

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

3 112 894

21 N° d'enregistrement national : 20 07905

51 Int Cl<sup>8</sup> : H 01 L 21/70 (2019.12), H 01 L 21/302

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 27.07.20.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 28.01.22 Bulletin 22/04.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : STMICROELECTRONICS (CROLLES 2) SAS Société par actions simplifiée (SAS) — FR.

72 Inventeur(s) : MONNIER Denis et LEVERD Francois.

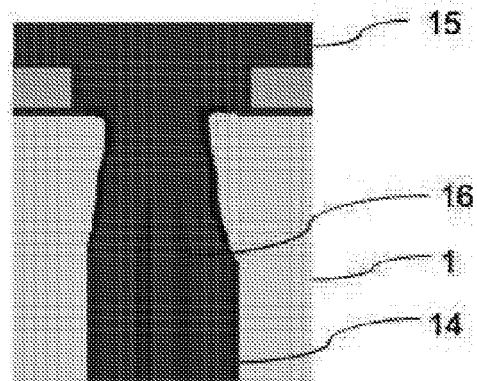
73 Titulaire(s) : STMICROELECTRONICS (CROLLES 2) SAS Société par actions simplifiée (SAS).

74 Mandataire(s) : CABINET BEAUMONT.

54 Procédé de formation d'une tranchée capacitive d'isolation et substrat comprenant une telle tranchée.

57 Le texte concerne un procédé de formation d'une tranchée d'isolation capacitive dans un substrat semi-conducteur, comprenant les étapes successives suivantes:- le creusement d'une tranchée (10) à partir d'une surface principale du substrat (1), ladite tranchée comprenant une portion supérieure (10a) s'élargissant progressivement à partir d'un col (102) en direction d'une portion inférieure (10b) de la tranchée;- la formation d'un revêtement en un premier matériau électriquement isolant (14) sur les parois de la tranchée ; - le dépôt d'un premier matériau semi-conducteur (15) sur ledit revêtement, ledit dépôt étant interrompu de sorte à ménager un espace libre entre les parois (100, 101) de la tranchée, ledit espace libre présentant une ouverture (150) au niveau du col (102) ; - le dépôt d'un second matériau électriquement isolant (16) dans la tranchée, ledit dépôt résultant en la formation d'un bouchon (160) obturant ladite ouverture (150) pour former une cavité (17) fermée;- la gravure du bouchon (16) de sorte à ouvrir la cavité (17) ; - le dépôt d'un second matériau semi-conducteur ou d'un métal de sorte à remplir la cavité (17).

Figure pour l'abrégé : Fig 2f



FR 3 112 894 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Procédé de formation d'une tranchée capacitive d'isolation et substrat comprenant une telle tranchée**

#### **Domaine technique**

[0001] Le présent texte concerne un procédé de formation d'une tranchée capacitive d'isolation dans un substrat semi-conducteur. Ce procédé peut en particulier être mis en œuvre lors de la fabrication de substrats semi-conducteurs pour des capteurs d'image, ladite tranchée d'isolation capacitive étant destinée à isoler électriquement deux pixels adjacents.

#### **Etat de la technique**

[0002] Les tranchées capacitives d'isolation, connues sous l'acronyme CDTI (du terme anglo-saxon « Capacitive Deep Trench Isolation ») sont utilisées pour des capteurs d'image illuminés par l'arrière. De tels capteurs sont formés à partir d'un substrat semi-conducteur, en particulier un substrat de silicium, dans lequel sont agencés une pluralité de photodiodes définissant chacune un pixel du capteur. Des tranchées capacitives d'isolation sont agencées dans le substrat verticalement, c'est-à-dire perpendiculairement à la surface principale du substrat qui est considérée comme horizontale, afin d'isoler électriquement les pixels les uns vis-à-vis des autres.

[0003] Contrairement aux tranchées d'isolation conventionnelles, désignées par l'acronyme DTI (du terme anglo-saxon « Deep Trench Isolation »), qui sont formées d'un matériau électriquement isolant tel que de l'oxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), les tranchées capacitives d'isolation comprennent non seulement un matériau électriquement isolant mais aussi un matériau semi-conducteur tel que du silicium amorphe ou polycristallin. Lesdites tranchées peuvent ainsi être polarisées au potentiel électrique souhaité, ce qui permet d'améliorer les performances du capteur d'image.

[0004] Une tranchée capacitive d'isolation peut être formée selon le procédé décrit en référence aux figures 1A à 1I.

[0005] Comme illustré sur la figure 1A, on forme sur un substrat semi-conducteur 1 un masque 2 par photolithographie. Ledit masque comprend au moins une ouverture 20 délimitant, à la surface du substrat 1, la section d'une tranchée à former dans ledit substrat.

[0006] En référence aux figures 1B et 1C, on forme une tranchée 10 dans l'épaisseur du substrat 1 depuis la surface exposée par l'ouverture 20 du masque.

[0007] En référence à la figure 1D, on met en œuvre un retrait partiel de l'empilement de couches qui recouvre le substrat 1. Ledit retrait peut être réalisé notamment par une gravure sélective des couches 12 et 13 dans une direction parallèle à la surface

principale du substrat 1, de part et d'autre de la tranchée 10.

[0008] En référence à la figure 1E, on met en œuvre un dépôt d'une couche 14 d'oxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ) dans la tranchée. Ce dépôt est sensiblement conforme, de sorte que la couche 14 recouvre le fond et les parois de la tranchée 10.

[0009] En référence à la figure 1F, on met en œuvre un dépôt de silicium amorphe dans la tranchée 10. On forme ainsi une couche 15 de silicium amorphe sur la couche 14, qui recouvre le fond et les parois de la tranchée 10.

[0010] En référence à la figure 1G, on met en œuvre un dépôt d'oxyde de silicium dans la tranchée 10. On forme ainsi une couche 16 d'oxyde de silicium sur la couche 15, qui recouvre le fond et les parois de la tranchée 10.

[0011] Ce dépôt n'étant pas conforme, l'oxyde de silicium obture la partie supérieure de la tranchée avant que l'espace compris entre les parois de la tranchée n'ait été comblé. En d'autres termes, ce dépôt résulte en la formation d'un bouchon 160 d'oxyde de silicium dans la partie supérieure de la tranchée et d'une cavité 17 sous ledit bouchon. Sur la figure 1G, la cavité est représentée sous la forme d'un volume continu s'étendant entre deux parois parallèles de la tranchée, mais, selon les conditions de mise en œuvre du procédé, les parois de la tranchées recouvertes par le silicium amorphe peuvent ne pas être parfaitement planes et parallèles, de sorte que la cavité 17 peut être discontinue ou présenter une section variable selon la profondeur de la tranchée.

[0012] En référence à la figure 1H, on grave la couche 16 d'oxyde de silicium jusqu'à exposer la couche 15 de silicium amorphe. A l'issue de cette gravure, il subsiste la partie inférieure du bouchon 160 dans la tranchée. Une gravure complète du bouchon 160 n'est pas réalisable car elle augmenterait considérablement la durée du procédé. De plus, la hauteur de ce bouchon n'est pas contrôlée ; ledit bouchon peut s'étendre très en profondeur dans la tranchée. Par ailleurs, pendant cette gravure longue, il y aurait un risque important de graver le silicium amorphe déposé au préalable, ce qui dégraderait les performances électriques et optiques des pixels du capteur d'image formés dans le substrat.

[0013] En référence à la figure 1I, on met en œuvre un dépôt de silicium amorphe dans la partie supérieure de la tranchée libérée par la gravure de l'oxyde de silicium. Du fait de la présence du bouchon 160, le silicium amorphe ne pénètre pas dans la cavité 17.

