

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 114 190

21 N° d'enregistrement national : 20 10469

51 Int Cl⁸ : H 01 L 31/107 (2020.12), H 01 L 27/146

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 13.10.20.

30 Priorité : 11.09.20 GR 20200100550.

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 18.03.22 Bulletin 22/11.

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 (RESEARCH & DEVELOPMENT) LIMITED Société de droit britannique — GB et STMICROELECTRONICS (CROLLES 2) SAS Société par actions simplifiée — FR.

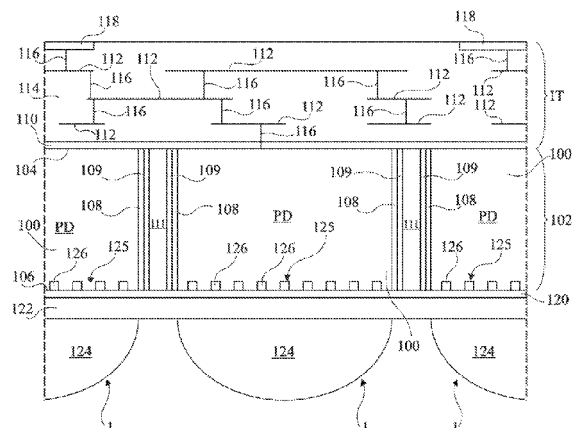
72 Inventeur(s) : BIANCHI Raul Andres, BARLAS Marios, LOPEZ Alexandre, MAMDY Bastien, RAE Bruce et NICHOLSON Isobel.

73 Titulaire(s) : STMICROELECTRONICS (RESEARCH & DEVELOPMENT) LIMITED Société de droit britannique, STMICROELECTRONICS (CROLLES 2) SAS Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : CABINET BEAUMONT.

54 Pixel à efficacité quantique améliorée.

57 Pixel à efficacité quantique améliorée
La présente description concerne un pixel (1) comprenant: une photodiode (PD) comprenant une partie (100) d'un substrat (102) en un matériau semi-conducteur, s'étendant verticalement à partir d'une première face (104) du substrat (102) jusqu'à une deuxième face (106) du substrat (102) configurée pour recevoir de la lumière; une couche (108) en un premier matériau recouvrant chacune des surfaces latérales de ladite partie (100); une couche (110) en un deuxième matériau recouvrant ladite partie (100) du côté de la première face (104), les premier et deuxième matériaux ayant des indices de réfraction inférieurs à celui du matériau semiconducteur; et une structure de diffraction (125) disposée sur une face de la photodiode (PD) du côté de la deuxième face (106).
Figure pour l'abrégié: Fig. 1



FR 3 114 190 - A1



Description

Titre de l'invention : *Pixel à efficacité quantique améliorée*

Domaine technique

[0001] La présente description concerne de façon générale les circuits électroniques intégrés, et plus particulièrement un pixel d'un capteur d'image intégré.

Technique antérieure

[0002] Un pixel comprend une région photosensible, ou région de photo-conversion, configurée pour convertir de la lumière en charges électriques. La région photosensible de pixels connus, typiquement une photodiode, est en un matériau semi-conducteur.

[0003] Pour un matériau semi-conducteur donné, par exemple du silicium, et pour des longueurs d'onde de fonctionnement données, par exemple les longueurs d'onde se trouvant dans le proche infrarouge, l'efficacité quantique de pixels connus peut être faible, l'efficacité quantique d'un pixel étant égale au rapport entre le nombre de charges électriques collectées par le pixel et le nombre de photons incidents sur le pixel.

Résumé de l'invention

[0004] Il existe un besoin d'améliorer l'efficacité quantique d'un pixel, par exemple d'un pixel ayant une photodiode en silicium et étant configuré pour fonctionner avec des longueurs d'onde dans le proche infrarouge.

[0005] Par exemple, il est souhaitable d'améliorer l'efficacité quantique d'un pixel comportant une photodiode en silicium configurée pour fonctionner comme une diode à avalanche à photon unique pour des longueurs d'onde dans le proche infrarouge.

[0006] Un mode de réalisation répond à la totalité ou à certains des inconvénients de pixels connus, par exemple de pixels connus comportant une photodiode en silicium et étant configuré pour fonctionner avec des longueurs d'onde dans le proche infrarouge.

[0007] Un mode de réalisation prévoit un pixel comprenant :

- une photodiode comprenant une partie d'un substrat en un matériau semi-conducteur, s'étendant verticalement à partir d'une première face du substrat jusqu'à une deuxième face du substrat située à l'opposé de la première face et configurée pour recevoir de la lumière à une longueur d'onde de fonctionnement du pixel ;
- une couche en un premier matériau ayant un indice de réfraction inférieur à un indice de réfraction du matériau semi-conducteur et recouvrant chacune des surfaces latérales de ladite partie ;
- une couche en un deuxième matériau ayant un indice de réfraction inférieur à l'indice de réfraction du matériau semi-conducteur et recouvrant ladite partie du côté de la première face ; et

une structure de diffraction disposée sur une face de la photodiode du côté de la deuxième face du substrat.

- [0008] Selon un mode de réalisation, chacun des premier et deuxième matériaux est configuré de telle sorte que de la lumière à une longueur d'onde de fonctionnement du pixel atteignant une interface entre la photodiode et le matériau avec un angle d'incidence supérieur à 30° est complètement réfléchi.
- [0009] Selon un mode de réalisation, le matériau semi-conducteur est du silicium, le premier matériau étant de l'oxyde de silicium et/ou le deuxième matériau étant de l'oxyde de silicium.
- [0010] Selon un mode de réalisation :
- la couche du premier matériau a une première surface en contact avec ladite partie et une deuxième surface située à l'opposé de la première surface recouverte d'une couche métallique ; et/ou
 - la couche du deuxième matériau a une première surface en contact avec ladite partie et une deuxième surface située à l'opposé de la première surface recouverte d'une couche métallique.
- [0011] Selon un mode de réalisation, la structure de diffraction est configurée pour diffracter de la lumière à une longueur d'onde de fonctionnement du pixel, qui atteint la photodiode du côté de la deuxième face du substrat, principalement dans deux directions orthogonales entre elles lorsqu'elles sont projetées sur un plan parallèle à la deuxième face.
- [0012] Selon un mode de réalisation, la structure de diffraction comprend des tranchées pénétrant dans ladite partie à partir de la deuxième face du substrat, les tranchées étant remplies d'un ou plusieurs troisièmes matériaux diélectriques ayant un indice de réfraction différent de celui du matériau semi-conducteur.
- [0013] Selon un mode de réalisation, les tranchées de la structure de diffraction qui sont parallèles entre elles sont agencées avec un pas égal au double d'une longueur d'onde de fonctionnement à l'intérieur du pixel, à plus ou moins 20 %.
- [0014] Selon un mode de réalisation, dans un plan parallèle à la deuxième face, la photodiode a une forme carrée ou rectangulaire.
- [0015] Selon un mode de réalisation, dans un plan parallèle à la deuxième face, les tranchées comprennent des premières tranchées s'étendant longitudinalement dans une première direction orthogonale à des premier et deuxième bords opposés de la photodiode, et des deuxièmes tranchées s'étendant longitudinalement dans une deuxième direction orthogonale à des troisième et quatrième bords opposés de la photodiode.
- [0016] Selon un mode de réalisation, les premières tranchées ne contactent pas les deuxièmes tranchées.
- [0017] Selon un mode de réalisation, dans un plan parallèle à la deuxième face :

