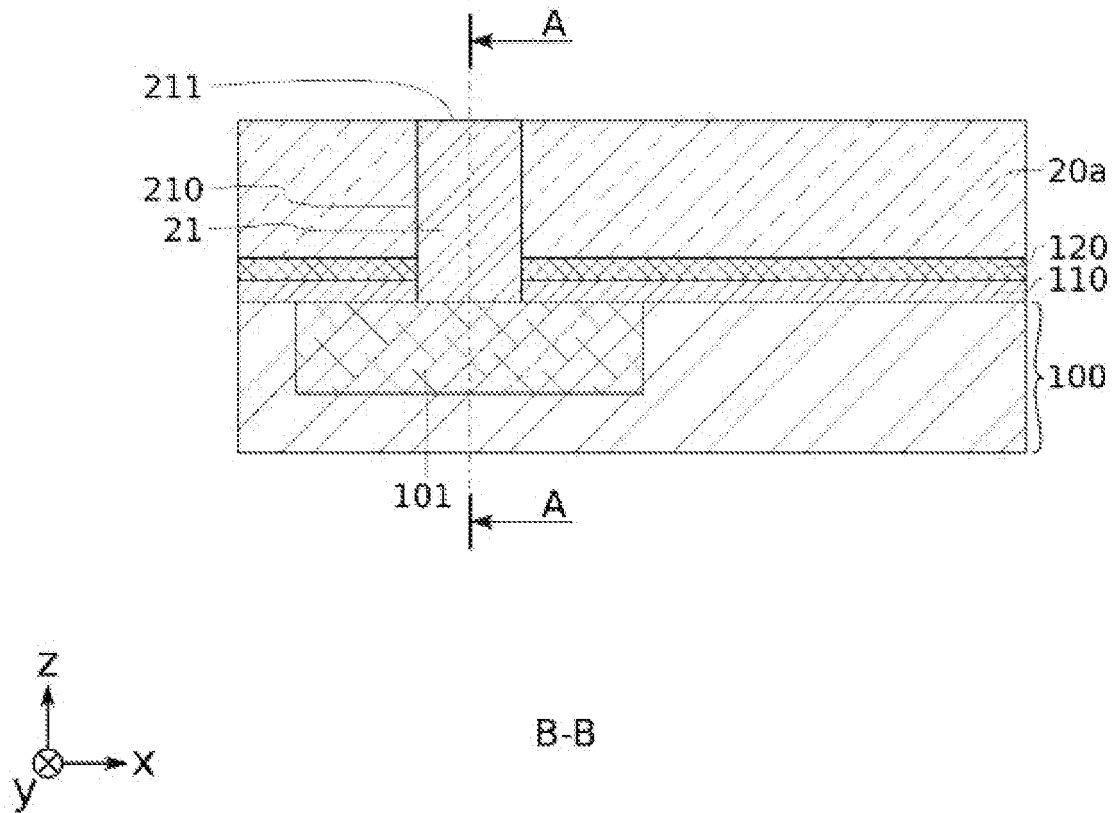


FIG. 2B

[Fig. 3A]

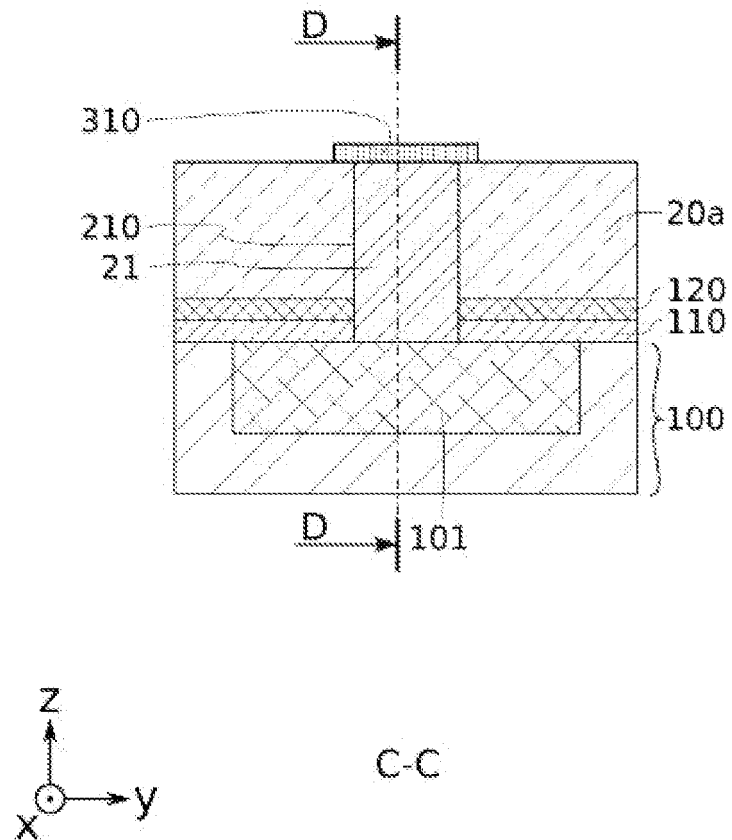
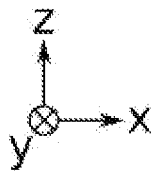
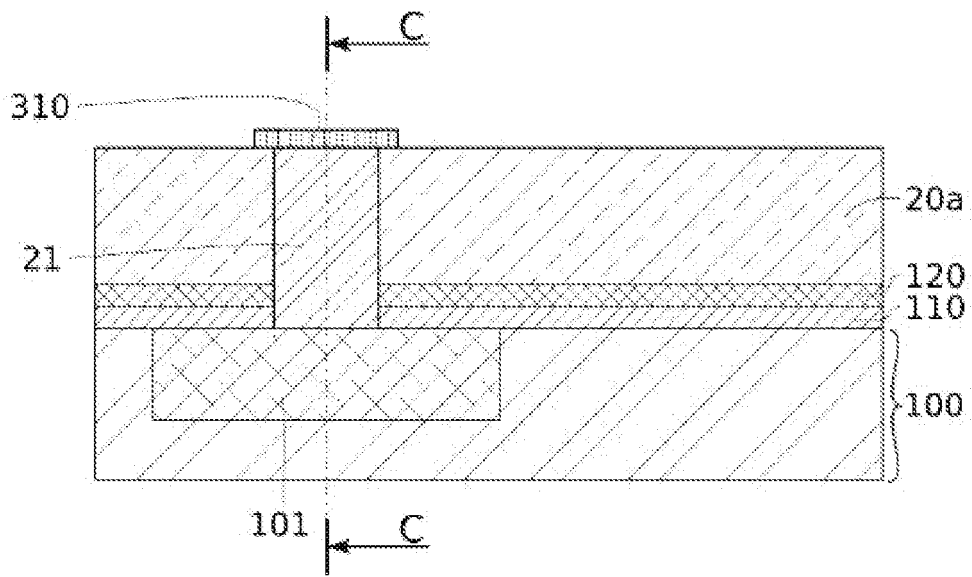


FIG. 3A

[Fig. 3B]



D-D

FIG. 3B

[Fig. 4A]