[0014] Par conséquent, à l'issue du procédé de fabrication, la cavité 17 subsiste au centre de la tranchée capacitive d'isolation. Une telle cavité est problématique dans la mesure où, si la tranchée est ouverte lors d'une étape ultérieure du procédé de fabrication du capteur d'image, la cavité peut déboucher et est susceptible d'accumuler des contaminants ou autres matériaux nuisibles aux performances du capteur d'image.

## **Résumé**

[0015] Il est donc souhaitable de concevoir un procédé de fabrication permettant d'éviter la

formation d'une cavité dans une tranchée capacitive d'isolation.

[0016] Un premier objet du présent texte est un procédé de formation d'une tranchée d'isolation capacitive dans un substrat semi-conducteur, comprenant les étapes successives suivantes :

- le creusement d'une tranchée à partir d'une surface principale du substrat, ladite tranchée comprenant une portion supérieure s'élargissant progressivement à partir d'un col en direction d'une portion inférieure de la tranchée ;
- la formation d'un revêtement en un premier matériau électriquement isolant sur les parois de la tranchée ;
- le dépôt d'un premier matériau semi-conducteur sur ledit revêtement, ledit dépôt étant interrompu de sorte à ménager un espace libre entre les parois de la tranchée, ledit espace libre présentant une ouverture au niveau du col ;
- le dépôt d'un second matériau électriquement isolant dans la tranchée, ledit dépôt résultant en la formation d'un bouchon obturant ladite ouverture pour former une cavité fermée ;
- la gravure du bouchon de sorte à ouvrir la cavité ;
- le dépôt d'un second matériau semi-conducteur ou d'un métal de sorte à remplir la cavité.

[0017] Ce procédé présente l'avantage, grâce au col resserré formé dans la partie supérieure de la tranchée, de former un bouchon situé plus haut dans la tranchée que dans l'état de la technique. Ce bouchon peut alors être gravé entièrement pour ouvrir la cavité et permettre son remplissage après reprise du dépôt du matériau semi-conducteur. Ainsi, la tranchée obtenue à l'issue de ce procédé est pleine et ne contient aucune cavité susceptible d'accumuler des matériaux indésirables, contrairement aux tranchées de l'état de la technique.

[0018] Dans certains modes de réalisation, la portion inférieure de la tranchée comprend des parois parallèles perpendiculaires à une surface principale du substrat et la portion supérieure de la tranchée comprend des parois inclinées par rapport aux parois de la portion inférieure, la largeur de la portion supérieure de la tranchée se réduisant depuis la portion inférieure de la tranchée vers la surface principale du substrat.

[0019] Dans certains modes de réalisation, la largeur de la tranchée au niveau du col est comprise entre 87 et 92% de la largeur de la portion inférieure de la tranchée.

[0020] Dans certains modes de réalisation, le creusement de la tranchée comprend une alternance de cycles de dépôt d'un polymère protecteur sur les parois de la tranchée au moyen d'un premier gaz et de gravure du fond de la tranchée au moyen d'un second gaz, et dans lequel on ajuste au moins un des paramètres suivants : débit du premier gaz, durée de dépôt, débit du second gaz, durée de gravure, pour creuser la portion supérieure de la tranchée avec une inclinaison pour former le col, et on modifie au moins

un desdits paramètres pour creuser la portion inférieure de la tranchée.

- [0021] Dans certains modes de réalisation, l'un au moins du premier matériau électriquement isolant et du second matériau électriquement isolant comprend de l'oxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), un diélectrique high k, de l'oxynitride de silicium ( $\text{SiON}$ ) ou du nitrure de silicium ( $\text{SiN}$ ).
- [0022] Dans certains modes de réalisation, le premier matériau semi-conducteur comprend du silicium amorphe ou du silicium polycristallin.
- [0023] Le texte concerne également un substrat semi-conducteur comprenant une tranchée capacitive d'isolation obtenue par le procédé décrit ci-dessus.
- [0024] Ledit substrat comprend une tranchée capacitive d'isolation, ladite tranchée comprenant successivement, de l'extérieur vers l'intérieur dans une direction parallèle à une surface principale du substrat :
- un revêtement électriquement isolant,
  - une première couche d'un matériau semi-conducteur,
  - une couche électriquement isolante, et
  - une seconde couche du matériau semi-conducteur,
- ladite tranchée comprenant une portion supérieure s'élargissant progressivement à partir d'un col en direction d'une portion inférieure de la tranchée.
- [0025] Dans certains modes de réalisation, la portion inférieure de la tranchée comprend des parois parallèles perpendiculaires à la surface principale du substrat et la portion supérieure de la tranchée comprend des parois inclinées par rapport aux parois de la portion inférieure, la largeur de la portion supérieure de la tranchée se réduisant depuis la portion inférieure de la tranchée vers la surface principale du substrat.
- [0026] Dans certains modes de réalisation, la largeur de la tranchée au niveau du col est comprise entre 87 et 92% de la largeur de la portion inférieure de la tranchée.
- [0027] Enfin, le texte concerne également un capteur d'image comprenant un substrat tel que décrit ci-dessus. Au moins deux pixels dudit capteur d'image sont agencés dans ledit substrat et séparés par ladite tranchée capacitive d'isolation.

### **Brève description des dessins**

- [0028] D'autres caractéristiques et avantages de ce procédé et de la tranchée obtenue par ledit procédé ressortiront de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés sur lesquels :
- [0029] [fig.1A] est une vue schématique en coupe de la formation d'un masque de photolithographie sur un substrat semi-conducteur destiné notamment à la fabrication d'un capteur d'image ;
- [0030] [fig.1B] est une vue schématique en coupe de la formation d'une tranchée dans le substrat de la figure 1A au travers d'une ouverture du masque ;

- [0031] [fig.1C] est une vue schématique en coupe de la région supérieure du substrat entourant la tranchée, correspondant à la zone entourée par le cadre en pointillés sur la figure 1B ;
- [0032] [fig.1D] est une vue schématique en coupe du retrait partiel des couches recouvrant le substrat de part et d'autre de la tranchée dans la région représentée sur la figure 1C ;
- [0033] [fig.1E] est une vue schématique en coupe de la formation d'un revêtement sur les parois de la tranchée dans la région représentée sur la figure 1D ;
- [0034] [fig.1F] est une vue schématique en coupe de la formation d'une couche de silicium amorphe sur le revêtement de la figure 1E ;
- [0035] [fig.1G] est une vue schématique en coupe du remplissage de la tranchée de la figure 1F avec de l'oxyde de silicium ;
- [0036] [fig.1H] est une vue schématique en coupe de la gravure de l'oxyde de silicium déposé sur la surface du substrat ;
- [0037] [fig.1I] est une vue schématique en coupe de la tranchée d'isolation capacitive après dépôt d'une nouvelle couche de silicium amorphe ;
- [0038] [fig.2A] est une vue schématique en coupe de la formation d'un masque de photolithographie sur un substrat semi-conducteur destiné notamment à la fabrication d'un capteur d'image ;
- [0039] [fig.2B] est une vue schématique en coupe de la formation d'une tranchée dans le substrat de la figure 1A au travers d'une ouverture du masque ;
- [0040] [fig.2C] est une vue schématique en coupe de la région supérieure du substrat entourant la tranchée, correspondant à la zone entourée par le cadre en pointillés sur la figure 2B ;
- [0041] [fig.2D] est une vue schématique en coupe du retrait partiel des couches recouvrant le substrat de part et d'autre de la tranchée dans la région représentée sur la figure 2C ;
- [0042] [fig.2E] est une vue schématique en coupe de la formation d'un revêtement sur les parois de la tranchée dans la région représentée sur la figure 2D ;
- [0043] [fig.2F] est une vue schématique en coupe de la formation d'une première couche de silicium amorphe sur le revêtement de la figure 2E ;
- [0044] [fig.2G] est une vue schématique en coupe du remplissage de la tranchée de la figure 2F avec de l'oxyde de silicium ;
- [0045] [fig.2H] est une vue schématique en coupe du retrait du bouchon d'oxyde de silicium formé dans la partie supérieure de la tranchée ;
- [0046] [fig.2I] est une vue schématique en coupe du remplissage de la cavité libérée par le retrait du bouchon ;
- [0047] [fig.2J] est une vue schématique en coupe d'ensemble du substrat semi-conducteur comprenant la tranchée de la figure 2I.
- [0048] Pour des raisons de lisibilité des figures, les dessins ne sont pas tracés à l'échelle. Par