une partie des premières tranchées forme un premier réseau de diffraction s'étendant à partir du premier bord en direction du centre de la photodiode ;

une autre partie des premières tranchées forme un deuxième réseau de diffraction s'étendant à partir du deuxième bord de la photodiode en direction du centre de la photodiode ;

une partie des deuxièmes tranchées forme un troisième réseau de diffraction s'étendant à partir du troisième bord de la photodiode en direction du centre de la photodiode ; et

une autre partie des deuxièmes tranchées forme un quatrième réseau de diffraction s'étendant à partir du quatrième bord de la photodiode en direction du centre de la photodiode.

[0018] Selon un mode de réalisation, dans un plan parallèle à la deuxième face :

une partie des deuxièmes tranchées forme un premier réseau de diffraction s'étendant à partir du premier bord en direction du centre de la photodiode ;

une autre partie des deuxièmes tranchées forme un deuxième réseau de diffraction s'étendant à partir du deuxième bord de la photodiode en direction du centre de la photodiode ;

une partie des premières tranchées forme un troisième réseau de diffraction s'étendant à partir du troisième bord de la photodiode en direction du centre de la photodiode ; et

une autre partie des premières tranchées forme un quatrième réseau de diffraction s'étendant à partir du quatrième bord de la photodiode en direction du centre de la photodiode.

[0019] Selon un mode de réalisation, les premier, deuxième, troisième et quatrième réseaux ne se croisent pas.

[0020] Selon un mode de réalisation, au moins l'un des premier, deuxième, troisième et quatrième réseaux comprend au moins un défaut de périodicité parmi : une tranchée omise, une modification de la largeur d'une tranchée par rapport aux autres tranchées du réseau, une modification locale du pas avec lequel les tranchées du réseau sont agencées.

[0021] Selon un mode de réalisation, la photodiode est configurée pour être utilisée comme une photodiode à avalanche à photon unique, une longueur de fonctionnement du pixel appartenant de préférence à une plage comprise entre 700 nm et 2000 nm et étant, par exemple, égale à 940 nm.

Brève description des dessins

[0022] Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

- [0023] [fig.1] la figure 1 est une vue schématique et en coupe d'un mode de réalisation d'un pixel ;
- [0024] [fig.2] la figure 2 est une vue schématique et de dessus d'une structure de diffraction du pixel de la figure 1 selon un mode de réalisation ;
- [0025] [fig.3] la figure 3 est une vue schématique et de dessus de la structure de diffraction de la figure 2 selon une variante de réalisation ;
- [0026] [fig.4] la figure 4 est une vue schématique et de dessus de la structure de diffraction du pixel de la figure 1 selon un autre mode de réalisation ;
- [0027] [fig.5] la figure 5 est une vue schématique et de dessus de la structure de diffraction de la figure 4 selon une variante de réalisation ; et
- [0028] [fig.6] la figure 6 est une vue schématique et de dessus de la structure de diffraction de la figure 2 selon une autre variante de réalisation.

Description des modes de réalisation

- [0029] De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références dans les différentes figures. En particulier, les éléments structurels et/ou fonctionnels communs aux différents modes de réalisation peuvent présenter les mêmes références et peuvent disposer de propriétés structurelles, dimensionnelles et matérielles identiques.
- [0030] Par souci de clarté, seuls les étapes et éléments utiles à la compréhension des modes de réalisation décrits ont été représentés et sont détaillés. En particulier, la mise en œuvre du pixel décrit dans un capteur d'image comprenant une matrice de pixels identiques n'a pas été décrite, la mise en œuvre d'un tel capteur d'image étant dans les capacités de la personne du métier.
- [0031] Sauf précision contraire, lorsque l'on fait référence à deux éléments connectés entre eux, cela signifie directement connectés sans éléments intermédiaires autres que des conducteurs, et lorsque l'on fait référence à deux éléments couplés entre eux, cela signifie que ces deux éléments peuvent être connectés ou être reliés par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres éléments.
- [0032] Dans la description qui suit, lorsque l'on fait référence à des qualificatifs de position absolue, tels que les termes "avant", "arrière", "haut", "bas", "gauche", "droite", etc., ou relative, tels que les termes "dessus", "dessous", "supérieur", "inférieur", etc., ou à des qualificatifs d'orientation, tels que les termes "horizontal", "vertical", etc., il est fait référence sauf précision contraire à l'orientation des figures.
- [0033] Sauf précision contraire, les expressions "environ", "approximativement", "sensiblement", et "de l'ordre de" signifient à 10 % près, de préférence à 5 % près.
- [0034] Dans la description qui suit, un pixel configuré pour fonctionner avec une ou plusieurs longueurs d'onde dans le proche infrarouge, c'est-à-dire dans la plage allant de 750 nm à 1400 nm, par exemple un pixel configuré pour fonctionner avec une

longueur d'onde égale à sensiblement 940 nm, est pris comme exemple. La photodiode du pixel est en outre considérée comme étant en silicium, qui a une mauvaise absorption de lumière pour ces longueurs d'onde. Il est en outre considéré, à titre d'exemple, que le pixel est configuré de telle sorte que sa photodiode fonctionne dans un mode d'avalanche à photon unique, autrement dit, que le pixel comprenne une diode à avalanche à photon unique ou SPAD ("single photon avalanche diode").