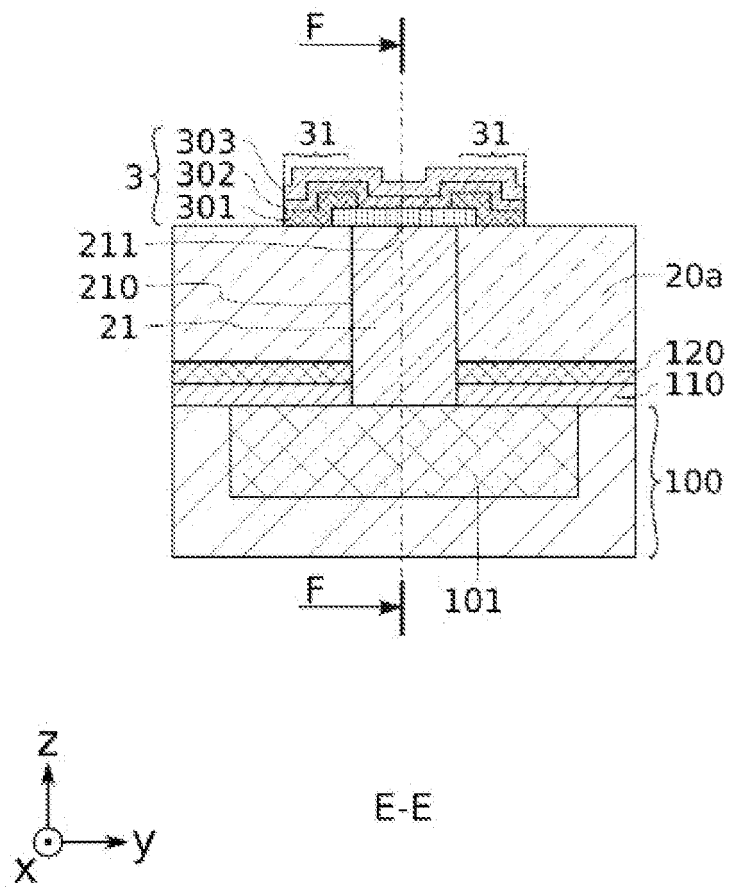
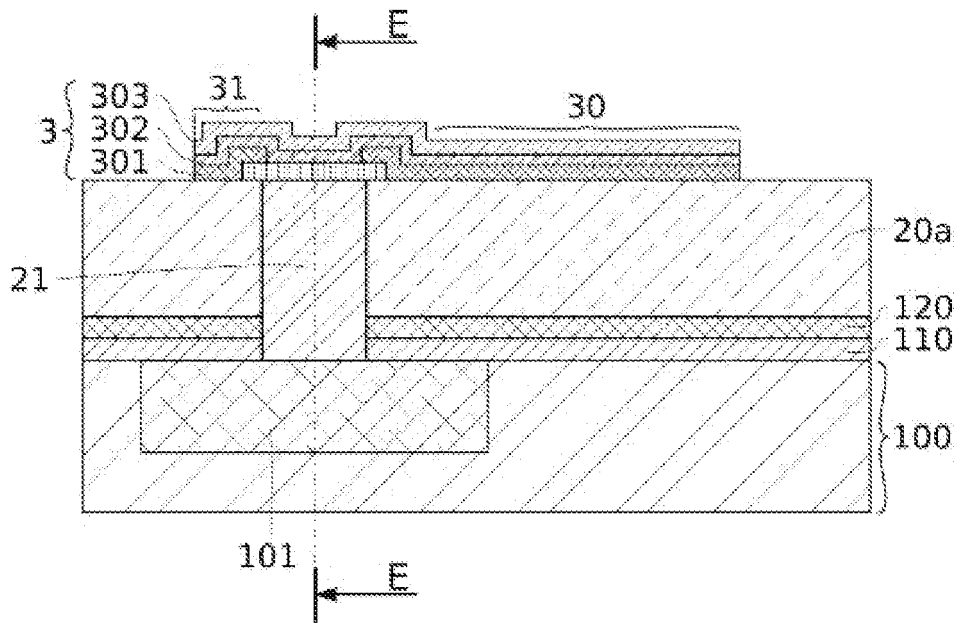


FIG. 4A

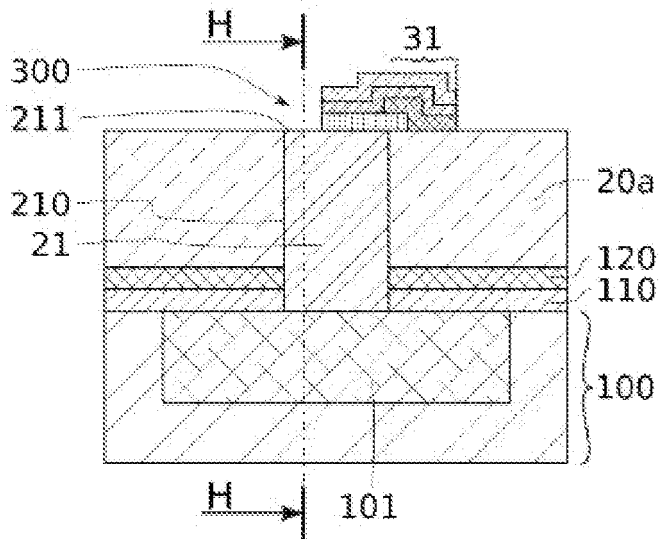
[Fig. 4B]



F-F

FIG. 4B

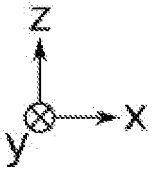
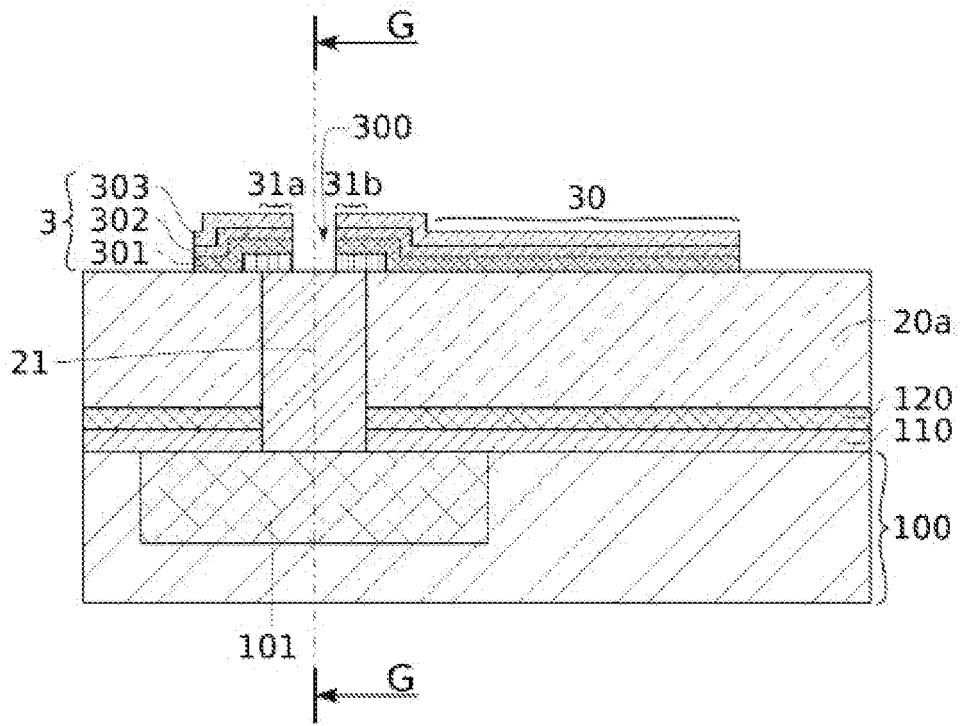
[Fig. 5A]



G-G

FIG. 5A

[Fig. 5B]



H-H

FIG. 5B

[Fig. 6A]

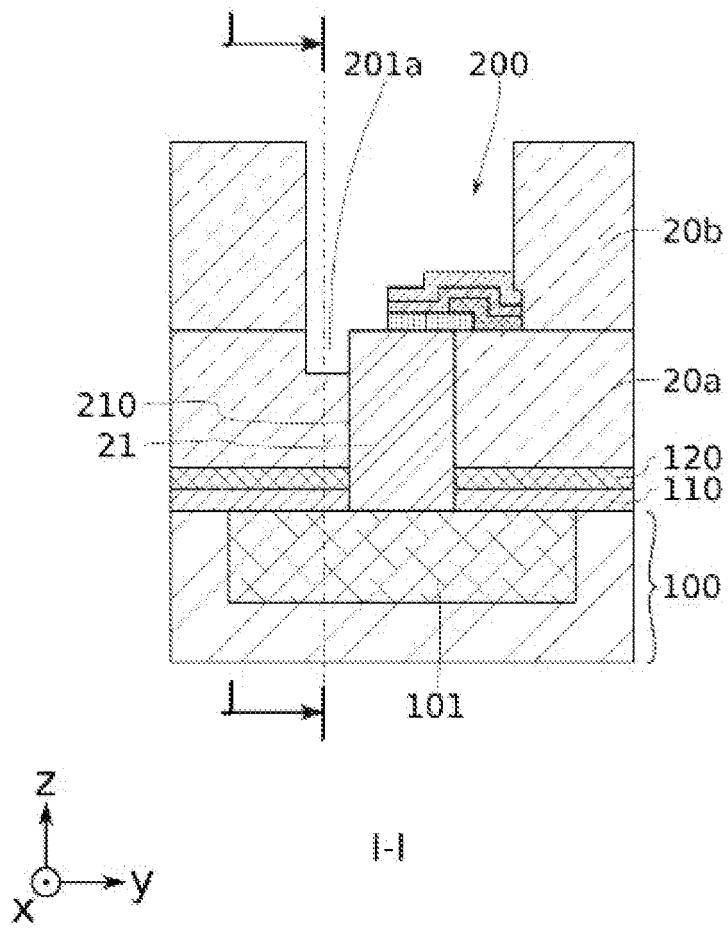


FIG. 6A

[Fig. 6B]