ailleurs, les dessins ont été simplifiés de sorte à ne faire apparaître que les éléments utiles à la compréhension des figures.

[0049] Dans le présent texte, les termes « vertical », « horizontal », « latéral », « inférieur », « supérieur », « sous », « sur », « au dessus », « en dessous », etc. s'entendent par rapport à l'orientation des éléments considérés sur les figures.

[0050] Les signes de référence identiques d'une figure à une autre désignent un élément identique ou remplissant une même fonction. Ledit élément n'est donc pas nécessairement décrit entièrement à chaque nouvelle occurrence.

### **Description détaillée de modes de réalisation**

[0051] Une tranchée d'isolation capacitive peut être formée selon le procédé décrit en référence aux figures 2A à 2J.

[0052] Comme illustré sur la figure 2A, on a formé sur un substrat semi-conducteur 1 (qui est par exemple un substrat de silicium) un masque 2 par photolithographie. Ledit masque comprend au moins une ouverture 20 délimitant, à la surface du substrat 1, la section d'une tranchée à former dans ledit substrat.

[0053] Comme on le verra mieux sur la figure 2C et les figures suivantes, le substrat semi-conducteur 1 est recouvert successivement d'une couche 11 d'oxyde de silicium, d'une couche 12 de nitrure de silicium (SiN) et d'une couche 13 d'oxyde de silicium. La couche 13 remplit une fonction de masque dur pour la gravure. Ladite couche 13 protège la couche 12 en SiN pour que cette dernière ne soit pas gravée.

[0054] La couche 12 de SiN sert de couche d'arrêt pour l'étape de polissage mécano-chimique utilisée pour retirer le silicium à la surface.

[0055] La couche 11 est une couche d'oxyde thermique destinée à protéger la surface de silicium du substrat 1 lorsque l'on retire la couche 12 de SiN. Ladite couche 11 permet également de passiver la surface du substrat 1.

[0056] En référence à la figure 2B, on a formé une tranchée 10 dans l'épaisseur du substrat 1 depuis la surface exposée par l'ouverture 20 du masque.

[0057] A cet effet, on a mis en œuvre une gravure anisotrope des couches 11, 12, 13 recouvrant la surface du substrat 1 (qui sont mieux visibles sur la figure 2C et les figures suivantes) et du substrat 1 lui-même, jusqu'à une profondeur suffisante pour que la tranchée à former procure une bonne isolation électrique d'au moins deux régions différentes du substrat 1 l'une vis-à-vis de l'autre.

[0058] La tranchée présente typiquement une largeur (définie par la distance entre les parois opposées dans le plan de la figure 2B) comprise entre 150 et 250 nm et une profondeur de 800 nm à 10  $\mu\text{m}$ . La longueur de la tranchée, qui est la dimension dans une direction perpendiculaire au plan de la feuille de la figure 2B, peut varier entre une valeur légèrement supérieure à la largeur (la tranchée étant alors considérée comme ponctuelle) et une valeur de plusieurs dizaines de  $\mu\text{m}$  (pour former une tranchée allongée).

- [0059] Contrairement à la tranchée de la figure 1B (dont les parois 100 sont verticales et dont la largeur est constante), la tranchée de la figure 2B présente une portion inférieure 10b dont les parois 100 sont parallèles et verticales et une portion supérieure 10a dont les parois 101 sont inclinées par rapport aux parois 100 de la portion inférieure de sorte à provoquer un rétrécissement de la tranchée du bas vers le haut de ladite portion supérieure (ou, inversement, un élargissement de la tranchée du haut vers le bas de la portion supérieure). La portion inférieure 10b de la tranchée présente en revanche une largeur constante.
- [0060] En d'autres termes, la tranchée 10 présente, au niveau de la surface supérieure S du substrat 1, un col 102 de largeur plus faible que le reste de la tranchée. L'extension du col dans la direction horizontale par rapport à la paroi de la portion inférieure de la tranchée peut être de l'ordre de 10 nm de chaque côté, ce qui représente un rétrécissement de 20 nm par rapport à la largeur moyenne de la tranchée. En considérant une largeur de la tranchée de comprise entre 150 et 250 nm, le col représente une restriction de 8% à 13% de la largeur de la tranchée. En d'autres termes, le ratio entre la largeur minimale de la tranchée (au niveau du col) et la largeur maximale de la tranchée (au niveau de la portion inférieure) est compris entre 87% et 92%.
- [0061] Ce col peut être obtenu en ajustant les conditions opératoires du creusement de la tranchée pour favoriser la formation du col puis pour protéger le col ainsi formé lors de la poursuite de la gravure de la tranchée.
- [0062] Le creusement de la tranchée est réalisé progressivement dans le sens de la profondeur du substrat. Il comprend une alternance rapide d'étapes de dépôt de polymères destinés à protéger les parois de la tranchée et de gravure du fond de la tranchée.
- [0063] Le dépôt de polymère est réalisé au moyen d'un gaz, par exemple du perfluorocyclobutane ( $C_4F_8$ ) projeté dans la tranchée de sorte à recouvrir les parois de la tranchée.
- [0064] La gravure est réalisée au moyen d'un autre gaz, par exemple de l'hexafluorure de soufre ( $SF_6$ ). Compte tenu de la direction du flux de gaz, la gravure s'effectue essentiellement au fond de la tranchée ; par ailleurs, les parois de la tranchée étant protégées par le polymère déposé, la gravure latérale est minimisée.
- [0065] Les étapes de dépôt et de gravure peuvent être contrôlées principalement par leur durée et par le débit de gaz pour ajuster l'épaisseur de polymère déposé et/ou la quantité de matériau gravé ; la durée et le débit de gaz peut également varier au cours du creusement en fonction de la profondeur atteinte dans le substrat. Chaque étape de dépôt et de gravure dure typiquement quelques centièmes de seconde, par exemple entre 0,1 et 0,3 s. Par ailleurs, le débit du gaz de dépôt peut varier typiquement au cours du creusement de la tranchée, entre 25 et 100  $cm^3/min$ , et le débit du gaz de gravure peut varier entre 10 et 150  $cm^3/min$ .

