

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 092 700

21 N° d'enregistrement national : 19 01220

51 Int Cl⁸ : H 01 L 31/024 (2019.01)

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 07.02.19.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 14.08.20 Bulletin 20/33.

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) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public — FR.

72 Inventeur(s) : BOULARD François, CERVERA Cyril et FERRON Alexandre.

73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public.

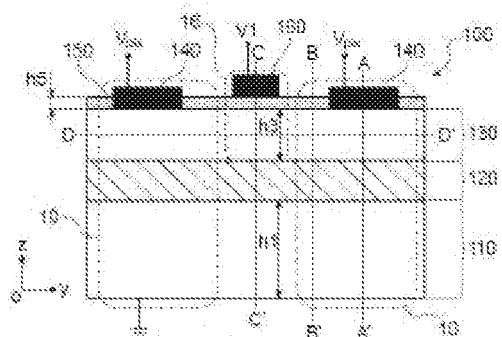
74 Mandataire(s) : BREVALEX.

54 MATRICE DE PHOTO-DÉTECTEURS À BARRIÈRE AVEC PIXELLISATION PAR DÉPLÉTIONS LOCALES.

57 Dispositif de photo-détection (100) comportant une matrice de pixels, où chaque pixel (10) comprend un photo-détecteur à barrière. La matrice de pixels comporte une couche d'absorption (110), une couche barrière (120), une couche de contact (130), et au moins un élément de séparation (150, 160) pour délimiter les pixels.

L'au moins un élément de séparation (150, 160) s'étend au-dessus de la couche de contact (130), et permet de former au moins une zone de déplétion qui s'étend localement dans la couche de contact (130), pour bloquer la circulation latérale des porteurs de charges.

Figure pour l'abrégé : Figure 1.



FR 3 092 700 - A1



Description

Titre de l'invention : MATRICE DE PHOTO-DÉTECTEURS À BARRIÈRE AVEC PIXELLISATION PAR DÉPLÉTIONS LOCALES

Domaine technique

[0001] L'invention se rapporte au domaine des photo-détecteurs à barrière, et plus particulièrement à un dispositif matriciel comportant une pluralité de photo-détecteurs à barrière.

Technique antérieure

[0002] Les photo-détecteurs à barrière désignent des dispositifs de photo-détection qui comportent, superposées les unes au-dessus des autres, une couche d'absorption en matériau semi-conducteur dopé, dans laquelle des photons incidents sont absorbés et génèrent des porteurs de charge, une couche barrière, et une couche de contact en matériau semi-conducteur dopé, pour polariser le photo-détecteur. La couche d'absorption et la couche de contact présentent chacune une faible valeur de largeur de bande interdite, ou gap. La couche barrière est agencée entre la couche d'absorption et la couche de contact, et présente un gap élevé. La différence de gap entre la couche barrière et la couche d'absorption se reporte majoritairement sur l'une ou l'autre parmi la bande de conduction ou la bande de valence, et de telle sorte que la couche barrière forme une barrière unipolaire pour les porteurs de charge de la couche d'absorption. Le terme « barrière unipolaire » désigne une barrière de potentiel qui bloque un type de porteur de charge (trou ou électron) et laisse passer l'autre type de porteur de charge (électron ou trou). La couche barrière forme plus particulièrement une barrière de potentiel qui empêche la circulation des porteurs majoritaires, entre la couche d'absorption et la couche de contact, et qui autorise la circulation des porteurs minoritaires, depuis la couche d'absorption vers la couche de contact. La couche barrière autorise ainsi la transduction d'un signal lumineux en un signal électrique, en laissant passer dans la couche de contact les porteurs minoritaires photo-générés dans la couche d'absorption, tout en limitant le courant d'obscurité de porteurs majoritaires, en particulier en empêchant leur transport jusqu'à la couche de contact.