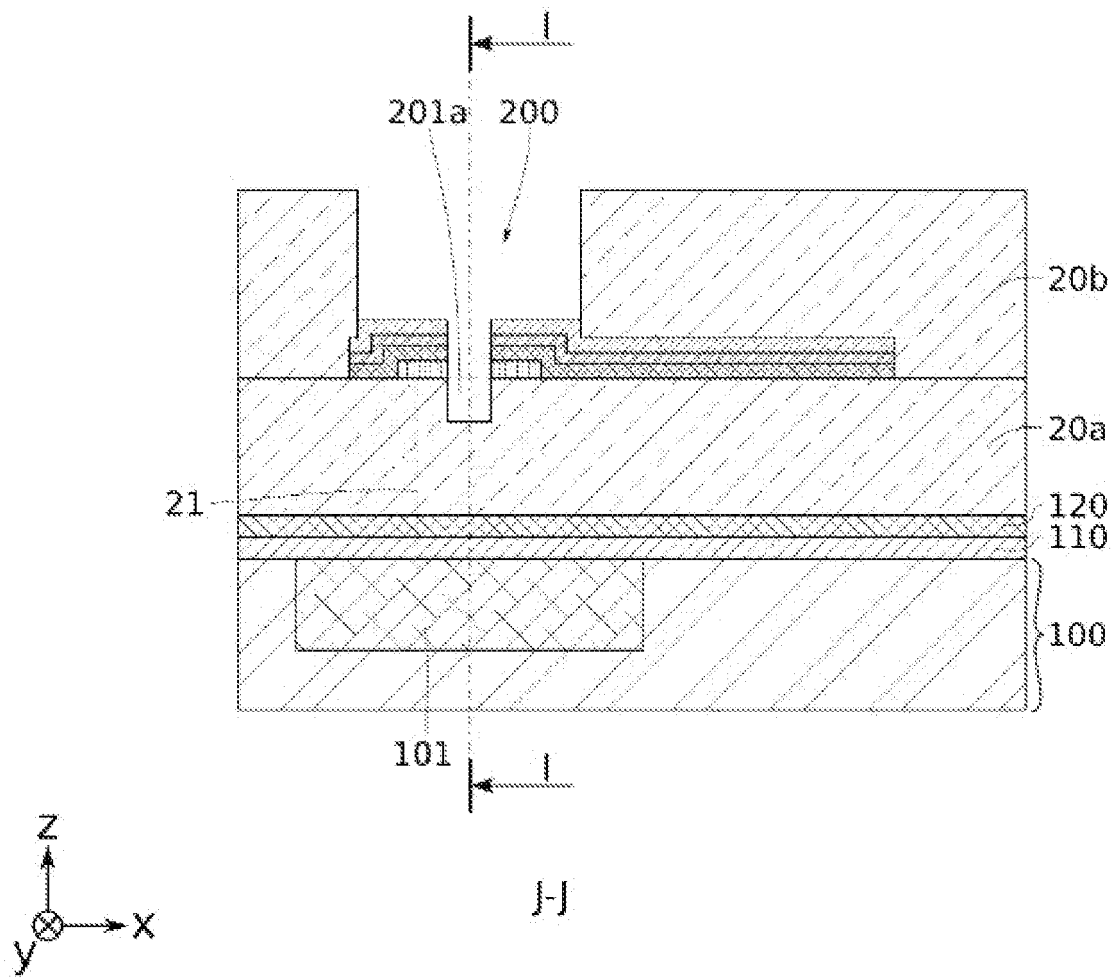


FIG. 6B

[Fig. 7A]

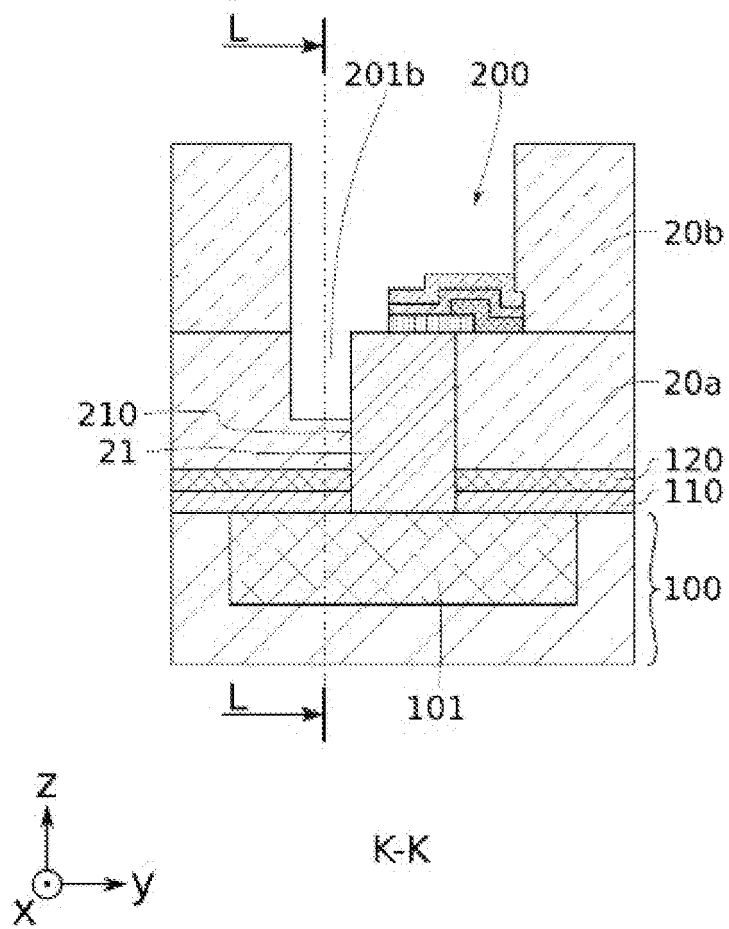


FIG. 7A

[Fig. 7B]

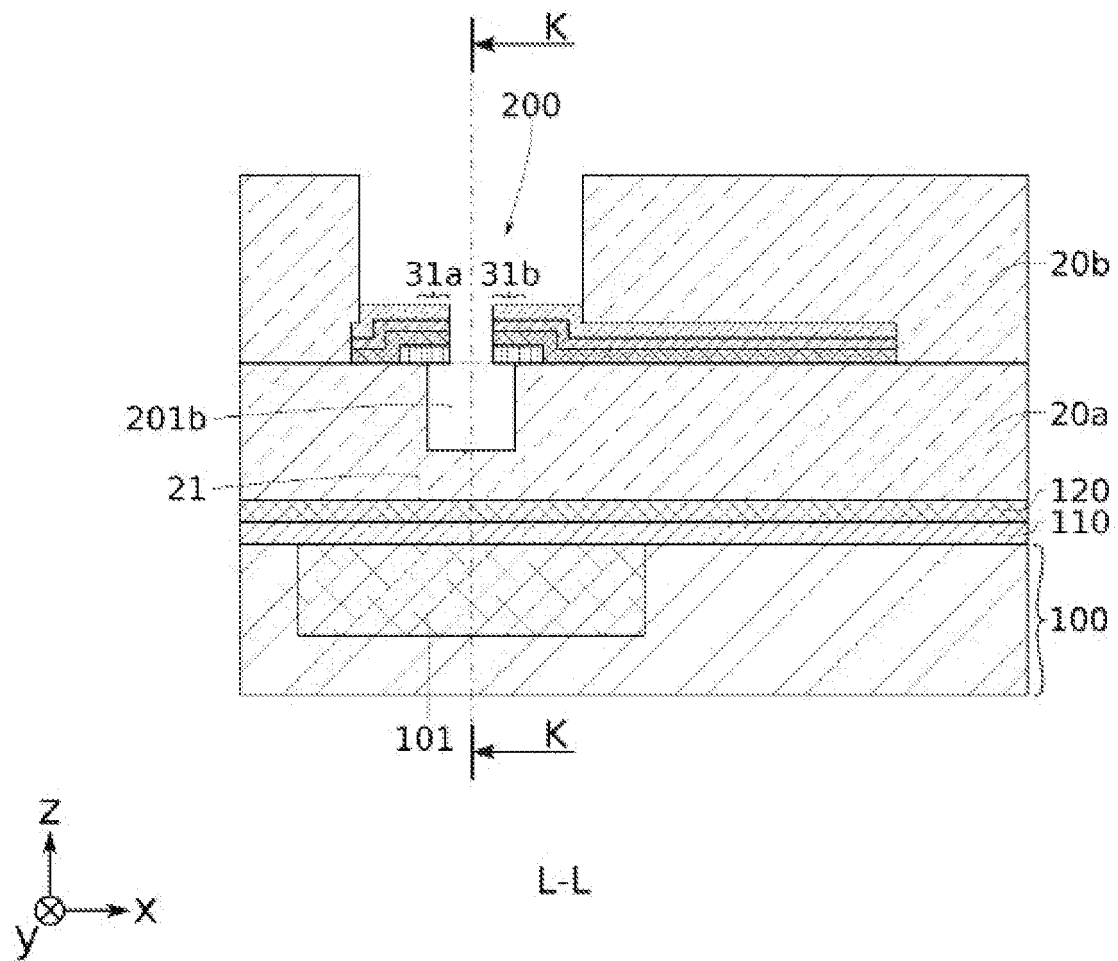


FIG. 7B

[Fig. 8A]