- [0066] Pour créer le col et graver latéralement le substrat pour former la paroi inclinée dans la portion supérieure de la tranchée, on peut ajuster par exemple la durée et/ou le débit de dépôt de polymère pour déposer une épaisseur relativement grande de polymère au début du creusement de la tranchée, de sorte à favoriser une gravure en pente pour former le col, puis réduire la durée et/ou le débit de dépôt de polymère pour réduire l'épaisseur de polymère déposé, de sorte à favoriser une gravure verticale des parois de la tranchée sous le col. Au fur et à mesure du creusement de la tranchée, la durée des étapes de dépôt et de gravure peut augmenter. L'homme du métier est en mesure de déterminer les paramètres de dépôt et de gravure adéquats, notamment grâce à des simulations.
- [0067] En référence à la figure 2D, on a mis en œuvre un retrait partiel (dit « pull back » selon la terminologie anglo-saxonne) de l'empilement de couches 11, 12, 13 qui recouvre le substrat 1. Ce retrait est destiné à élargir la partie supérieure de la tranchée pour permettre un meilleur remplissage de la tranchée par un matériau électriquement isolant à l'étape suivante. Ledit retrait peut être réalisé notamment par une gravure sélective des couches 12 et 13 dans une direction parallèle à la surface principale du substrat 1, de part et d'autre de la tranchée 10. A l'issue de cette étape de retrait, la couche 13 a été entièrement retirée de la surface du substrat.
- [0068] En référence à la figure 2E, on a mis en œuvre un dépôt d'une couche 14 d'un matériau électriquement isolant, tel que de l'oxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), un diélectrique « high k » (par exemple  $\text{HfO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ou  $\text{ZrO}_2$ ) ou de l'oxynitride de silicium ( $\text{SiON}$ ), dans la tranchée. Ce dépôt est sensiblement conforme, de sorte que la couche 14 recouvre le fond et les parois de la tranchée 10. Le revêtement 14 remplit la fonction de diélectrique dans la capacité formée par la tranchée, ledit revêtement 14 séparant les électrodes de ladite capacité qui sont constituées d'une part par le matériau semi-conducteur du substrat 1 et d'autre part par un matériau semi-conducteur déposé sur le revêtement 14 à l'étape suivante.
- [0069] En référence à la figure 2F, on a mis en œuvre un premier dépôt d'un matériau semi-conducteur, tel que du silicium amorphe ou du silicium polycristallin, dans la tranchée 10. On a formé ainsi une couche 15 de silicium amorphe sur la couche 14, qui recouvre le fond et les parois de la tranchée 10. Le dépôt a été stoppé de sorte à laisser, au niveau du col de la tranchée, une ouverture 150 qui débouche sur un espace libre entre les couches de silicium amorphe s'étendant sur les parois opposées de la tranchée. La largeur de cette ouverture 150 est généralement de l'ordre de 80 à 120 nm.
- [0070] En référence à la figure 2G, on a mis en œuvre un dépôt d'un second matériau électriquement isolant, tel que de l'oxyde de silicium ou du nitrure de silicium, dans la tranchée 10. On a ainsi formé une couche 16 d'oxyde ou de nitrure de silicium sur la couche 15, qui recouvre le fond et les parois de la tranchée 10 et qui obture l'ouverture

150. Comme dans le procédé de l'état de la technique, il subsiste à l'issue de cette étape une cavité 17 s'étendant dans la tranchée sous l'ouverture 150 bouchée par l'oxyde ou le nitrure de silicium.

[0071] Cependant, cette cavité peut ensuite être comblée lors des étapes exposées ci-après.

[0072] En référence à la figure 2H, on a gravé la partie supérieure de la couche 16 de sorte à retirer le bouchon 160 d'oxyde ou de nitrure de silicium formé dans l'ouverture 150. Cette gravure permet de rendre la cavité 17 débouchante vers la surface supérieure du substrat 1 au travers de l'ouverture.

[0073] En référence à la figure 2I, on a mis en œuvre un second dépôt de silicium amorphe ou polycristallin dans la tranchée. Comme on le voit mieux sur la figure 2J, on a ainsi comblé entièrement la cavité 17 jusqu'à la surface supérieure du substrat 1. Le matériau utilisé dans le second dépôt n'est pas nécessairement identique au matériau du premier dépôt. Par exemple, au lieu d'un matériau semi-conducteur tel que le silicium amorphe ou polycristallin, le matériau du second dépôt peut être un matériau électriquement conducteur tel qu'un métal.

[0074] Les dépôts mis en œuvre dans le procédé peuvent être réalisés par dépôt chimique en phase vapeur (CVD, acronyme du terme anglo-saxon « Chemical Vapor Deposition »).

[0075] Comme on le voit sur la figure 2J, la tranchée présente, de l'extérieur vers l'intérieur dans une direction parallèle à la surface du substrat, le revêtement électriquement isolant 14, une première couche du matériau semi-conducteur 15, une couche électriquement isolante 16 et une seconde couche du matériau semi-conducteur 15, qui se trouve au centre de la tranchée.

[0076] On a ainsi formé une tranchée d'isolation capacitive qui, contrairement aux tranchées de l'état de la technique, ne contient pas de cavité. Une telle tranchée n'est donc pas soumise au risque d'accumulation de matériaux indésirables.

[0077] Ce comblement de la cavité est en particulier rendu possible par le col formé dans la partie supérieure de la tranchée. En effet, grâce à ce col, la profondeur du bouchon d'oxyde de silicium s'étendant dans la partie supérieure de la tranchée depuis la surface supérieure de la couche d'oxyde de silicium 16, désignée par le repère P' sur la figure 2G, est sensiblement inférieure à la profondeur du bouchon dans le cas d'une tranchée à parois droites selon l'état de la technique, désignée par le repère P sur la figure 1G. Il est ainsi possible, lors de la gravure du bouchon, de retirer entièrement ledit bouchon et rendre la cavité 17 débouchante vers le haut, ce qui permet ensuite de combler ladite cavité lors du second dépôt de silicium amorphe.

[0078] La tranchée capacitive d'isolation peut avantageusement être utilisée dans un capteur d'image illuminé par l'arrière, afin d'isoler électriquement deux pixels adjacents et de procurer une passivation active.

[0079] Cependant, toute autre application peut être envisagée. Ainsi, par exemple, la

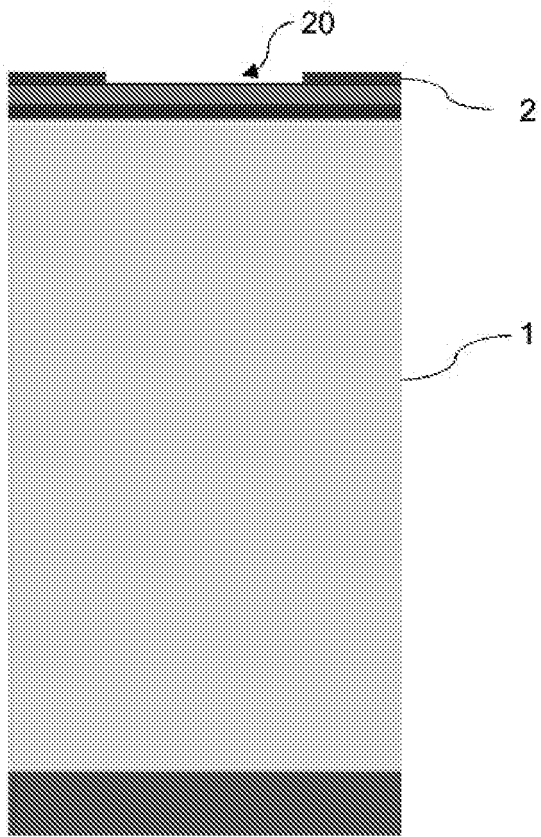
tranchée d'isolation capacitive peut être utilisée avantageusement en électronique de puissance. Dans ce type d'application, les dimensions des tranchées sont plus grandes. En particulier, les tranchées sont plus larges (de l'ordre de quelques micromètres, par exemple de l'ordre de 2  $\mu\text{m}$ ) et plus profondes (de l'ordre de quelques dizaines de micromètres, par exemple de l'ordre de 27  $\mu\text{m}$ ). Le courant électrique supporté par cette architecture peut être de plusieurs centaines de Volts (contre quelques Volts pour les capteurs d'image). Selon le même principe que décrit plus haut, on forme la tranchée avec un col dans sa portion supérieure, avec un même ordre de grandeur du ratio entre la largeur minimale de la tranchée (au niveau du col) et la largeur maximale de la tranchée de l'ordre de 90%. Les étapes de formation de la tranchée sont similaires à celles décrites plus haut, avec des adaptations en termes de nombres de cycles de dépôt de polymères / gravure et d'épaisseur des matériaux déposés liées aux dimensions de la tranchée. Ainsi, par exemple, le revêtement électriquement isolant 14 est beaucoup plus épais que dans l'application précédente (entre 500 et 1000 nm). L'homme du métier est à même d'ajuster les conditions opératoires du procédé en fonction de ces dimensions.