- [0035] Les inventeurs proposent ici d'augmenter l'efficacité quantique d'une photodiode d'un pixel en prévoyant une structure pour disperser, en dehors de l'angle d'incidence normal, la lumière qui atteint la photodiode, et en prévoyant, à la frontière du volume de la photodiode, des surfaces configurées pour réfléchir au moins une partie de la lumière dispersée. Il en résulte que la longueur du trajet de lumière dans la photodiode est augmentée, ce qui conduit à une augmentation de l'efficacité quantique.
- [0036] La figure 1 est une vue schématique et en coupe d'un mode de réalisation d'un tel pixel 1. Dans l'exemple de la figure 1, le pixel 1 (au milieu de la figure 1) fait partie d'une matrice de pixels 1 d'un capteur d'image, et deux pixels 1 adjacents (sur la gauche et sur la droite de la figure 1) sont aussi représentés.
- [0037] Chaque pixel 1 comprend une photodiode PD. La photodiode PD comprend une partie 100 d'un substrat 102 en un matériau semi-conducteur, par exemple du silicium. Dit d'une autre façon, la photodiode PD occupe un volume correspondant à celui de la partie 100. La partie 100 s'étend verticalement à partir d'une face 104 du substrat 102 jusqu'à une face 106 du substrat 102, la face 106 étant située à l'opposé de la face 104. La face 106 est configurée pour recevoir de la lumière à une longueur d'onde de fonctionnement du pixel 1. En d'autres termes, le pixel 1 est configuré de telle sorte que sa photodiode PD reçoit de la lumière à partir du côté de la face 106 du substrat 102. Dit encore autrement, le pixel 1 est configuré de telle sorte qu'il reçoit de la lumière à partir du côté de la face 106 du substrat 102.
- [0038] À titre d'exemple, lorsque le pixel 1 a une ou plusieurs longueurs d'onde de fonctionnement dans le proche infrarouge, par exemple lorsque le pixel 1 a une longueur d'onde de fonctionnement sensiblement égale à 940 nm, et lorsque le substrat 102 est en silicium, la hauteur du substrat 102, mesurée entre les faces 104 et 106, est comprise dans la plage allant de 2 μm à 10 μm , typiquement sensiblement égale à 4,5 μm .
- [0039] À titre d'exemple, dans un plan parallèle à la face 106 du substrat 102, la photodiode PD a une forme carrée ou rectangulaire. À titre d'exemple, lorsque le pixel 1 a une ou plusieurs longueurs d'onde de fonctionnement dans le proche infrarouge, par exemple lorsque le pixel 1 a une longueur d'onde de fonctionnement sensiblement égale à 940 nm, et lorsque le substrat 102 est en silicium, dans un plan parallèle à la face 106 du substrat 102, la photodiode PD a la forme d'un carré ayant des côtés dont la longueur est comprise dans la plage allant de 2 μm à 20 μm , par exemple dans la plage allant de

5 μm à 10 μm .

- [0040] Dans chaque pixel 1, une couche 108 d'un matériau ayant un indice de réfraction inférieur à celui du matériau semi-conducteur du substrat 102 recouvre les surfaces latérales de la partie 100 du substrat 102. Plus précisément, la couche 108 recouvre entièrement les surfaces latérales de la partie 100 du substrat 102. Les surfaces latérales de la partie 100 sont, par exemple, celles qui sont sensiblement orthogonales aux faces 104 et 106 du substrat 102. De préférence, le matériau de la couche 108 est un matériau diélectrique.
- [0041] Comme l'indice de réfraction du matériau de la couche 108 est inférieur à celui du matériau semi-conducteur du substrat 102, au moins une partie de la lumière qui se propage dans la photodiode PD et atteint l'interface entre la partie 100 et la couche 108 est réfléchiée totalement. Par exemple, lorsque le substrat 102 est en silicium et la couche 108 est en oxyde de silicium, de la lumière ayant des longueurs d'onde dans le proche infrarouge, par exemple une longueur d'onde sensiblement égale à 940 nm, est réfléchiée totalement lorsque son angle d'incidence sur l'interface est supérieur à 30° , l'angle d'incidence de la lumière étant, par exemple, l'angle entre la normale à l'interface et la direction de la lumière incidente sur l'interface.
- [0042] Selon un mode de réalisation, comme cela est illustré en figure 1, une surface de la couche 108 qui est située à l'opposé d'une surface de la couche 108 en contact avec la partie 100 est recouverte, par exemple entièrement recouverte, d'une couche métallique 109. Il en résulte que toute la lumière qui se propage dans la photodiode PD et atteint l'interface entre les couches 108 et 109 est réfléchiée par la couche métallique 109.
- [0043] À titre d'exemple, la couche 108 et, éventuellement, la couche 109 sont formées en gravant une tranchée verticale dans le substrat 102, aux frontières de la partie 100, en déposant la couche 108 sur la paroi de la tranchée, et, éventuellement en déposant la couche 109 sur la couche 108. Comme on peut le voir en figure 1, un matériau conducteur 111, par exemple du silicium ou du silicium polycristallin dopé peut être ensuite déposé pour remplir la tranchée. L'utilisation d'un matériau conducteur 111 isolé du substrat 102 par la couche 108 permet d'appliquer une tension de polarisation sur le matériau 111, et ainsi de mettre en œuvre une isolation par tranchée profonde capacitive (CDTI – "capacitive deep trench insulation").
- [0044] Dans chaque pixel 1, une couche 110 de matériau ayant un indice de réfraction inférieur à l'indice de réfraction du matériau semi-conducteur du substrat 102 recouvre la partie 100 du côté de la face 104 du substrat 102. Plus précisément, la couche 110 recouvre entièrement la partie 100 du côté de la face 104 du substrat 102. Par exemple, la couche 110 recouvre la face 104 complète du substrat 102. De préférence, le matériau de la couche 110 est un matériau diélectrique. De préférence, les couches 108

et 110 sont faites du même matériau.

- [0045] Similairement à la couche 108, la couche 110 permet de réfléchir au moins une partie de la lumière se propageant dans la photodiode PD lorsque la lumière atteint l'interface entre la partie 100 et la couche 110.
- [0046] Selon un mode de réalisation, non illustré, une surface de la couche 110 qui est située à l'opposé d'une surface de la couche 110 en contact avec le substrat 102 est recouverte d'une couche métallique.
- [0047] Dans l'exemple de la figure 1, une structure d'interconnexion IT repose sur la face 104 du substrat 102, ou, en d'autres termes, repose sur le substrat 102 du côté de la face 104. La couche 110 est, par exemple, une couche de cette structure d'interconnexion IT. La structure d'interconnexion IT comprend des portions de couches conductrices, par exemple métalliques, 112. Les portions de couches 112 sont isolées électriquement les unes des autres par des couches isolantes de la structure IT, représentée ici par une seule couche 114 comprenant la couche 110. Des vias conducteurs électriques 116 de la structure IT passent verticalement à travers la couche isolante 114. Les vias 116 connectent électriquement des portions de couches 112 entre elles et/ou à des composants intégrés réalisés dans et/ou sur le substrat 102 du côté de la face 104 et/ou à des plots de connexion 118 disposés du côté d'une face de la structure d'interconnexion qui est située à l'opposé de la face 104.
- [0048] Dans chaque pixel 1, une couche 120 de matériau ayant un indice de réfraction inférieur à l'indice de réfraction du matériau semi-conducteur du substrat 102 peut recouvrir la partie 100 du côté de la face 106 du substrat 102. Par exemple, la couche 120 recouvre entièrement la partie 100 du côté de la face 106, et, par exemple, recouvre la face 106 entière du substrat 102. De préférence, le matériau de la couche 120 est un matériau diélectrique. De préférence, les couches 108 et 120 sont faites du même matériau.
- [0049] Similairement à la couche 108, la couche 120 permet de réfléchir au moins une partie de la lumière se propageant dans la photodiode PD lorsque la lumière atteint l'interface entre la partie 100 et la couche 120.
- [0050] Dans l'exemple de la figure 1, une ou plusieurs couches 122 reposent sur la face 106 du substrat 102, par exemple sur une face de la couche 120 qui est située à l'opposé d'une face de la couche 120 en contact avec le substrat 102. Les couches 122 correspondent, par exemple, à une structure anti-réflexion et/ou à des filtres pour filtrer certaines longueurs d'onde de la lumière atteignant le pixel 1.
- [0051] De préférence, comme cela est représenté en figure 1, chaque pixel 1 comprend une microlentille 124 configurée pour focaliser la lumière reçue par le pixel 1 vers la photodiode PD du pixel 1. La microlentille 124 repose sur la face 106 du substrat 102, et est disposée en face de, ou est opposée à, la face de la partie 100 du côté de la face

106 du substrat 102. Dans l'exemple de la figure 1, la microlentille 124 repose sur et en contact avec la couche 122.