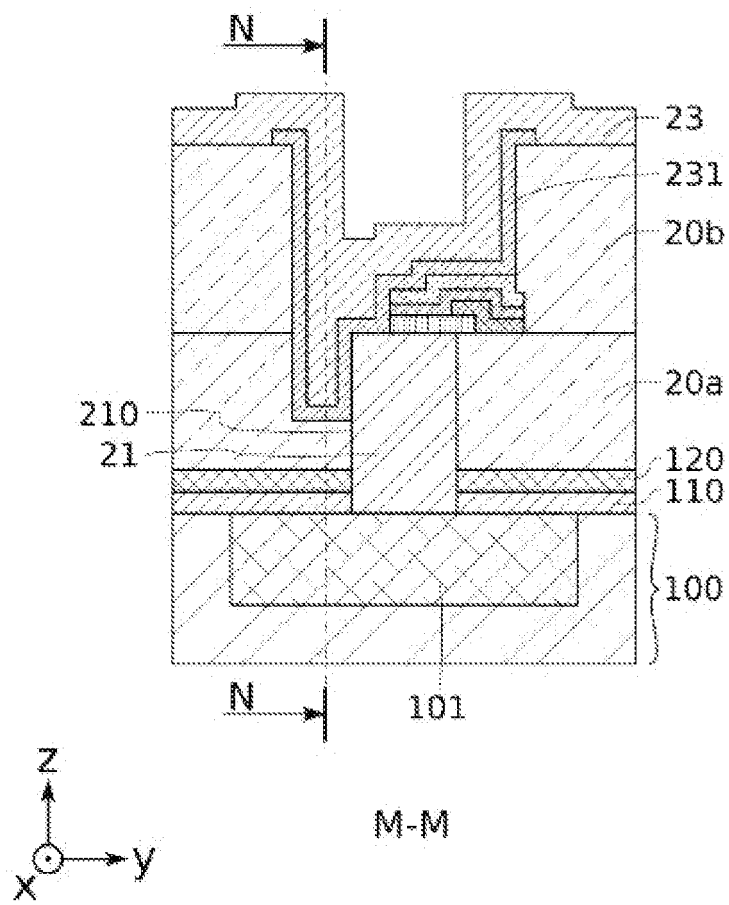


FIG. 8A

[Fig. 8B]

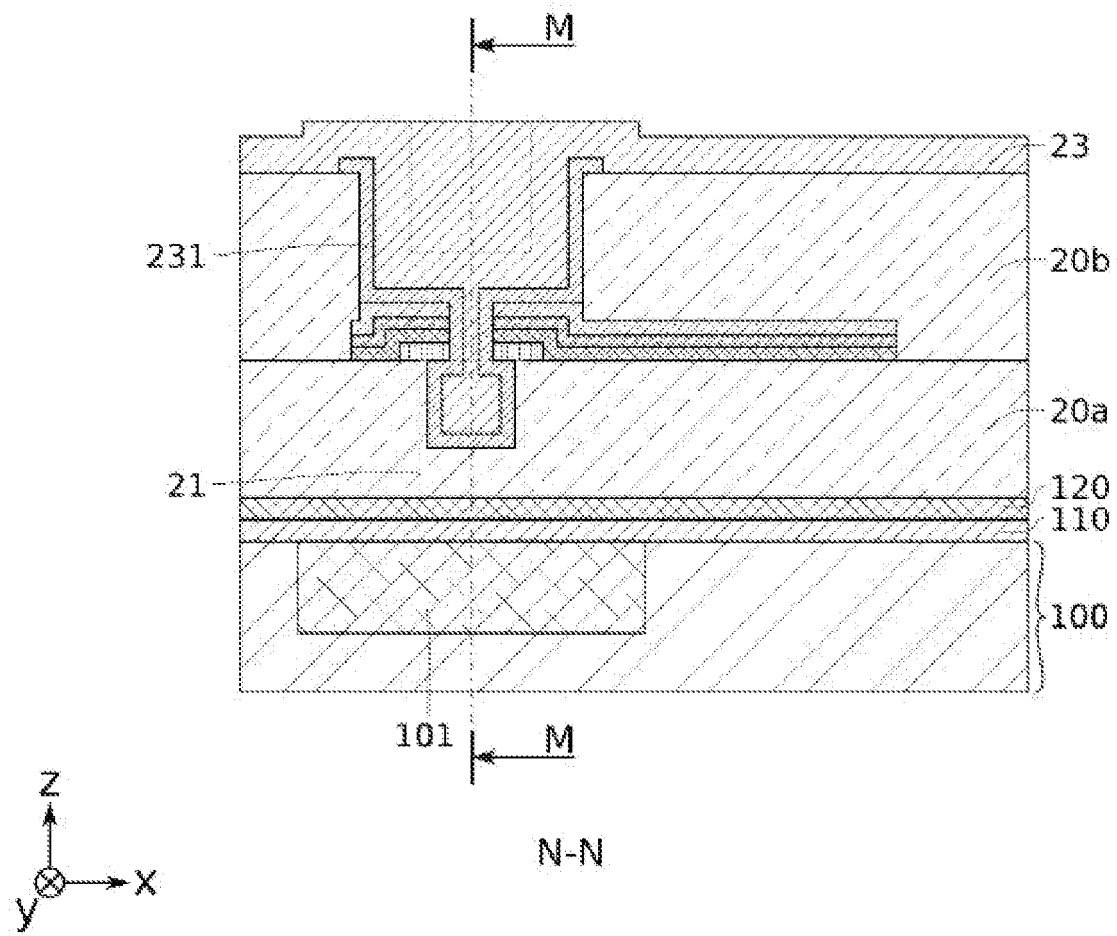


FIG. 8B

[Fig. 9A]

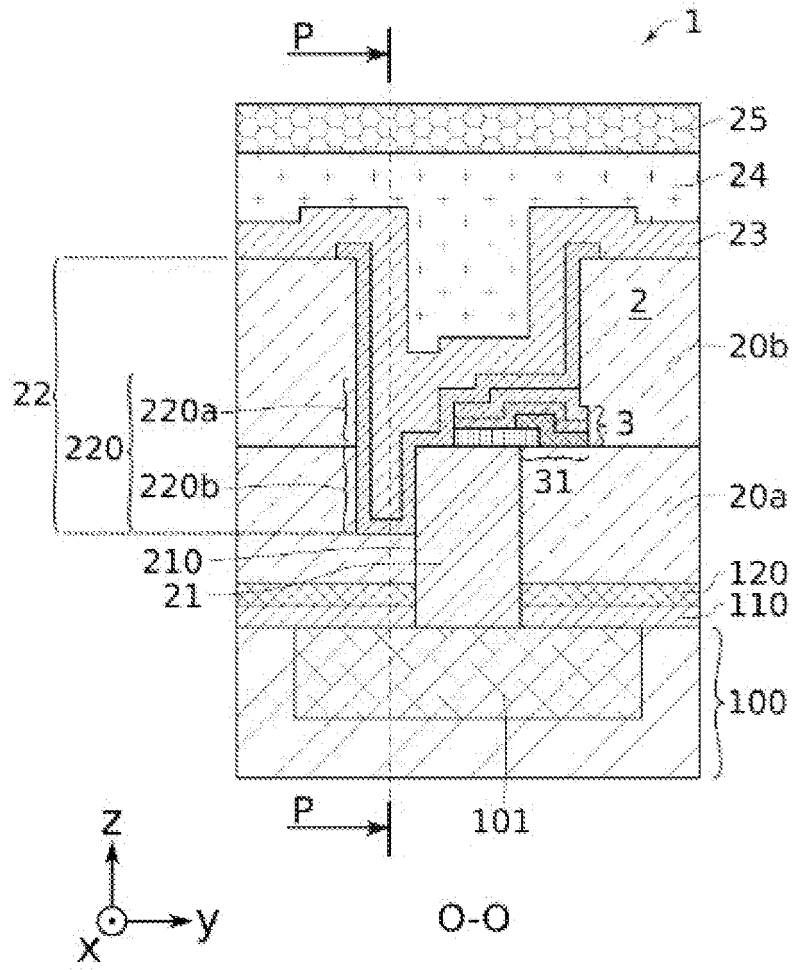


FIG. 9A

[Fig. 9B]