## Revendications

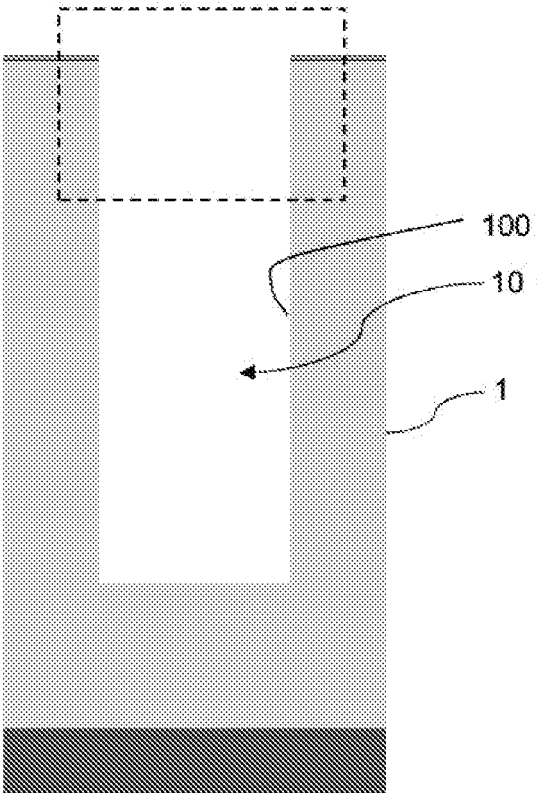
- [Revendication 1] Procédé de formation d'une tranchée d'isolation capacitive dans un substrat semi-conducteur, comprenant les étapes successives suivantes :
- le creusement d'une tranchée (10) à partir d'une surface principale du substrat (1), ladite tranchée comprenant une portion supérieure (10a) s'élargissant progressivement à partir d'un col (102) en direction d'une portion inférieure (10b) de la tranchée ;
  - la formation d'un revêtement en un premier matériau électriquement isolant (14) sur les parois de la tranchée ;
  - le dépôt d'un premier matériau semi-conducteur (15) sur ledit revêtement, ledit dépôt étant interrompu de sorte à ménager un espace libre entre les parois (100, 101) de la tranchée, ledit espace libre présentant une ouverture (150) au niveau du col (102) ;
  - le dépôt d'un second matériau électriquement isolant (16) dans la tranchée, ledit dépôt résultant en la formation d'un bouchon (160) obturant ladite ouverture (150) pour former une cavité (17) fermée ;
  - la gravure du bouchon (16) de sorte à ouvrir la cavité (17) ;
  - le dépôt d'un second matériau semi-conducteur ou d'un métal de sorte à remplir la cavité (17).
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la portion inférieure (10b) de la tranchée comprend des parois (100) parallèles perpendiculaires à une surface principale (S) du substrat et la portion supérieure (10a) de la tranchée comprend des parois (101) inclinées par rapport aux parois (100) de la portion inférieure, la largeur de la portion supérieure (10a) de la tranchée se réduisant depuis la portion inférieure (10b) de la tranchée vers la surface principale (S) du substrat.
- [Revendication 3] Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel la largeur de la tranchée au niveau du col (102) est comprise entre 87 et 92% de la largeur de la portion inférieure (10b) de la tranchée.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le creusement de la tranchée (10) comprend une alternance de cycles de dépôt d'un polymère protecteur sur les parois de la tranchée au moyen d'un premier gaz et de gravure du fond de la tranchée au moyen d'un second gaz, et dans lequel on ajuste au moins un des paramètres suivants : débit du premier gaz, durée de dépôt, débit du second gaz, durée de gravure, pour creuser la portion supérieure de la tranchée avec une inclinaison pour former le col, et on modifie au moins un desdits paramètres pour creuser

- la portion inférieure de la tranchée.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'un au moins du premier matériau électriquement isolant (14) et du second matériau électriquement isolant (16) comprend de l'oxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), un diélectrique high k, de l'oxynitride de silicium ( $\text{SiON}$ ) ou du nitrure de silicium ( $\text{SiN}$ ).
- [Revendication 6] Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel le premier matériau semi-conducteur (15) comprend du silicium amorphe ou du silicium polycristallin.
- [Revendication 7] Substrat semi-conducteur comprenant une tranchée capacitive d'isolation, ladite tranchée comprenant successivement, de l'extérieur vers l'intérieur dans une direction parallèle à une surface principale (S) du substrat :
- un revêtement électriquement isolant (14),
  - une première couche d'un matériau semi-conducteur (15),
  - une couche électriquement isolante (16), et
  - une seconde couche du matériau semi-conducteur (15),
- ladite tranchée comprenant une portion supérieure (10a) s'élargissant progressivement à partir d'un col (102) en direction d'une portion inférieure (10b) de la tranchée.
- [Revendication 8] Substrat selon la revendication 7, dans lequel la portion inférieure (10b) de la tranchée comprend des parois (100) parallèles perpendiculaires à la surface principale (S) du substrat et la portion supérieure (10a) de la tranchée comprend des parois (101) inclinées par rapport aux parois (100) de la portion inférieure, la largeur de la portion supérieure (10a) de la tranchée se réduisant depuis la portion inférieure (10b) de la tranchée vers la surface principale (S) du substrat.
- [Revendication 9] Substrat selon l'une des revendications 7 ou 8, dans lequel la largeur de la tranchée au niveau du col (102) est comprise entre 87 et 92% de la largeur de la portion inférieure (10b) de la tranchée.
- [Revendication 10] Capteur d'image comprenant un substrat selon l'une des revendications 7 à 9, dans lequel au moins deux pixels dudit capteur d'image sont agencés dans ledit substrat et séparés par ladite tranchée capacitive d'isolation.