[0003] On peut réaliser des matrices de photo-détecteurs, réunissant une pluralité de photo-détecteurs à barrière. Les différents pixels d'une telle matrice peuvent partager une même couche d'absorption et une même couche barrière, et comporter chacun une zone de contact dédiée. Les zones de contact des différents pixels sont formées dans une même couche barrière, et isolées chacune des zones de contact voisines par des tranchées. Un inconvénient de cette solution est que la gravure des tranchées génère

des défauts de matériau dans la couche de contact, sur les flancs et le fond des tranchées gravées. Ces défauts de matériau génèrent des courants qui dégradent la sensibilité des photo-détecteurs. En outre, la matrice de photo-détecteurs ainsi réalisée présente une topologie de surface, sur laquelle le dépôt d'une couche de passivation est plus difficile à mettre en œuvre que sur une surface plane. Enfin, la gravure libère des régions de la couche barrière qui peuvent s'oxyder. Cette oxydation détériore les performances des photo-détecteurs, et limite les rendements de fabrication.

[0004] Afin de remédier à ces inconvénients, le document US 8,502,271 propose une matrice de photo-détecteurs dans laquelle les tranchées gravées sont remplacées par des régions de séparation qui s'étendent directement dans la couche de contact. Les régions de séparation présentent un dopage de type opposé à celui du restant de la couche de contact, et permettent ainsi de bloquer le flux de porteurs majoritaires dans la couche de contact. Cette solution permet de s'affranchir des inconvénients liés à la gravure. L'incorporation et l'activation d'éléments dopants dans la couche de contact génèrent cependant des défauts de structure qui sont sources de courant d'obscurité.

[0005] Un objectif de la présente invention est de proposer un dispositif matriciel de photo-détection comportant une pluralité de photo-détecteurs à barrière, et qui ne présente pas les inconvénients de l'art antérieur. En particulier, un but de la présente invention est de proposer un dispositif matriciel de photo-détection comportant une pluralité de photo-détecteurs à barrière, avec un courant d'obscurité inférieur à celui des dispositifs de l'art antérieur.

Exposé de l'invention

[0006] Cet objectif est atteint avec un dispositif de photo-détection comportant une matrice de pixels, où chaque pixel comprend un photo-détecteur à barrière, et où ladite matrice de pixels comporte :

- une couche d'absorption, une couche barrière, et une couche de contact, agencées superposées avec la couche barrière située entre la couche d'absorption et la couche de contact, où la couche barrière est apte à former une barrière de potentiel bloquant la circulation de porteurs majoritaires entre la couche d'absorption et la couche de contact et autorisant la circulation de porteurs minoritaires depuis la couche d'absorption vers la couche de contact ; et
- au moins un élément de séparation, pour délimiter les pixels de ladite matrice de pixels.

[0007] Le terme « photo-détecteur à barrière » est défini en introduction.

[0008] La couche barrière est apte à former une barrière de potentiel bloquant la circulation de porteurs majoritaires (de la couche d'absorption, respectivement la couche de

contact) entre la couche d'absorption et la couche de contact. En d'autres termes, ladite barrière de potentiel bloque la circulation de porteurs majoritaires dans un sens et/ou dans l'autre, entre la couche d'absorption et la couche de contact. Elle peut en particulier bloquer la circulation de porteurs majoritaires de la couche d'absorption, depuis la couche d'absorption vers la couche de contact. En outre, ladite barrière de potentiel autorise la circulation de porteurs minoritaires de la couche d'absorption, depuis la couche d'absorption vers la couche de contact.