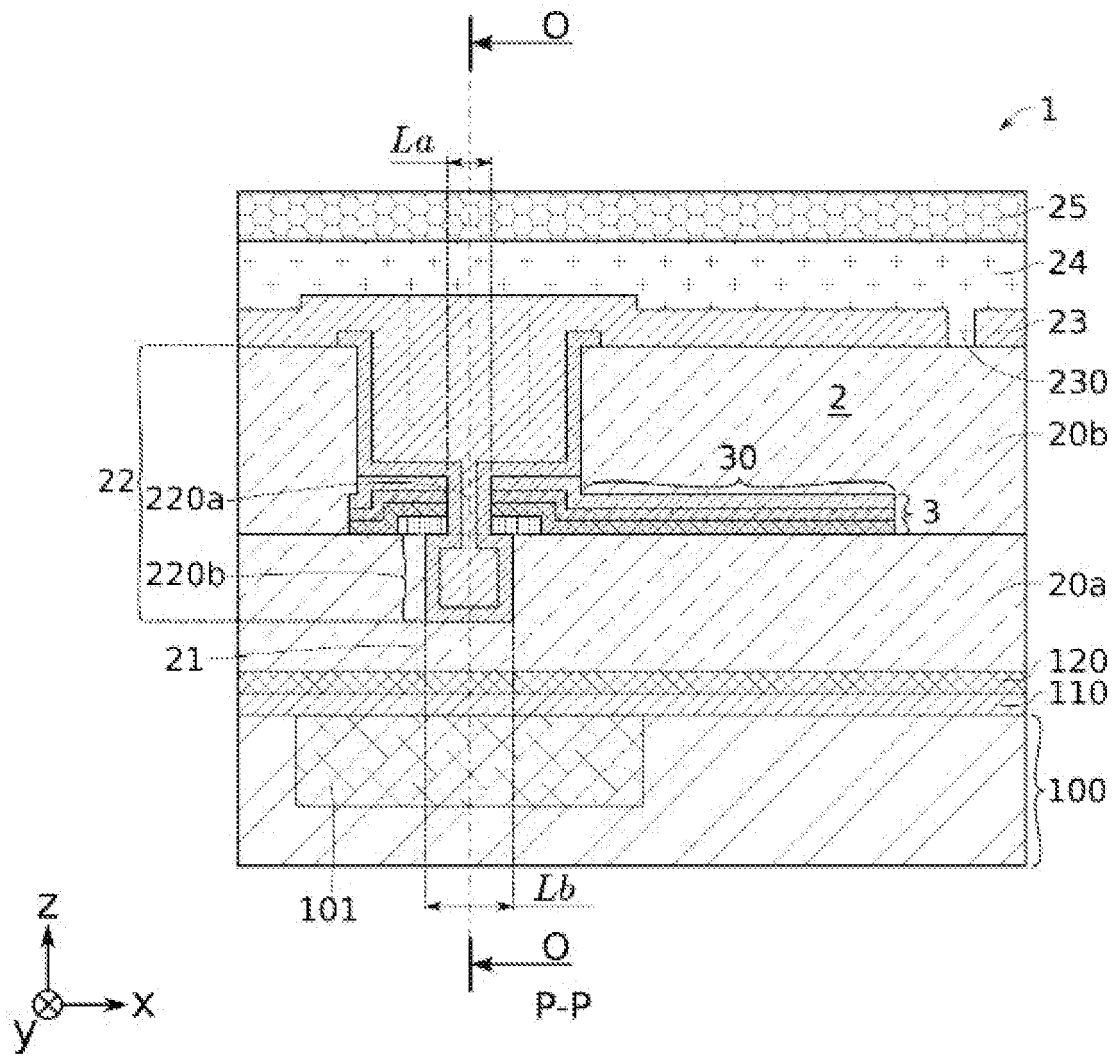


FIG. 9B

[Fig. 10A]

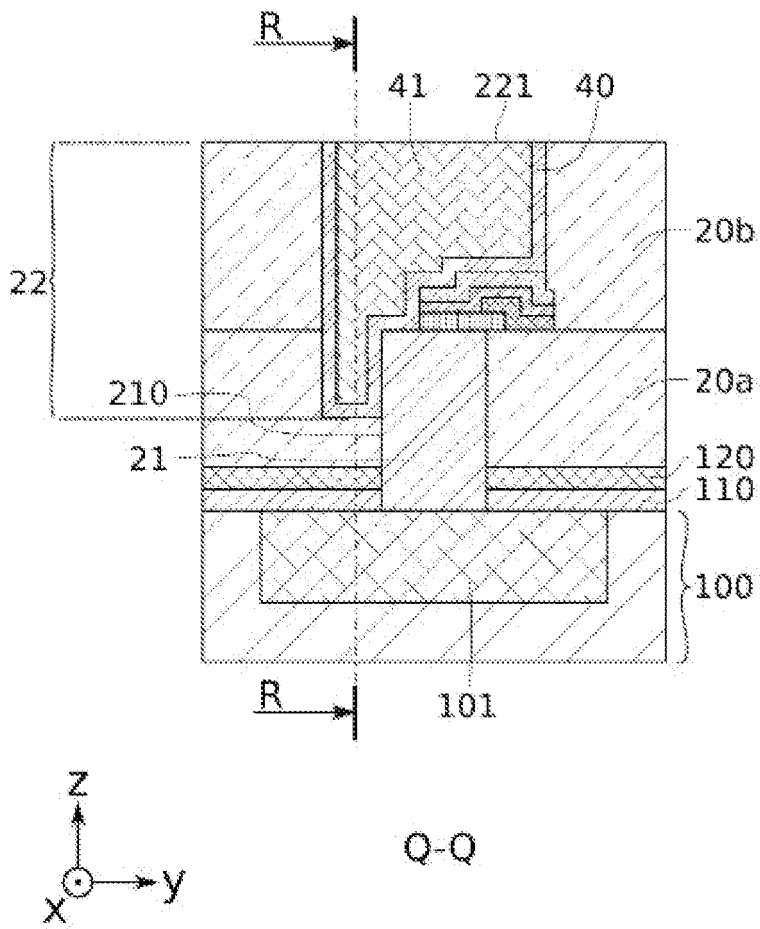


FIG. 10A

[Fig. 10B]

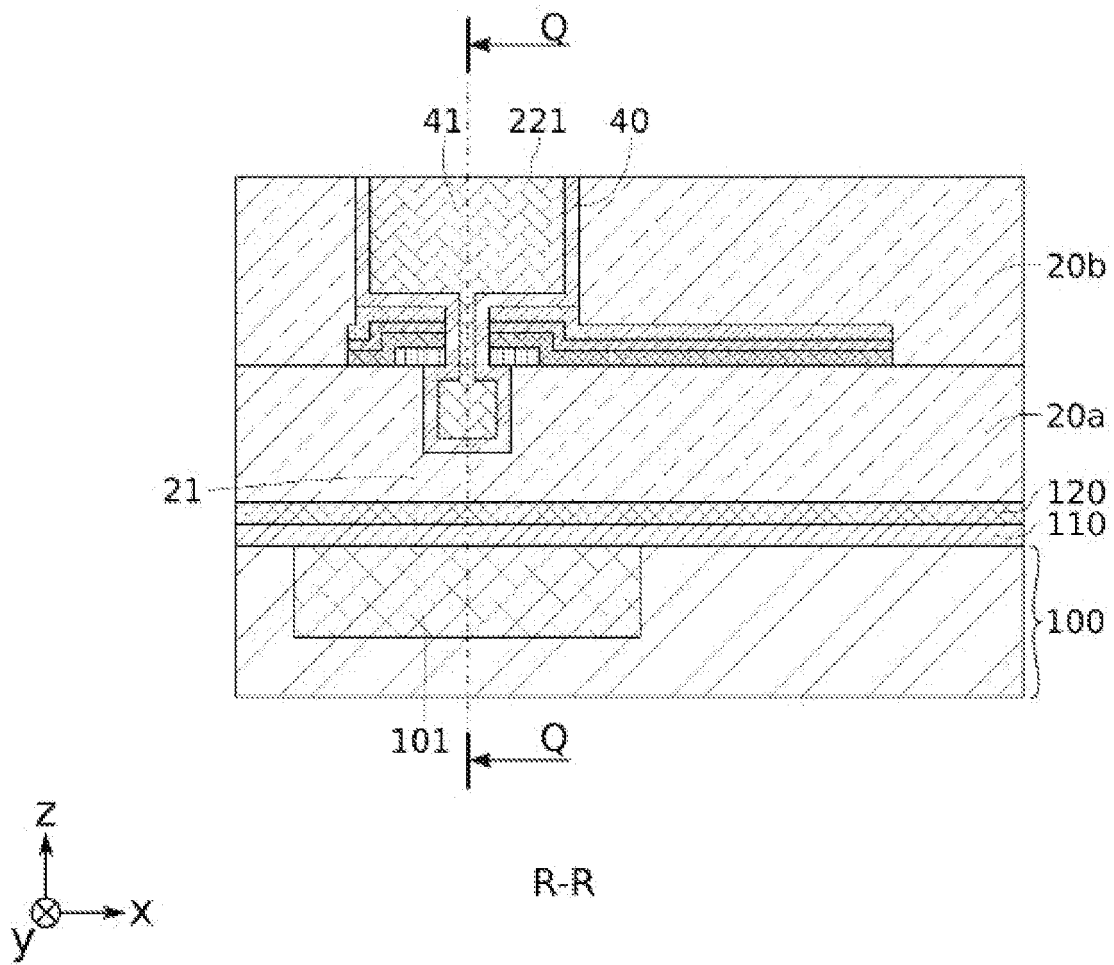


FIG. 10B

[Fig. 11A]