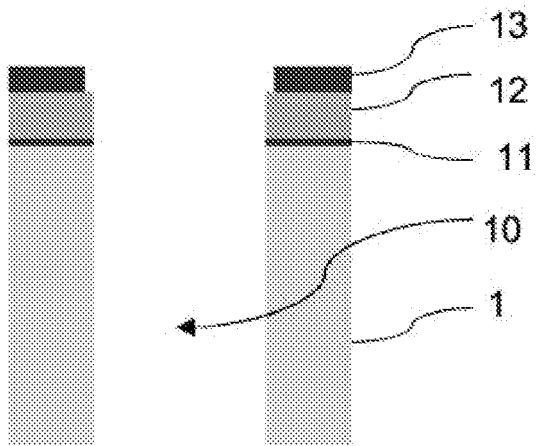
[Fig. 1A]



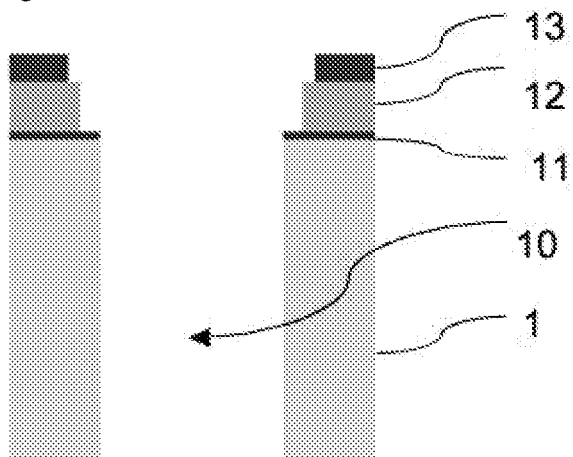
[Fig. 1B]



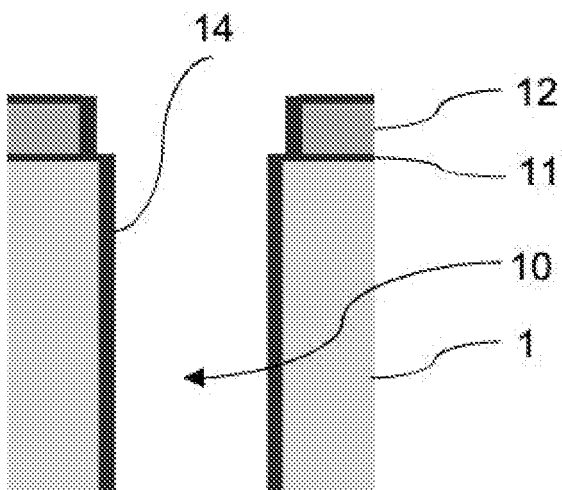
[Fig. 1C]



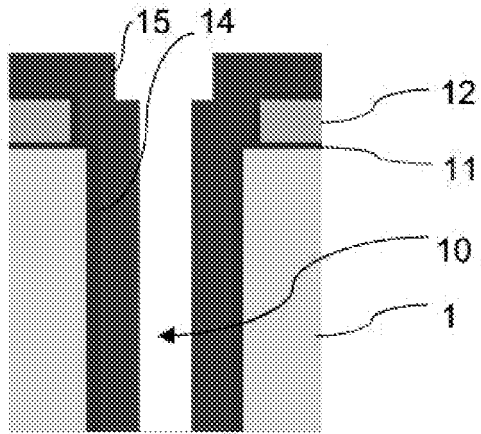
[Fig. 1D]



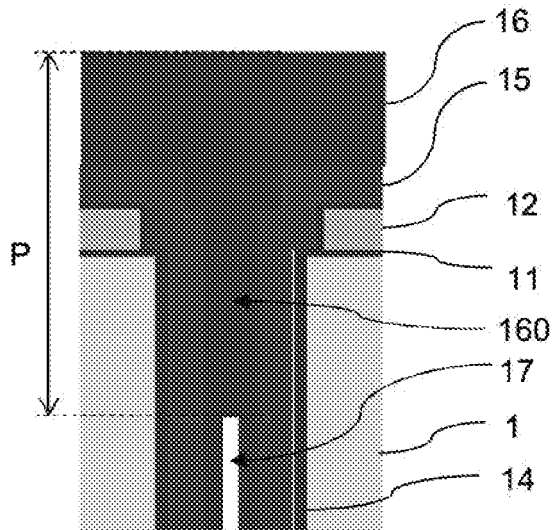
[Fig. 1E]



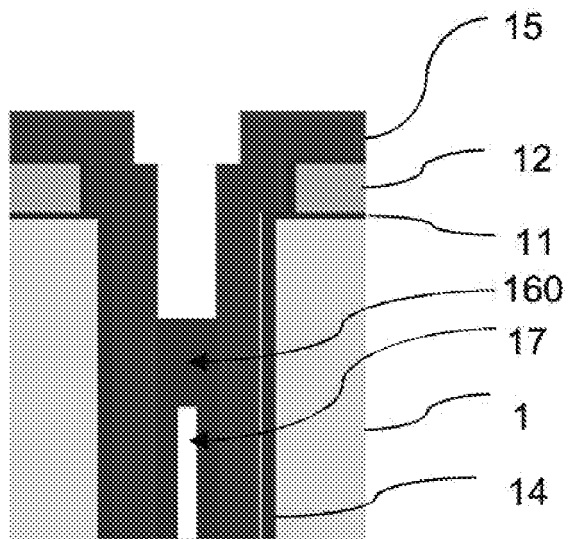
[Fig. 1F]



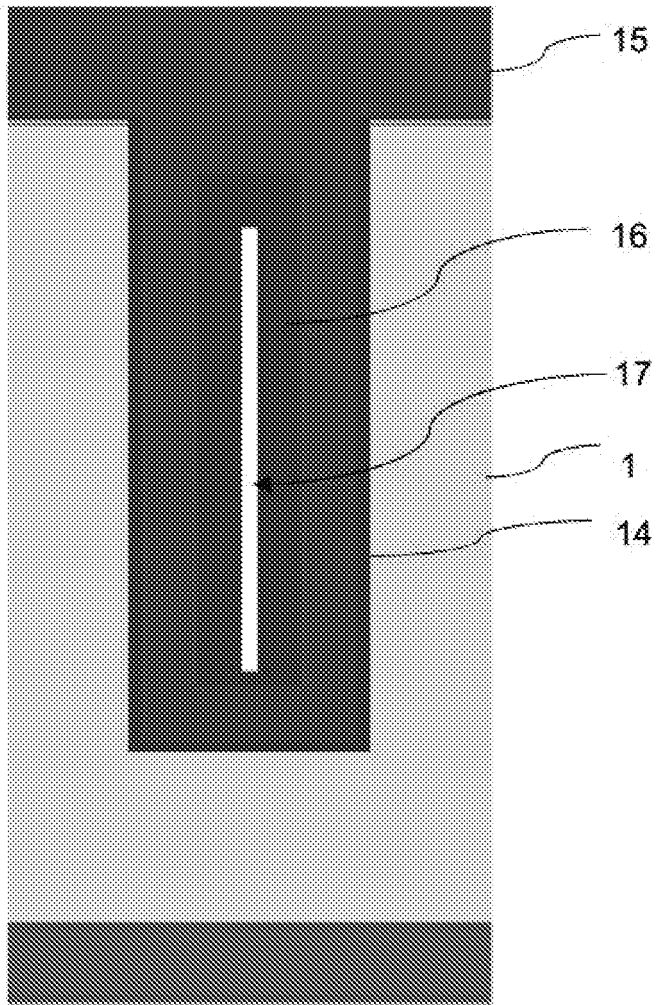
[Fig. 1G]