- [0052] La couche 108, l'éventuelle couche 109, l'éventuelle couche 110, l'éventuelle couche métallique qui recouvre la couche 110, et l'éventuelle couche 120 permettent de confiner la lumière à l'intérieur de la photodiode PD du pixel 1 ou, en d'autres termes, à l'intérieur de la partie 100 du substrat 102.
- [0053] Chaque pixel 1 comprend en outre une structure de diffraction 125. La structure de diffraction 125 est disposée sur la face de la photodiode PD du côté de la face 106 du substrat 102.
- [0054] Selon un mode de réalisation, la structure de diffraction 125 d'un pixel 1 donné est configurée pour diffracter la lumière incidente du pixel 1, avant ou au moment où la lumière atteint la photodiode PD du pixel 1. De préférence, la structure de diffraction 125 est configurée pour diffracter la lumière principalement dans deux directions orthogonales entre elles lorsque ces directions sont projetées sur un plan parallèle à la face 106 du substrat 102. On dit que la lumière est diffractée principalement dans deux directions lorsque, par exemple, au moins 30 % de la lumière atteignant la structure de diffraction 125 est diffractée dans une première de ces deux directions et au moins 30 % de la lumière atteignant la structure de diffraction 125 est diffractée dans une deuxième de ces deux directions. Dit d'une autre manière, à la sortie de la structure de diffraction, tous les ordres de diffraction supérieurs à l'ordre zéro sont supprimés dans les directions autres que les deux directions orthogonales dans lesquelles la structure de diffraction diffracte principalement la lumière.
- [0055] Selon un mode de réalisation, la structure de diffraction 125 comprend des tranchées 126, qui pénètrent dans la partie 100 du substrat 102 à partir de la face 106 du substrat 102. Les tranchées 126 sont remplies d'un ou plusieurs matériaux diélectriques ayant un indice de réfraction différent de celui du matériau semi-conducteur du substrat 102.
- [0056] À titre d'exemple, lorsque le substrat 102 est en silicium et le pixel 1 a des longueurs d'onde de fonctionnement dans le proche infrarouge, par exemple une longueur d'onde de fonctionnement sensiblement égale à 940 nm, les tranchées 126 pénètrent dans le substrat 102 sur une profondeur comprise dans la plage allant de 100 à 500 nm, par exemple dans la plage allant de 200 à 400 nm. En outre, lorsque le substrat 102 est en silicium et le pixel 1 a des longueurs d'onde de fonctionnement dans le proche infrarouge, par exemple une longueur d'onde de fonctionnement sensiblement égale à 940 nm, la largeur des tranchées 126 est, par exemple, comprise dans la plage allant de 100 à 300 nm.
- [0057] À titre d'exemple, lorsque le substrat 102 est en silicium et lorsque le pixel 1 a des longueurs d'onde de fonctionnement, par exemple, dans le proche infrarouge, les tranchées 126 sont remplies d'un ou plusieurs matériaux diélectriques parmi le nitrure

de silicium, l'oxyde d'aluminium, l'oxyde de tantale et l'oxyde de lanthane.

- [0058] Selon un mode de réalisation, les tranchées 126 qui sont parallèles entre elles sont agencées avec un pas égal à deux fois la longueur d'onde de fonctionnement à l'intérieur du pixel 1, à plus ou moins 20 %. La longueur d'onde à l'intérieur du pixel est la longueur d'onde effective à l'intérieur du matériau de la photodiode PD et est égale à la longueur d'onde de fonctionnement du pixel, prise dans l'air ou dans le vide, divisée par l'indice de réfraction n du matériau de la photodiode PD. Par exemple, lorsque la longueur d'onde de fonctionnement (dans l'air ou le vide) du pixel 1 est dans le proche infrarouge, par exemple égale à 940 nm, et lorsque la photodiode PD est en silicium ayant un indice de réfraction n égal à 3,6, le pas entre les tranchées parallèles 126 est compris dans la plage allant de 420 à 630 nm.
- [0059] Plus particulièrement, selon un mode de réalisation, et comme on va le décrire plus en détail avec les figures 2 à 6, les tranchées 126 de la structure de diffraction 125 de chaque pixel 1 comprennent des premières tranchées 1261 et des deuxièmes tranchées 1262. Les tranchées 1261, 1262 sont disposées de telle sorte que, dans un plan parallèle à la face 106 du substrat 102, les tranchées 1261 s'étendent longitudinalement dans une première direction, et les tranchées 1262 s'étendent longitudinalement dans une deuxième direction orthogonale à la première direction. De préférence, la première direction est orthogonale à deux bords opposés, ou côtés ou surfaces latérales, de la photodiode PD, la deuxième direction étant orthogonale à deux autres bords opposés de la photodiode PD. Selon ce mode de réalisation, les tranchées 1261 permettent de diffracter la lumière principalement dans la deuxième direction, et les deuxièmes tranchées 1262 permettent de diffracter la lumière principalement dans la première direction.
- [0060] De préférence, les tranchées 126 ne se croisent pas entre elles, ou, en d'autres termes, aucune des tranchées 126 n'est en contact avec une autre tranchée 126. En particulier, les tranchées 1261 de préférence ne contactent pas les tranchées 1262, ce qui simplifie la fabrication de ces tranchées.
- [0061] De préférence, les tranchées 126 ne contactent pas la couche 108.
- [0062] Les inventeurs ont montré que l'efficacité quantique du pixel 1 est supérieure à celle d'un pixel similaire qui est démunie de la structure de diffraction 125 et/ou des couches 108 et 110. Par exemple, ils ont montré une amélioration de l'efficacité quantique d'un facteur supérieur à 2 entre le pixel 1 et un pixel similaire qui est démunie de la structure de diffraction.
- [0063] Un premier pixel similaire au pixel 1 mais qui est démunie de la structure 125 et de toutes les couches 108, 109, 110, 120 configurées pour confiner la lumière à l'intérieur de la photodiode PD, un deuxième pixel similaire au pixel 1 mais qui est démunie de la structure 125, et un troisième pixel similaire au pixel 1 mais qui est démunie de toutes

les couches 108, 109, 110, 120 configurées pour confiner la lumière à l'intérieur de la photodiode PD, sont considérés ici. Les inventeurs ont montré que l'augmentation de l'efficacité quantique entre le pixel 1 et le premier pixel est supérieure à la somme de l'augmentation d'efficacité quantique entre les deuxième et premier pixels et de l'augmentation d'efficacité quantique entre les troisième et premier pixels. Dit d'une autre façon, l'effet de la structure de diffraction 125 et l'effet des couches 108 et 110 coopèrent pour améliorer l'efficacité quantique du pixel 1.