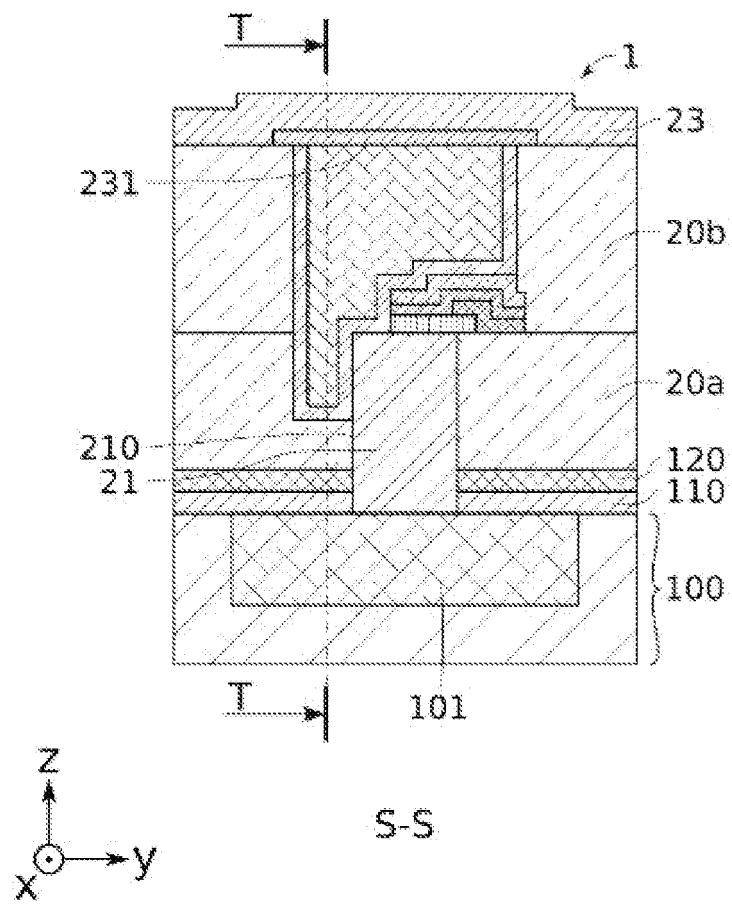


FIG. 11A

[Fig. 11B]

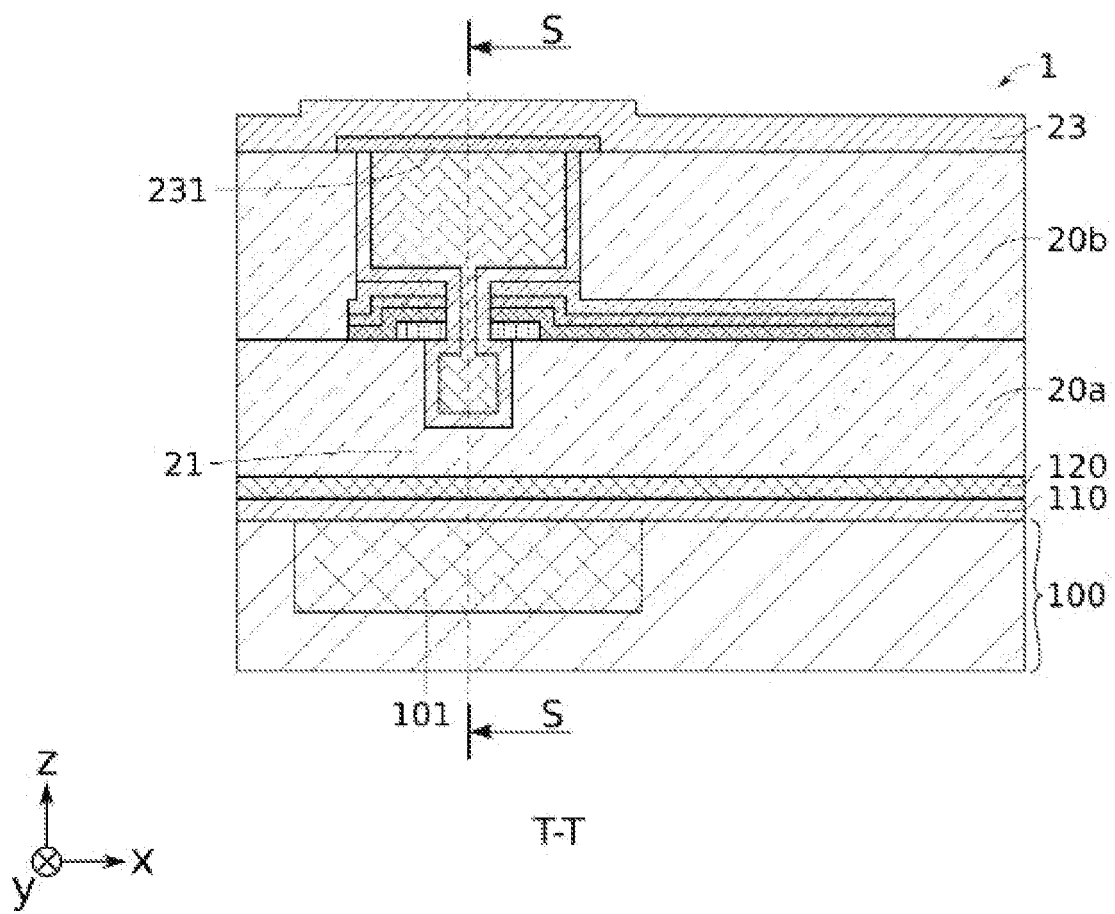


FIG. 11B

[Fig. 12A]

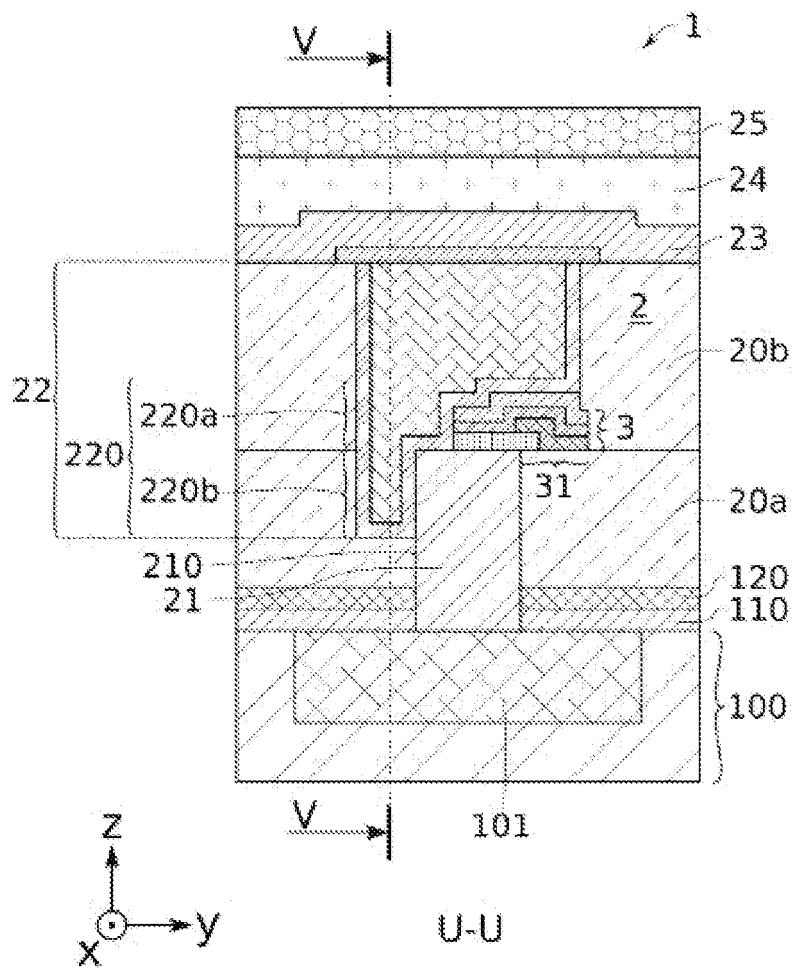


FIG. 12A

[Fig. 12B]