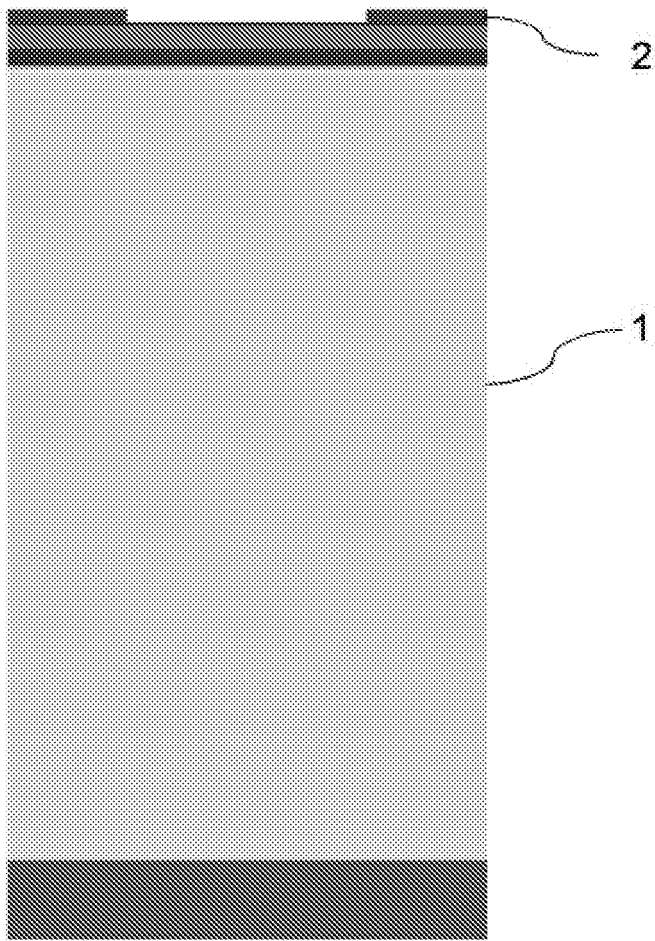
[Fig. 1H]



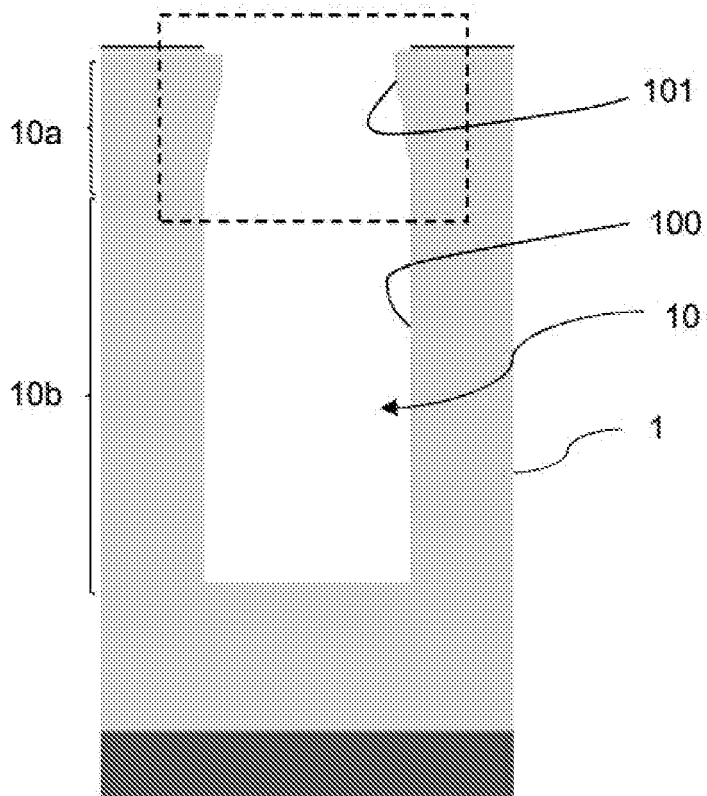
[Fig. 11]



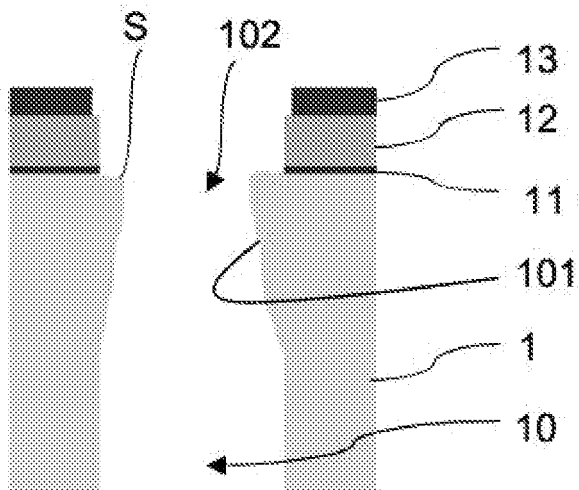
[Fig. 2A]



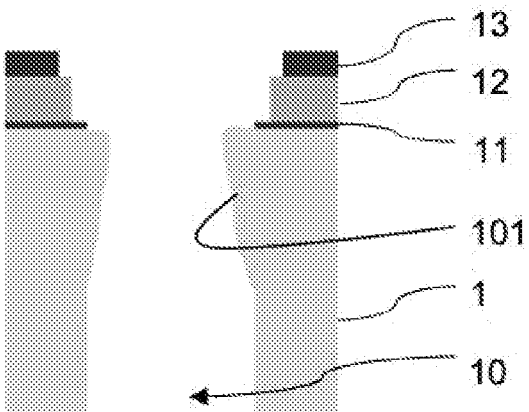
[Fig. 2B]



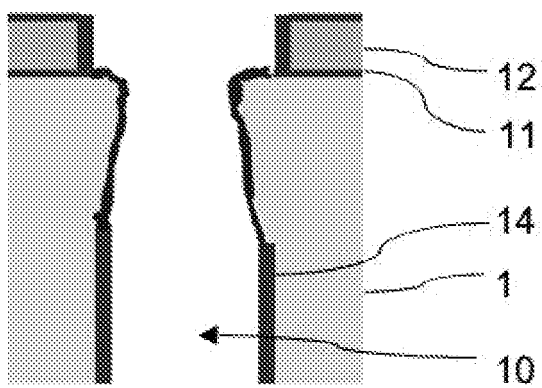
[Fig. 2C]



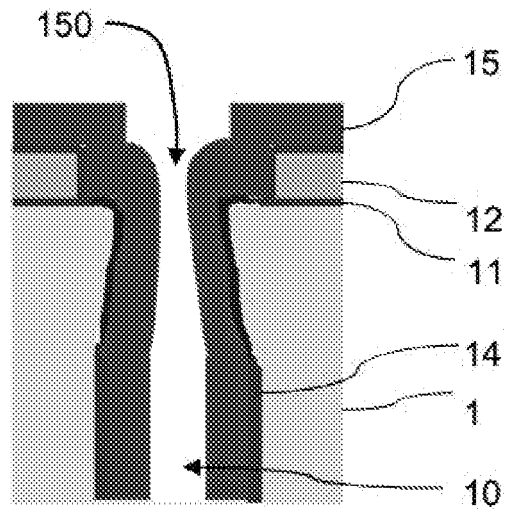
[Fig. 2D]



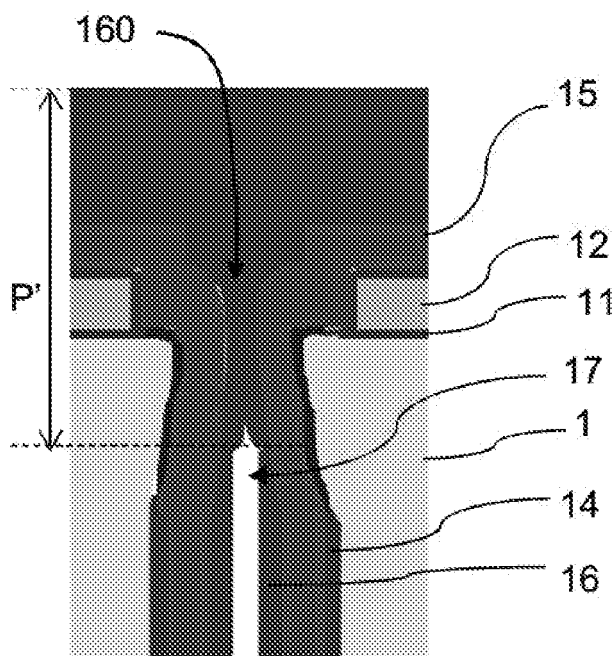
[Fig. 2E]