- [0009] La circulation, ou transport, ou collection des porteurs de charges, se fait par exemple par diffusion de porteurs, ou par dérive (drift, en anglais) sous l'effet d'un champ électrique).
- [0010] Selon l'invention, l'au moins un élément de séparation s'étend au-dessus de la couche de contact, du côté opposé à la couche barrière. L'au moins un élément de séparation est apte à former au moins une zone de déplétion qui s'étend dans la couche de contact et forme une barrière de potentiel bloquant la circulation de porteurs de charges d'un pixel à l'autre de la matrice de pixels.
- [0011] En d'autres termes, l'idée à la base de l'invention consiste à délimiter des pixels à l'aide d'une barrière de potentiel, formée dans la couche de contact sous l'effet d'un élément de séparation externe à ladite couche de contact.
- [0012] Une zone de déplétion, ou zone désertée, est une zone dépourvue de porteurs de charges libres, ou porteurs majoritaires, dans un matériau semiconducteur dopé. Une zone de déplétion se forme par exemple dans une diode à jonction p-n (ou n-p), du fait de la diffusion des porteurs de charges autour de la jonction. Une zone de déplétion peut aussi se former sous l'effet d'un champ électrique, dans la couche en matériau semiconducteur d'une capacité Métal-Oxyde-Semiconducteur (capacité MOS). D'autres dispositifs électroniques à base de matériau semiconducteur peuvent également présenter une zone de déplétion.
- [0013] Au niveau d'une zone de déplétion, le potentiel électrique passe progressivement d'une valeur basse à une valeur haute. L'au moins une zone de déplétion selon l'invention forme donc une barrière de potentiel, qui s'étend dans la couche de contact au niveau de ladite zone de déplétion. Cette barrière de potentiel bloque le transport latéral de porteurs de charges de la couche de contact. La barrière de potentiel délimite ainsi une pluralité de zones dans la couche de contact, définissant ainsi les pixels de la matrice de pixels.
- [0014] Selon l'invention, l'au moins une zone de déplétion et la barrière de potentiel associée s'étendent donc dans la couche de contact, entre les pixels de la matrice de photo-détecteurs, et de préférence selon des lignes qui s'entrecroisent.
- [0015] L'au moins une zone de déplétion selon l'invention est formée à l'aide de l'au moins un élément de séparation. Cet élément de séparation forme, avec la couche de contact,

une structure apte à générer une zone de déplétion dans la couche de contact. Ladite structure est par exemple une capacité MOS ou empilement semi-conducteur à jonction p-n (ou n-p). L'élément de séparation s'étend au-dessus de la couche de contact, du côté de la couche de contact opposé à la couche barrière, et de préférence directement sur la couche de contact. Il ne dépasse pas jusqu'à l'intérieur de la couche de contact, de sorte qu'il ne modifie pas la composition chimique ni la structure cristalline de la couche de contact. Il ne nécessite pas non plus de graver la couche de contact.

[0016] L'invention offre ainsi une solution pour délimiter des photo-détecteurs individuels de type photo-détecteur à barrière, dans un empilement comportant une couche d'absorption, une couche barrière, et une couche de contact, et qui ne présente pas les inconvénients liés à cette pixellisation dans l'art antérieur. En particulier, l'invention permet de s'affranchir des inconvénients liés à la gravure de la couche de contact, ou à l'implantation d'impuretés dans cette dernière. Une zone interpixel de la couche de contact ne présente pas une densité de défauts structurels plus élevée ni une composition chimique différente de celle du restant de la couche contact. On s'affranchit ainsi de défauts de structure à l'origine d'un courant d'obscurité dans l'art antérieur. En outre, l'invention permet de s'affranchir de tout risque d'oxydation de la couche barrière lié à une gravure de la couche de contact. L'invention facilite également le dépôt d'une couche de passivation pour protéger la couche de contact, grâce à une configuration planaire. Enfin, on évite une étape sensible d'implantation ou diffusion locale de dopants dans la couche de contact, ce qui améliore un rendement de fabrication en comparaison avec l'art antérieur.

[0017] De préférence, le dispositif selon l'invention est configuré pour qu'en fonctionnement, l'au moins une zone de déplétion s'étende sur toute l'épaisseur de la couche de contact.

[0018] Selon un premier mode de réalisation avantageux, l'au moins un élément de séparation comprend une pluralité de bandes métalliques, agencées le long de lignes de séparation entre les pixels, et au moins une couche en matériau électriquement isolant située entre la couche de contact et lesdites bandes métalliques, de manière à former au moins une capacité Métal-Oxyde-Semiconducteur qui s'étend le long desdites lignes de séparation entre les pixels. Les bandes métalliques peuvent être électriquement connectées à une source de tension configurée pour fournir une tension de polarisation non nulle. La source de tension est avantageusement configurée pour fournir une tension de polarisation supérieure ou égale à 500 mV en valeur absolue. Chaque pixel de la matrice de pixels peut comporter en outre un plot de contact électrique, situé directement sur la couche de contact du côté opposé à la couche barrière, avec les bandes métalliques constituées d'un même matériau que lesdits plots de contact électrique. De

préférence, chaque pixel de la matrice de pixels comporte en outre un plot de contact électrique, situé directement sur la couche de contact du côté opposé à la couche barrière, et l'au moins une couche en matériau électriquement isolant recouvre l'intégralité de la couche de contact excepté aux emplacements desdits plots de contact électrique.