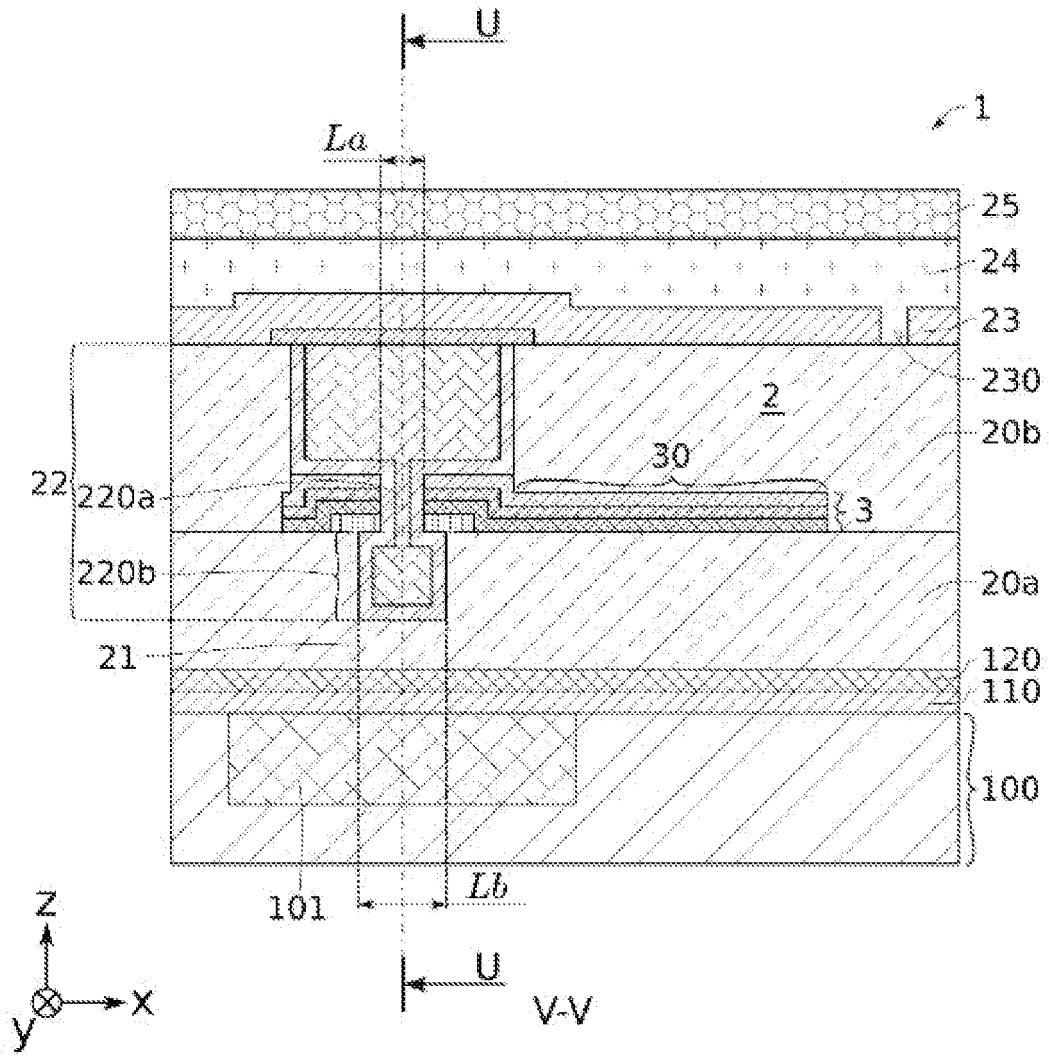


FIG. 12B

[Fig. 13A]

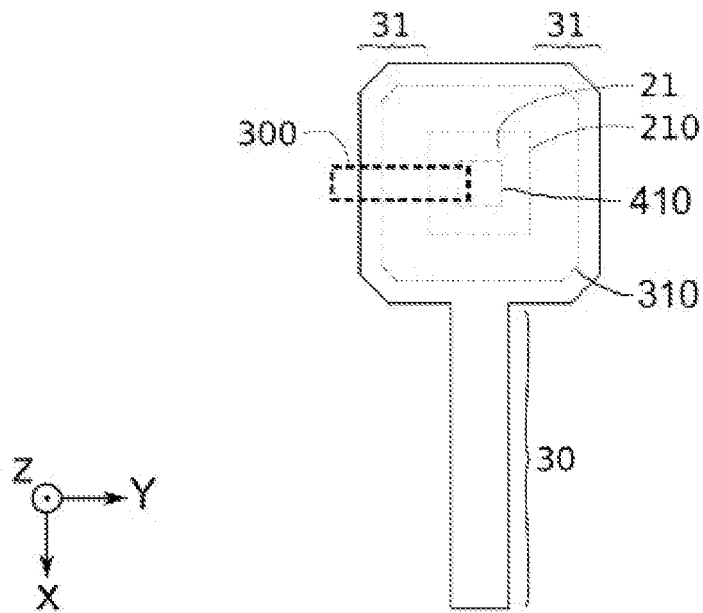


FIG. 13A

[Fig. 13B]

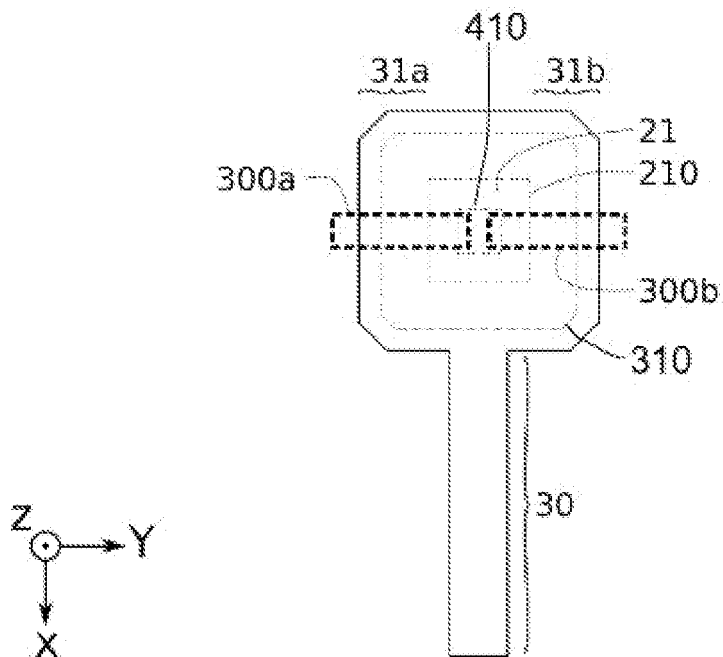


FIG. 13B

[Fig. 13C]

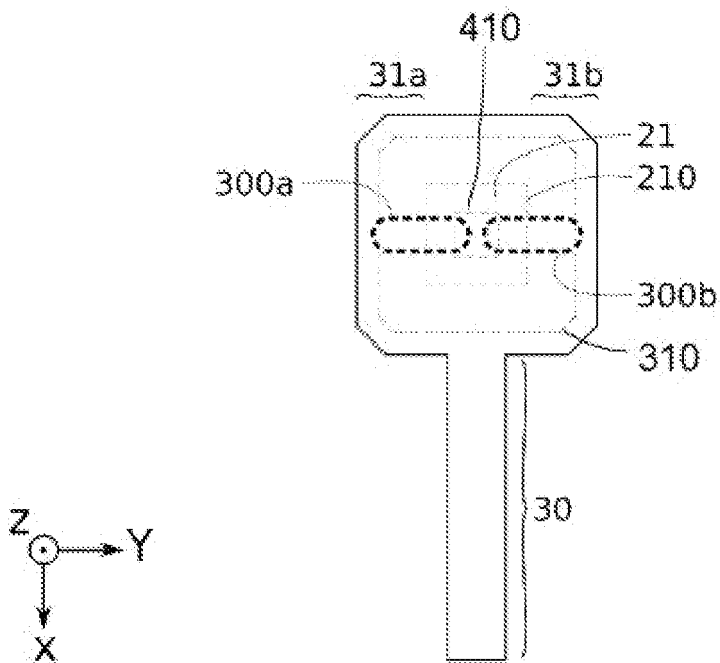


FIG. 13C

[Fig. 13D]

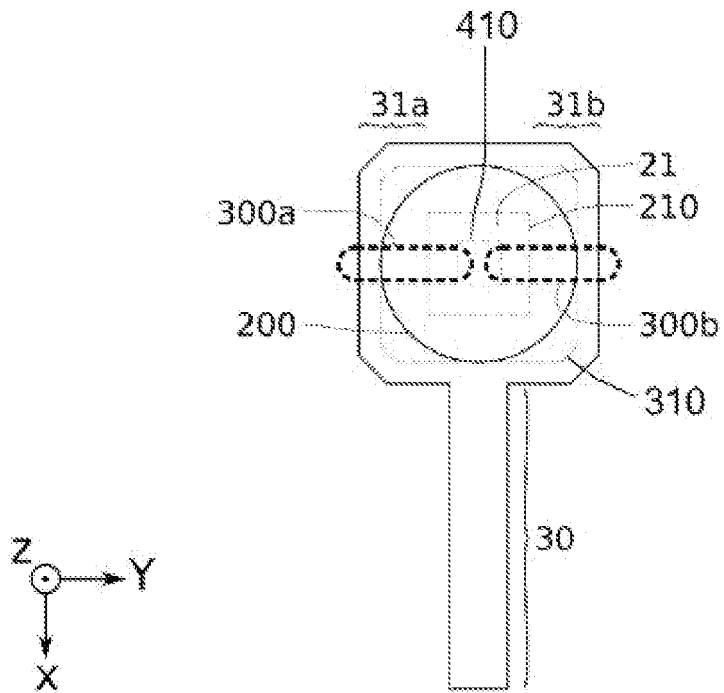


FIG. 13D

[Fig. 14A]