- [0064] On va maintenant décrire des exemples de réalisation de la structure de diffraction 125 du pixel 1 de la figure 1 en relation avec les figures 2 à 6. Chacune des figures 2 à 6 est une vue schématique de la structure de diffraction 125, prise dans un plan parallèle à la face 106 du substrat 102 (figure 1). Plus précisément, la structure de diffraction 125 de chacune des figures 2 à 7 est représentée comme si la structure 125 était vue par dessous en figure 1.
- [0065] Dans ces exemples de réalisation, la photodiode PD de chaque pixel 1 a une forme carrée dans un plan parallèle à la face 106 du substrat 102. En outre, la structure de diffraction 125 de chaque pixel 1 est formée par les tranchées 126 comprenant des premières tranchées 1261 et des deuxièmes tranchées 1262 comme décrit ci-dessus, en relation avec la figure 1. Dans chacune des figures 2 à 6, la couche 108, qui en pratique entoure toute la face éclairée de la photodiode PD, ou de la partie correspondante 100 du substrat 102, est représentée.
- [0066] Dans les figures 2 à 6, les tranchées 1261, 1262 sont disposées de telle sorte que, dans un plan parallèle à la face 106 du substrat 102, les tranchées 1261 s'étendent longitudinalement dans une première direction (verticalement en figures 2 à 6) orthogonale à deux bords opposés 200 et 202 de la photodiode PD, et les tranchées 1262 s'étendent longitudinalement dans une deuxième direction (horizontalement en figures 2 à 6) orthogonale à deux autres bords opposés 204 et 206 de la photodiode PD.
- [0067] Dans les figures 2, 3 et 6, une partie des tranchées 1261 forme un premier réseau de diffraction G1 s'étendant à partir du bord 200 en direction du centre O de la photodiode PD, et une autre partie des tranchées 1261 forme un deuxième réseau de diffraction G2 s'étendant à partir du bord 202 en direction du centre O de la photodiode PD, les réseaux G1 et G2 étant délimités par des lignes en pointillé en figures 2, 3 et 6. De façon similaire, une partie des tranchées 1262 forme un troisième réseau de diffraction G3 s'étendant à partir du bord 204 de la photodiode PD en direction du centre O de la photodiode PD, et une autre partie des tranchées 1262 forme un quatrième réseau de diffraction G4 s'étendant à partir du bord 206 en direction du centre O de la photodiode PD, les réseaux G3 et G4 étant délimités par des lignes en pointillé en figures 2, 3 et 6.
- [0068] Dans les figures 4 et 5, une partie des tranchées 1262 forme un premier réseau de dif-

fraction G1 s'étendant à partir du bord 200 en direction du centre O de la photodiode PD, et une autre partie des tranchées 1262 forme un deuxième réseau de diffraction G2 s'étendant à partir du bord 202 en direction du centre O de la photodiode PD, les réseaux G1 et G2 étant délimités par des lignes en pointillé en figure 4 et 5. De façon similaire, une partie des tranchées 1261 forme un troisième réseau de diffraction G3 s'étendant à partir du bord 204 de la photodiode PD en direction du centre O de la photodiode PD, et une autre partie des tranchées 1261 forme un quatrième réseau de diffraction G4 s'étendant à partir du bord 206 en direction du centre O de la photodiode PD, les réseaux G3 et G4 étant délimités par des lignes en pointillé en figures 4 et 5.

- [0069] Selon un mode de réalisation, les réseaux G1, G2, G3 et G4 ne se croisent pas.
- [0070] Selon un mode de réalisation, dans un plan parallèle à la face 106 du substrat 102 (figure 1), chacun des réseaux G1, G2, G3 et G4 occupe une région ayant une forme triangulaire. Une base de cette forme triangulaire est parallèle au bord 200, 202, 204 et 206 respectif à partir duquel s'étend le réseau, et est disposée du côté de ce bord, par exemple sur ce bord. Le sommet de la forme triangulaire, qui est situé à l'opposé de la base, est disposé près du centre O de la photodiode PD, par exemple sur le centre O.
- [0071] Dans le mode de réalisation de la figure 2, les réseaux G1 et G2, respectivement G3 et G4, sont, par exemple, identiques entre eux, mais disposés selon des orientations différentes, les réseaux G1, G2, G3 et G4 étant, par exemple, identiques entre eux, mais disposés selon des orientations différentes.
- [0072] Dans le mode de réalisation de la figure 2, le réseau G1 n'est pas symétrique par rapport à un plan 210 orthogonal au bord 200 à partir duquel s'étend le réseau G1, le plan 210 passant par le milieu du bord 200, ou, en d'autres termes, divisant le bord 200 en deux parties ayant la même longueur. De façon similaire, dans le mode de réalisation de la figure 2, le réseau G2 n'est pas symétrique par rapport au plan 210.
- [0073] Dans le mode de réalisation de la figure 2, le réseau G3 n'est pas symétrique par rapport à un plan 212 orthogonal au bord 204 à partir duquel s'étend le réseau G2, le plan 212 passant par le milieu du bord 204. De façon similaire, dans le mode de réalisation de la figure 2, le réseau G4 n'est pas symétrique par rapport au plan 212.
- [0074] Le mode de réalisation de la figure 3 diffère de celui de la figure 2 en ce que chacun des réseaux G1 et G2 est symétrique par rapport au plan 210, et chacun des réseaux G3 et G4 est symétrique par rapport au plan 212.
- [0075] La dissymétrie entre les réseaux de la structure de diffraction 125 du pixel 1 de la figure 2 permet par exemple que la densité des tranchées à proximité du centre O de la photodiode PD soit supérieure à celle dans pixel 1 de la figure 3, dans lequel les réseaux sont symétriques. Cela résulte du fait que, en figure 2, l'espacement entre une tranchée appartenant à un réseau donné et une tranchée appartenant à un réseau

adjacent est perpendiculaire à un côté longitudinal de l'une de ces tranchées, et s'étend entre ce côté longitudinal et une extrémité de l'autre de ses tranchées, tandis que, en figure 3, l'espacement entre ces deux tranchées est pris suivant une diagonale passant par un coin d'une extrémité de l'une de ces tranchées et par un coin d'une extrémité de l'autre de ces tranchées.