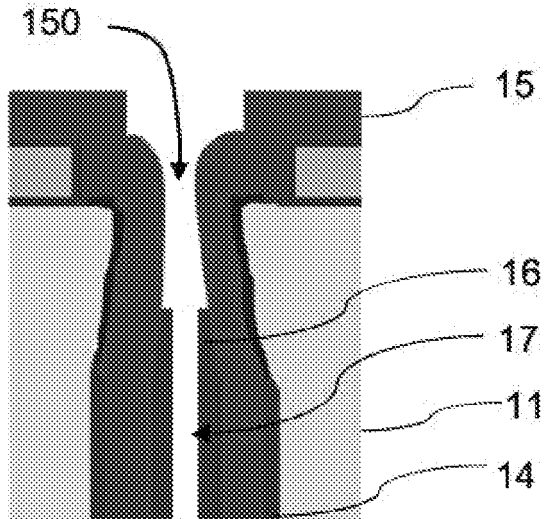
[Fig. 2F]



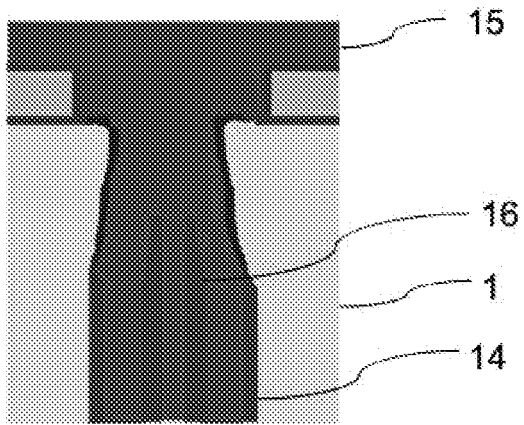
[Fig. 2G]



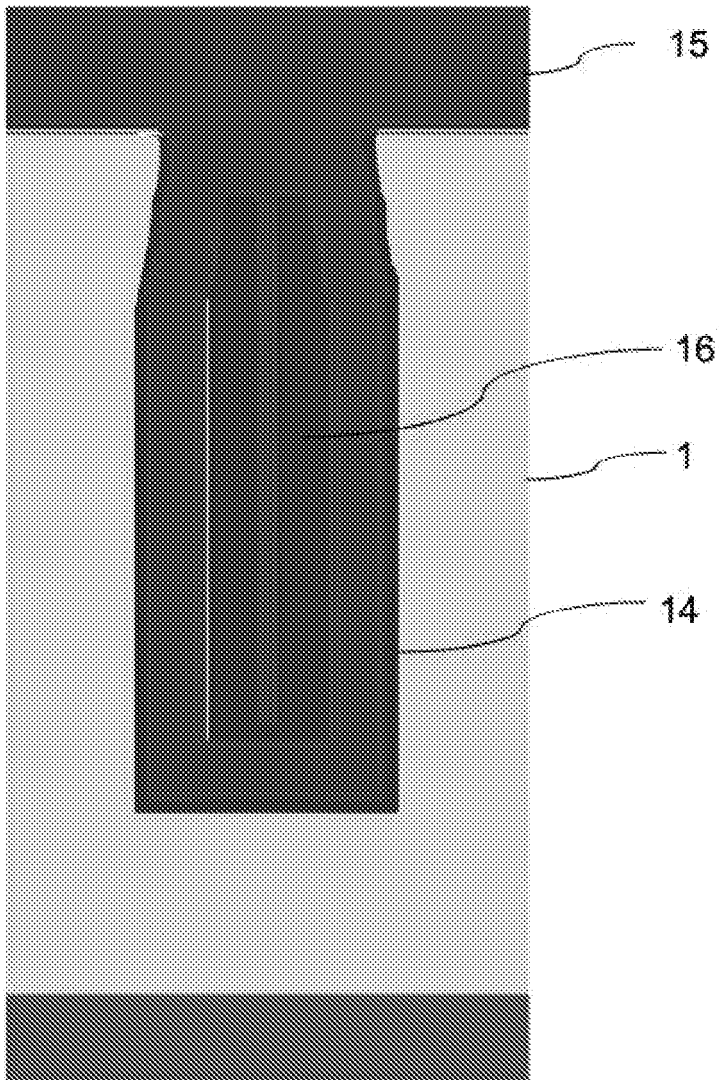
[Fig. 2H]



[Fig. 2I]



[Fig. 2J]



**RAPPORT DE RECHERCHE  
 PRÉLIMINAIRE**

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

 N° d'enregistrement  
 national

 FA 883531  
 FR 2007905

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2016/086985 A1 (CHUNG YOUNG WOO [KR] ET AL) 24 mars 2016 (2016-03-24)	7-10	H01L21/70 H01L21/302
A	* alinéas [0019] - [0038] * * figures 1-7 *	1-6	
A	FR 2 826 179 A1 (ST MICROELECTRONICS SA [FR]) 20 décembre 2002 (2002-12-20) * page 9, ligne 1 - page 10, ligne 25 * * figures 1A-C *	1-10	
X	US 2015/243694 A1 (IHARA HISANORI [KR]) 27 août 2015 (2015-08-27)	7-10	
A	* alinéas [0056] - [0060] * * figures 5-8 *	1-6	
A	US 2020/006410 A1 (WU MING-CHI [TW] ET AL) 2 janvier 2020 (2020-01-02) * alinéas [0031] - [0038] * * figures 4-10 *	1-10	
A	US 2016/099278 A1 (GUYADER FRANCOIS [FR] ET AL) 7 avril 2016 (2016-04-07) * alinéas [0046] - [0082] * * figures 1-3 *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  H01L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
12 avril 2021		Adams, Richard	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		.....	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2007905 FA 883531**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **12-04-2021**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2016086985	A1	24-03-2016	KR 20160034712 A	30-03-2016
			US 2016086985 A1	24-03-2016
			US 2017179170 A1	22-06-2017
-----				
FR 2826179	A1	20-12-2002	EP 1396016 A2	10-03-2004
			FR 2826179 A1	20-12-2002
			JP 4763234 B2	31-08-2011
			JP 2004531070 A	07-10-2004
			US 2004147093 A1	29-07-2004
			WO 02103772 A2	27-12-2002
-----				
US 2015243694	A1	27-08-2015	CN 104882460 A	02-09-2015
			JP 6441711 B2	19-12-2018
			JP 2015162679 A	07-09-2015
			KR 20150101681 A	04-09-2015
			TW 201543659 A	16-11-2015
			US 2015243694 A1	27-08-2015
-----				
US 2020006410	A1	02-01-2020	CN 110660817 A	07-01-2020
			DE 102018122789 A1	02-01-2020
			KR 20200002571 A	08-01-2020
			TW 202002261 A	01-01-2020
			US 2020006410 A1	02-01-2020
-----				
US 2016099278	A1	07-04-2016	CN 105489621 A	13-04-2016
			CN 205140983 U	06-04-2016
			FR 3026891 A1	08-04-2016
			US 2016099278 A1	07-04-2016
-----				