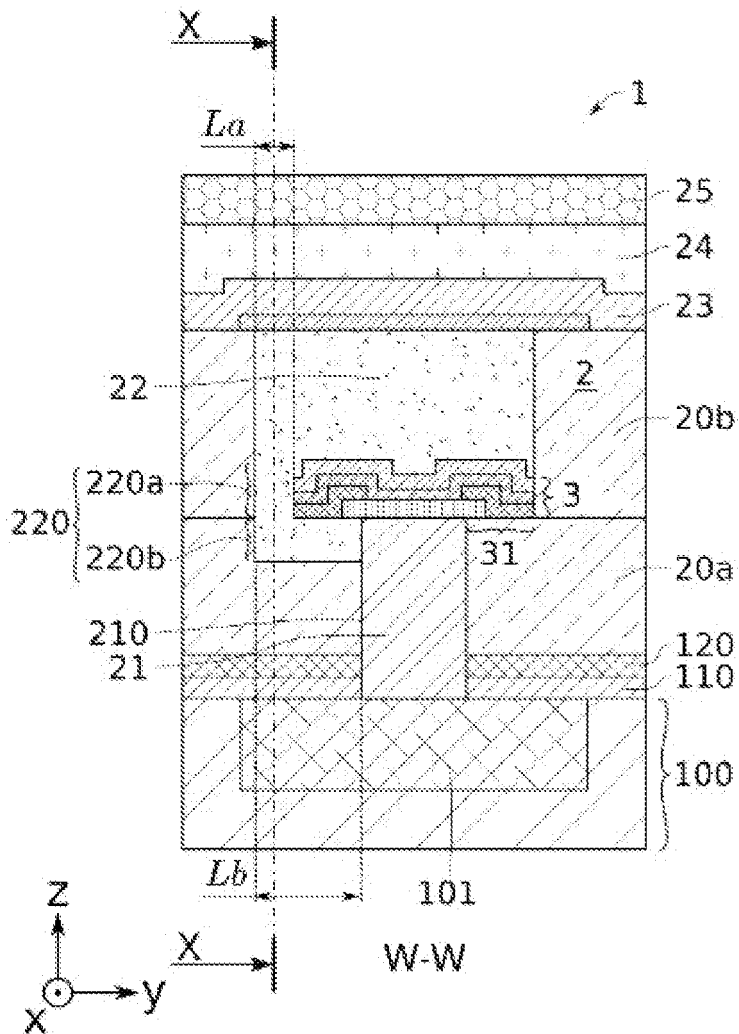


FIG. 14A

[Fig. 14B]

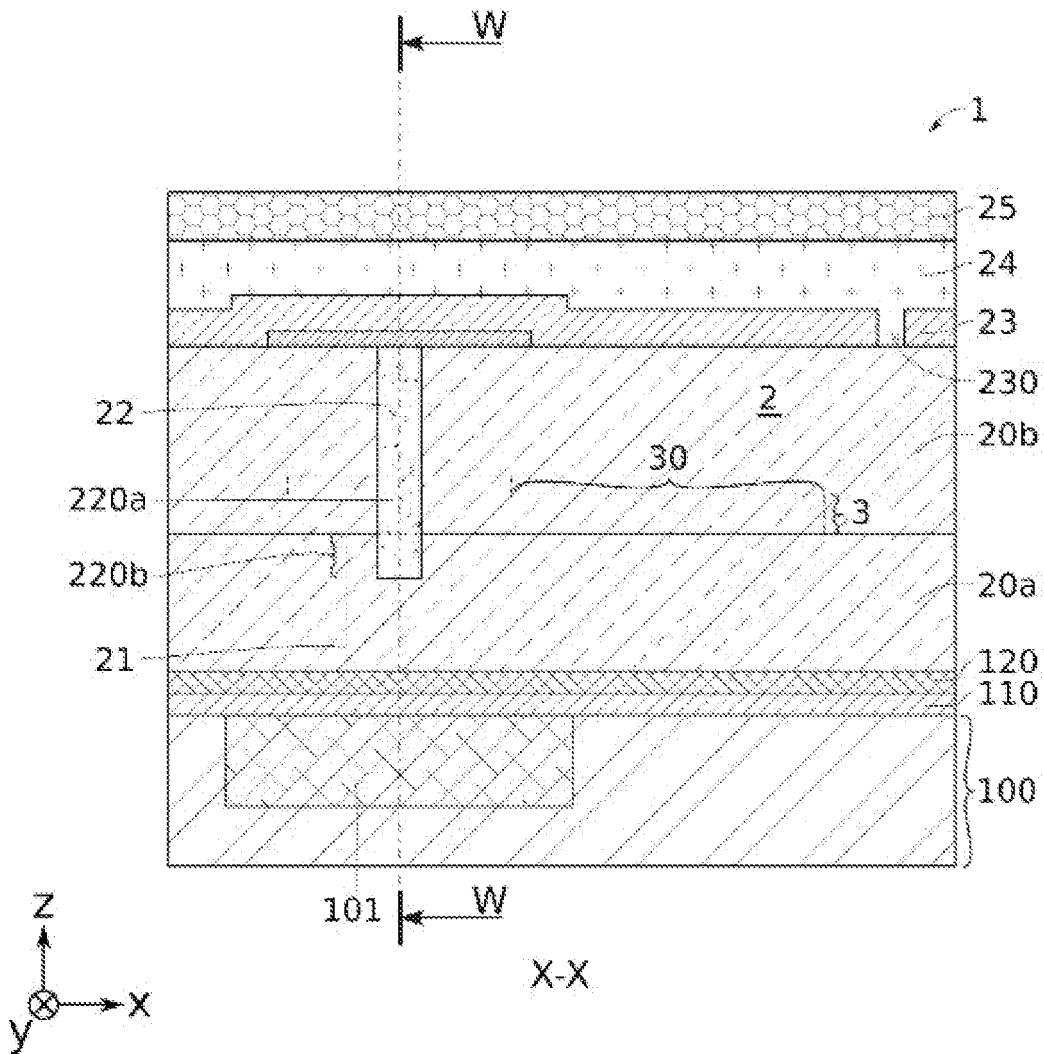


FIG. 14B

[Fig. 15]

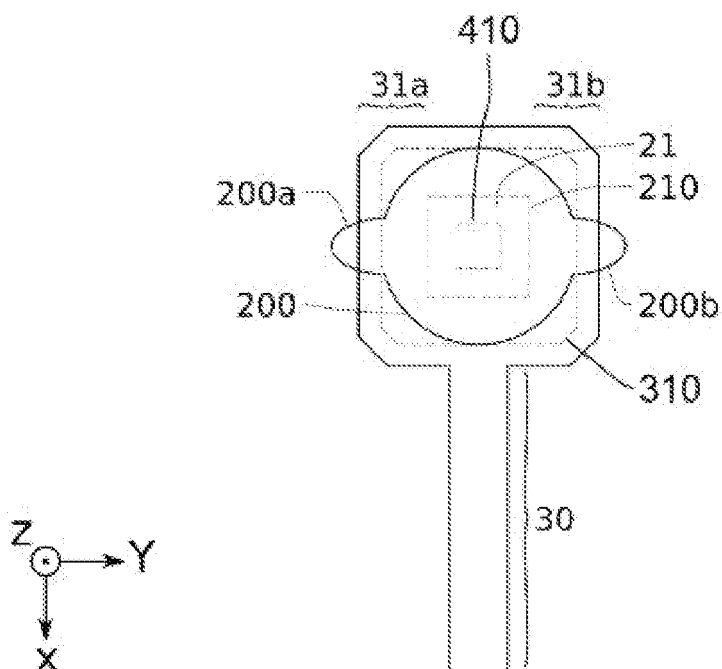


FIG. 15

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

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

WO 2018/167433 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE
ATOMIQUE [FR])
20 septembre 2018 (2018-09-20)

KR 2020 0044439 A (KOREA ADVANCED INST SCI
& TECH [KR]) 29 avril 2020 (2020-04-29)

US 2008/237766 A1 (KIM KI-HONG [KR])
2 octobre 2008 (2008-10-02)

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

NEANT