- [0076] Dans le mode de réalisation de la figure 4, les réseaux G1 et G2, respectivement G3 et G4, sont, par exemple, identiques entre eux, mais disposées selon des orientations différentes, les réseaux G1, G2, G3 et G4 étant, par exemple, identiques entre eux, mais disposées selon des orientations différentes.
- [0077] Dans le mode de réalisation de la figure 4, le réseau G1 n'est pas symétrique par rapport au plan 210. De façon similaire, dans le mode de réalisation de la figure 4, le réseau G2 n'est pas symétrique par rapport au plan 210.
- [0078] Dans le mode de réalisation de la figure 4, le réseau G3 n'est pas symétrique par rapport au plan 212. De façon similaire, dans le mode de réalisation de la figure 4, le réseau G4 n'est pas symétrique par rapport au plan 212.
- [0079] Le mode de réalisation de la figure 5 diffère de celui de la figure 4 en ce que chacun des réseaux G1 et G2 est symétrique par rapport au plan 210, et chacun des réseaux G3 et G4 est symétrique par rapport au plan 212. En outre, les réseaux G1 et G2 sont disposés de façon symétrique par rapport au plan 212, les réseaux G3 et G4 étant disposés de façon symétrique par rapport au plan 210.
- [0080] Comme cela a déjà été expliqué en relation avec les pixels 1 des figures 2 et 3, la densité des tranchées à proximité du centre O de la photodiode PD peut être supérieure dans le pixel 1 de la figure 4 par rapport au pixel 1 de la figure 5.
- [0081] La figure 6 représente une variante de réalisation de la structure de diffraction 125 illustrée par la figure 2.
- [0082] Dans cette variante de réalisation, au moins l'un des réseaux G1, G2, G3 et G4 comporte un défaut de périodicité, c'est-à-dire un défaut dans la périodicité du réseau.
- [0083] Dans l'exemple de la figure 6, chacun des réseaux G1, G2, G3 et G4 a le même défaut de périodicité.
- [0084] Dans l'exemple de la figure 6, le défaut de périodicité correspond à deux tranchées 126 qui ont été omises dans le réseau (à des emplacements respectifs 700 et 701 pour chaque réseau de la figure 6). Dans l'exemple de la figure 6, dans chaque réseau G1, G2, G3 et G4, les deux défauts de périodicité sont symétriques entre eux, par rapport au plan de symétrie du réseau.
- [0085] Un autre type de défaut de périodicité peut être prévu dans au moins l'un des réseaux G1, G2, G3 et G4, éventuellement de manière symétrique dans chaque réseau, éventuellement en combinaison avec au moins une tranchée manquante 126. Ces autres types de défauts de périodicité, qui peuvent être utilisés en combinaison dans un réseau

G1, G2, G3 ou G4 donné sont, par exemple, une modification de la largeur d'une tranchée et une modification locale du pas entre les tranchées du réseau.

- [0086] Le fait de prévoir au moins un défaut de périodicité dans au moins l'un des réseaux G1, G2, G3 et G4 permet d'améliorer encore davantage l'efficacité quantique ou de réduire la diaphonie entre deux photodiodes PD adjacentes (figure 1) ou de favoriser un mode spécifique de la lumière, c'est-à-dire une longueur d'onde spécifique autorisée à se propager dans la photodiode PD du pixel.
- [0087] En fonction du résultat visé, la personne du métier sera capable de choisir le nombre, le type et l'emplacement des défauts de périodicité dans chaque réseau G1, G2, G3, G4, par exemple en utilisant un outil de simulation tel que l'outil désigné par l'appellation commerciale "Lumerical".
- [0088] La personne du métier sera capable de mettre en œuvre la variante de réalisation de la figure 6 dans la structure de diffraction 125 de chacune des figures 3 à 5.
- [0089] Dans les modes de réalisation décrits en relation avec les figures 2, 3 et 6, les tranchées 1261 de chacun des réseaux G1 et G2 sont orthogonales (dans la direction de leurs longueurs) au bord 200, respectivement 202, à partir duquel s'étend le réseau, et les tranchées 1262 de chacun des réseaux G3 et G4 sont orthogonales (dans la direction de leurs longueurs) au bord 204, respectivement 206, à partir duquel s'étend le réseau. Cela permet d'obtenir une efficacité quantique supérieure à celle du cas des figures 4 et 5 où les tranchées 1262 de chacun des réseaux G1 et G2 sont parallèles (dans la direction de leurs longueurs) au bord 200, respectivement 202, à partir duquel s'étend le réseau, et les tranchées 1261 de chacun des réseaux G3 et G4 sont parallèles (dans la direction de leurs longueurs) au bord 204, respectivement 206, à partir duquel s'étend le réseau.
- [0090] Le pixel 1 qui a été décrit en relation avec la figure 1 est dit pixel à éclairage par la face arrière ("back side illuminated pixel") puisqu'il reçoit de la lumière du côté de la face 106 du substrat 102 qui est opposé à la face 104 du substrat 102 sur laquelle repose la structure IT. La personne du métier sera capable d'adapter la description précédente au cas d'un pixel à éclairage par la face avant ("front side illuminated pixel"), c'est-à-dire un pixel qui reçoit de la lumière du côté de la face 104 du substrat 102, sur laquelle repose la structure IT.
- [0091] En outre, bien que dans tous les modes de réalisation de la structure de diffraction 125 qui ont été décrits précédemment, la structure de diffraction comprenne des tranchées 126 pénétrant dans le substrat 102, la personne du métier sera capable d'adapter la description précédente au cas où la structure de diffraction 125 est constituée de barres en un ou plusieurs premiers matériaux diélectriques, intégrés dans une couche en un ou plusieurs deuxièmes matériaux diélectriques ayant un indice de réfraction différent de ceux des premiers matériaux diélectriques, les barres étant alors,

par exemple, agencées comme décrit pour les tranchées 1261, 1262 en relation avec les figures 2 à 6.

[0092] En outre, la présente description n'est pas limitée à un substrat 102 en silicium. Par exemple, dans d'autres modes de réalisation, le substrat 102 comprend ou est fait de germanium ou de silicium germanium.

[0093] Plus généralement, la présente description n'est pas limitée au cas où la ou les longueurs d'onde de fonctionnement du pixel 1 sont dans le proche infrarouge. La personne du métier sera capable d'adapter la description précédente au cas où la ou les longueurs d'onde de fonctionnement du pixel 1 appartiennent à une autre plage de longueurs d'onde, par exemple en adaptant les dimensions et/ou le pas des tranchées 126 et/ou en adaptant le matériau du substrat 102, de la couche 108 et/ou de la couche 110.

[0094] Divers modes de réalisation et variantes ont été décrits. La personne du métier comprendra que certaines caractéristiques de ces divers modes de réalisation et variantes pourraient être combinées, et d'autres variantes apparaîtront à la personne du métier. En particulier, bien qu'il ait été indiqué que la photodiode PD est de préférence configurée pour être utilisée comme une SPAD, cela n'est pas une caractéristique nécessaire de la photodiode PD. En outre, la personne du métier sera capable de prévoir un pixel 1 dans différentes applications d'imagerie, par exemple dans des dispositifs optiques adaptatifs, dans un capteur LiDAR ("Light Detection And Ranging" – détection et estimation de la distance par la lumière), dans un capteur TOF ("Time Of Flight" – temps de vol) direct ou indirect, etc....