- [0019] Selon un deuxième mode de réalisation avantageux, l'au moins un élément de séparation comporte des bandes dopées en matériau semi-conducteur, situées chacune directement sur la couche de contact du côté opposé à la couche barrière, et présentant chacune un dopage n ou p de manière à former une jonction p-n ou n-p avec la couche de contact. De préférence, les bandes dopées ne sont pas connectées à une source de tension pour polariser ces dernières. L'épaisseur des bandes dopées est avantageusement inférieure ou égale à 15 nm, où l'épaisseur est mesurée selon un axe orthogonal au plan de la matrice de pixels.
- [0020] Selon l'invention, l'au moins un élément de séparation peut avoir la forme d'une grille continue.
- [0021] En variante, l'au moins un élément de séparation peut avoir la forme d'une grille discontinue, constituée d'une pluralité d'éléments de séparation disjoints. Dans ce cas, une distance, entre deux éléments de séparation répartis le long d'une même ligne droite reliant deux bords opposés de la matrice de pixels, est avantageusement inférieure ou égale à deux fois une étendue de la zone de déplétion dans la couche de contact et dans le sens de la profondeur. De préférence, les pixels de la matrice de pixels sont agencés selon un maillage carré ou rectangulaire, et chaque pixel est encadré par quatre éléments de séparation disjoints.
- [0022] De manière avantageuse, les photo-détecteurs à barrière sont de type nBn, avec la couche d'absorption dopée n et la couche de contact dopée n.

Brève description des dessins

- [0023] La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :
- [0024] [fig.1] illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, un premier mode de réalisation d'un dispositif de photo-détection selon l'invention ;
- [0025] [fig.2A]
- [0026] [fig.2B]
- [0027] [fig.2C]
- [0028] [fig.2D] illustrent des profils d'énergie dans le dispositif de la figure 1 ;

[0029] [fig.3]

illustre de façon schématique, et selon une vue de dessus, le dispositif de la figure 1 ;

[0030] [fig.4]

illustre une épaisseur de la zone de déplétion dans la couche de contact, en fonction d'une densité de dopage de ladite couche de contact, dans le mode de réalisation de la figure 1 ;

[0031] [fig.5]

illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, un deuxième mode de réalisation d'un dispositif de photo-détection selon l'invention ;

[0032] [fig.6A]

[0033] [fig.6B]

[0034] [fig.6C]

[0035] [fig.6D]

illustrent des profils d'énergie dans le dispositif de la figure 5 ;

[0036] [fig.7]

illustre une épaisseur de la zone de déplétion dans la couche de contact, en fonction d'une densité de dopage de ladite couche de contact, dans le mode de réalisation de la figure 5 ; et

[0037] [fig.8A]

et

[0038] [fig.8B]

illustrent de façon schématique, chacun selon une vue de dessus, deux variantes du dispositif de la figure 5.

[0039] **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

[0040] La figure 1 illustre, selon une vue en coupe dans le plan (yOz) d'un repère orthonormé (Oxyz), un dispositif de photo-détection 100 selon un premier mode de réalisation de l'invention.

[0041] Le dispositif de photo-détection 100 comporte, superposées l'une au-dessus de l'autre le long de l'axe (Oz) :

- une couche d'absorption 110 ;
- une couche barrière 120 ; et
- une couche de contact 130.

[0042] Cet empilement de couches forme une hétéro-structure, qui est réalisé par exemple par épitaxie par jet moléculaire sur un substrat GaSb.