[0095] Enfin, la mise en œuvre pratique des modes de réalisation et variantes décrits est à la portée de la personne du métier à partir des indications fonctionnelles données ci-dessus.

Revendications

- [Revendication 1] Pixel (1) comprenant :
- une photodiode (PD) comprenant une partie (100) d'un substrat (102) en un matériau semi-conducteur, s'étendant verticalement à partir d'une première face (104) du substrat (102) jusqu'à une deuxième face (106) du substrat (102) située à l'opposé de la première face (104) et configurée pour recevoir de la lumière à une longueur d'onde de fonctionnement du pixel (1) ;
 - une couche (108) en un premier matériau ayant un indice de réfraction inférieur à un indice de réfraction du matériau semi-conducteur et recouvrant chacune des surfaces latérales de ladite partie (100) ;
 - une couche (110) en un deuxième matériau ayant un indice de réfraction inférieur à l'indice de réfraction du matériau semi-conducteur et recouvrant ladite partie (100) du côté de la première face (104) ; et
 - une structure de diffraction (125) disposée sur une face de la photodiode (PD) du côté de la deuxième face (106) du substrat (102).
- [Revendication 2] Pixel selon la revendication 1, dans lequel chacun des premier et deuxième matériaux est configuré de telle sorte que de la lumière à une longueur d'onde de fonctionnement du pixel (1) atteignant une interface entre la photodiode (PD) et ledit matériau avec un angle d'incidence supérieur à 30° est complètement réfléchi.
- [Revendication 3] Pixel selon la revendication 2, dans lequel le matériau semi-conducteur est du silicium, le premier matériau étant de l'oxyde de silicium et/ou le deuxième matériau étant de l'oxyde de silicium.
- [Revendication 4] Pixel selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel :
- la couche (108) du premier matériau a une première surface en contact avec ladite partie (100) et une deuxième surface située à l'opposé de la première surface recouverte d'une couche métallique (109) ; et/ou
 - la couche (110) du deuxième matériau a une première surface en contact avec ladite partie (100) et une deuxième surface située à l'opposé de la première surface recouverte d'une couche métallique.
- [Revendication 5] Pixel selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la structure de diffraction (125) est configurée pour diffracter de la lumière à une longueur d'onde de fonctionnement du pixel (1), qui atteint la photodiode (PD) du côté de la deuxième face (106) du substrat, principalement dans deux directions orthogonales entre elles lorsqu'elles sont projetées sur un plan parallèle à la deuxième face (106).

- [Revendication 6] Pixel selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel la structure de diffraction (125) comprend des tranchées (126 ; 1261, 1262) pénétrant dans ladite partie (100) à partir de la deuxième face (106) du substrat (102), les tranchées (126 ; 1261, 1262) étant remplies d'un ou plusieurs troisièmes matériaux diélectriques ayant un indice de réfraction différent de celui du matériau semi-conducteur.
- [Revendication 7] Pixel selon la revendication 6, dans lequel les tranchées (126 ; 1261, 1262) de la structure de diffraction (125) qui sont parallèles entre elles sont agencées avec un pas égal au double d'une longueur d'onde de fonctionnement à l'intérieur du pixel (1), à plus ou moins 20 %.
- [Revendication 8] Pixel selon la revendication 6 ou 7, dans lequel, dans un plan parallèle à la deuxième face (106), la photodiode (PD) a une forme carrée ou rectangulaire.
- [Revendication 9] Pixel selon la revendication 8, dans lequel, dans un plan parallèle à la deuxième face, les tranchées (126) comprennent des premières tranchées (1261) s'étendant longitudinalement dans une première direction orthogonale à des premier (200) et deuxième (202) bords opposés de la photodiode (PD), et des deuxièmes tranchées (1262) s'étendant longitudinalement dans une deuxième direction orthogonale à des troisième (204) et quatrième (206) bords opposés de la photodiode (PD).
- [Revendication 10] Pixel selon la revendication 9, dans lequel les premières tranchées (1261) ne contactent pas les deuxièmes tranchées (1262).
- [Revendication 11] Pixel selon la revendication 9 ou 10, dans lequel, dans un plan parallèle à la deuxième face (106) :
- une partie des premières tranchées (1261) forme un premier réseau de diffraction (G1) s'étendant à partir du premier bord (200) en direction du centre (O) de la photodiode (PD) ;
 - une autre partie des premières tranchées (1261) forme un deuxième réseau de diffraction (G2) s'étendant à partir du deuxième bord (202) de la photodiode (PD) en direction du centre (O) de la photodiode (PD) ;
 - une partie des deuxièmes tranchées (1262) forme un troisième réseau de diffraction (G3) s'étendant à partir du troisième bord (204) de la photodiode (PD) en direction du centre (O) de la photodiode (PD) ; et
 - une autre partie des deuxièmes tranchées (1262) forme un quatrième réseau de diffraction (G4) s'étendant à partir du quatrième bord (206) de la photodiode (PD) en direction du centre de la photodiode (PD).
- [Revendication 12] Pixel selon la revendication 9 ou 10, dans lequel, dans un plan parallèle à la deuxième face (106) :

une partie des deuxièmes tranchées (1262) forme un premier réseau de diffraction (G1) s'étendant à partir du premier bord (200) en direction du centre (O) de la photodiode ; une autre partie des deuxièmes tranchées (1262) forme un deuxième réseau de diffraction (G2) s'étendant à partir du deuxième bord (202) de la photodiode (PD) en direction du centre (O) de la photodiode (PD) ;
une partie des premières tranchées (1261) forme un troisième réseau de diffraction (G3) s'étendant à partir du troisième bord (204) de la photodiode (PD) en direction du centre (O) de la photodiode (PD) ; et
une autre partie des premières tranchées (1261) forme un quatrième réseau de diffraction (G4) s'étendant à partir du quatrième bord (206) de la photodiode (PD) en direction du centre (O) de la photodiode (PD).

- [Revendication 13] Pixel selon la revendication 11 ou 12, dans lequel les premier, deuxième, troisième et quatrième réseaux (G1, G2, G3, G4) ne se croisent pas.
- [Revendication 14] Pixel selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, dans lequel au moins l'un des premier, deuxième, troisième et quatrième réseaux (G1, G2, G3, G4) comprend au moins un défaut de périodicité parmi : une tranchée omise, une modification de la largeur d'une tranchée par rapport aux autres tranchées du réseau, une modification locale du pas avec lequel les tranchées du réseau sont agencées.
- [Revendication 15] Pixel selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, dans lequel la photodiode (PD) est configurée pour être utilisée comme une photodiode à avalanche à photon unique, une longueur de fonctionnement du pixel appartenant de préférence à une plage allant de 700 nm à 2000 nm et étant, par exemple, égale à 940 nm.

[Fig. 3]

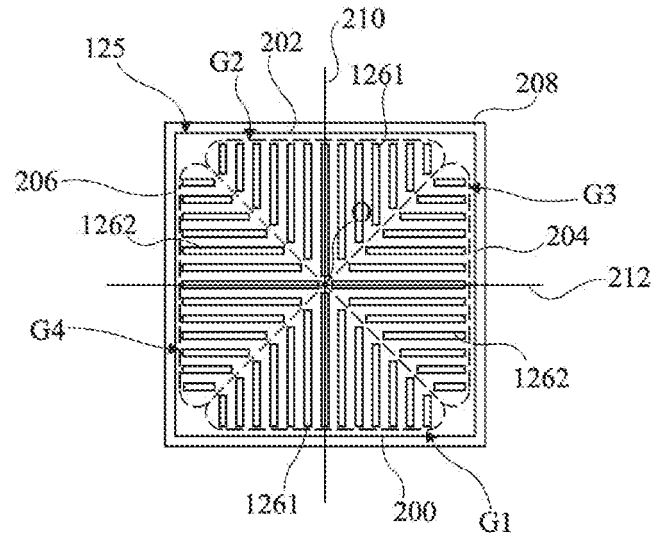


Fig 3

[Fig. 4]

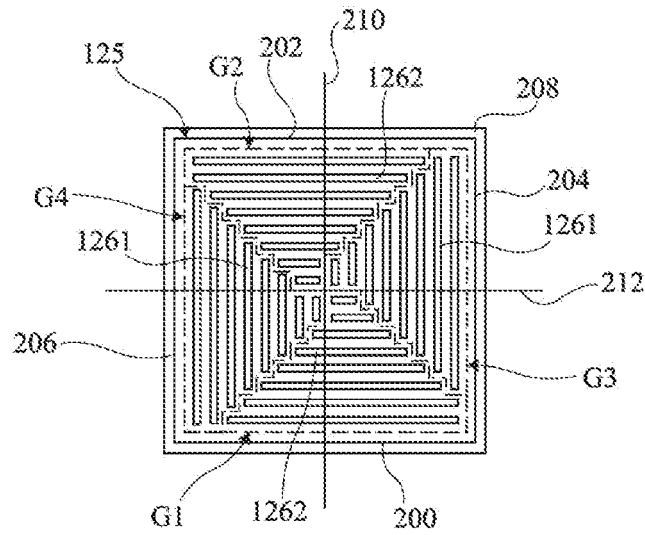


Fig 4

[Fig. 5]

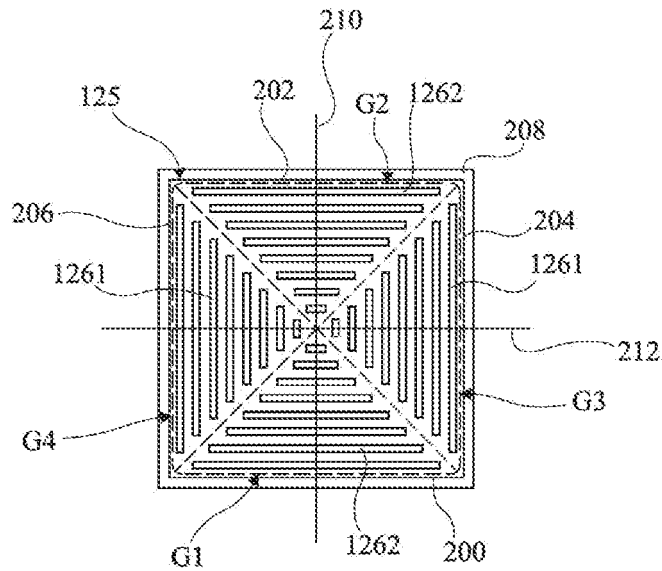


Fig 5

[Fig. 6]

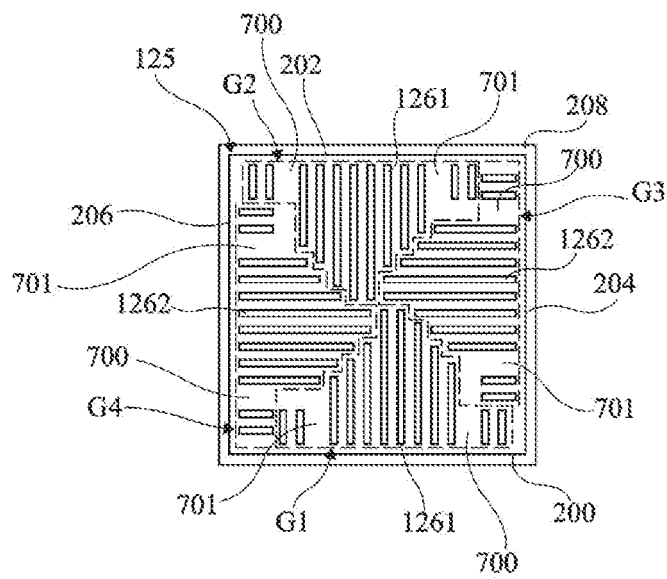


Fig 6

**RAPPORT DE RECHERCHE
 PRÉLIMINAIRE**

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

 N° d'enregistrement
 national

 FA 885549
 FR 2010469

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 2019/244992 A1 (YOKOGAWA SOZO [JP] ET AL) 8 août 2019 (2019-08-08) * alinéa [0145] - alinéa [0148]; figure 32 * * alinéa [0205] *	1-15	H01L31/107 H01L27/146
X	US 2020/027915 A1 (HSIEH CHENG-YU [TW]) 23 janvier 2020 (2020-01-23) * figures 1, 7 *	1-15	
X	US 2020/135776 A1 (FINKELSTEIN HOD [US]) 30 avril 2020 (2020-04-30) * alinéa [0098]; figure 1B *	1	
X	US 2020/075656 A1 (LEE WOOK [KR] ET AL) 5 mars 2020 (2020-03-05) * figure 1b *	1	
A	DE 10 2018 107914 A1 (TAIWAN SEMICONDUCTOR MFG CO LTD [TW]) 28 février 2019 (2019-02-28) * figures 1B, 23 *	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
3 juin 2021		Le Meur, M	
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 2010469 FA 885549**

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 **03-06-2021**

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 2019244992 A1	08-08-2019	CN 109906512 A JP W02018079296 A1 KR 20190067179 A US 2019244992 A1 WO 2018079296 A1	18-06-2019 12-09-2019 14-06-2019 08-08-2019 03-05-2018
US 2020027915 A1	23-01-2020	CN 110729314 A US 2020027915 A1	24-01-2020 23-01-2020
US 2020135776 A1	30-04-2020	US 2020135776 A1 WO 2020092471 A1	30-04-2020 07-05-2020
US 2020075656 A1	05-03-2020	CN 110875342 A KR 20200027123 A US 2020075656 A1	10-03-2020 12-03-2020 05-03-2020
DE 102018107914 A1	28-02-2019	AUCUN	