[0043] Chacune de ces couches s'étend dans un plan parallèle au plan (xOy), parallèle au plan de la matrice de pixels telle que définie dans la suite. La couche barrière 120 s'étend entre la couche d'absorption 110 et la couche de contact 130, en contact physique direct avec ces dernières le long de plans parallèles au plan (xOy).

- [0044] La couche d'absorption 110 est constituée d'un matériau semi-conducteur dopé, ici dopé n (excès d'électrons). Le matériau semi-conducteur est par exemple un alliage d'indium, arsenic et antimoine. La couche d'absorption 110 est destinée à absorber des photons dont la longueur d'onde est située dans une plage de sensibilité spectrale du dispositif de photo-détection 100. En fonctionnement, les photons absorbés dans la couche d'absorption 110 y génèrent des porteurs de charge, en particulier des porteurs minoritaires qui circulent jusqu'à la couche barrière 120. Ici, les porteurs minoritaires sont des trous, chargés positivement. La couche d'absorption 110 présente une épaisseur h_1 de quelques micromètres, proche d'une profondeur d'absorption de la lumière dans le matériau de la couche d'absorption aux longueurs d'onde détectée par le dispositif de photo-détection 100. L'épaisseur h_1 est mesurée selon un axe (Oz) orthogonal au plan (xOy) de la couche d'absorption 110. La couche d'absorption 110 présente une première valeur du gap, ΔE_1 .
- [0045] La couche barrière 120 est constituée d'un matériau semi-conducteur, de préférence dopé avec le même type de dopage que la couche d'absorption 110. Le matériau semi-conducteur est par exemple un alliage d'aluminium, arsenic et antimoine. La couche barrière 120 présente une deuxième valeur du gap, ΔE_2 , avec ΔE_2 supérieur à ΔE_1 . La différence de gap entre la couche barrière 120 et la couche d'absorption 110 se reporte ici majoritairement sur la bande de conduction, de sorte que la couche barrière 120 forme une barrière unipolaire qui bloque la circulation des porteurs majoritaires (électrons) de la couche d'absorption 110, et autorise la circulation des porteurs minoritaires (trous) de la couche d'absorption.
- [0046] La couche de contact 130 est constituée d'un matériau semi-conducteur dopé, ici dopé n. Le matériau semi-conducteur peut être constitué des mêmes éléments chimiques que le matériau de la couche d'absorption 110, le cas échéant dans les mêmes proportions. Ici la couche de contact 130 est constituée d'un alliage d'indium, arsenic et antimoine. La couche de contact 130 présente une épaisseur h_3 inférieure au micromètre, de préférence inférieure à 500 nm. L'épaisseur h_3 est mesurée selon l'axe (Oz). La couche de contact 130 est destinée à polariser le dispositif de photo-détection 100. Pour cela, une pluralité de plots de contact électrique 140 s'étendent en contact physique direct avec la couche de contact 130, sur son côté opposé à la couche barrière 120. En fonctionnement, ces plots de contact électrique 140, en métal, sont connectés à une source de tension apte à fournir une tension de polarisation V_{pix} , ici une tension négative.
- [0047] En fonctionnement, l'absorption de photons dans la couche d'absorption 110 génère dans cette couche des porteurs minoritaires, chargés ici positivement, qui circulent jusqu'à la couche de contact 130 en traversant la couche barrière 120, et génèrent un signal électrique qui peut être mesuré via les plots de contact électrique 140. Des

porteurs majoritaires, chargés ici négativement, sont quant à eux empêchés de circuler depuis la couche d'absorption 110 jusqu'à la couche de contact 130, grâce à la couche barrière 120. Le dispositif de photo-détection 100 décrit ici est un dispositif de type « nBn », traduisant l'empilement d'une couche d'absorption dopée n, une couche barrière, et une couche de contact dopée n.

- [0048] La couche de contact 130 est recouverte d'une couche 150 en matériau électriquement isolant. La couche 150 s'étend directement sur la couche de contact 130, du côté opposé à la couche barrière 120, sauf aux emplacements des plots de contact électrique 140. La couche 150 est par exemple en dioxyde de silicium, ou tout autre oxyde par exemple de type SiO_x , HfO_x ou nitrure de type SiN_x . La couche 150 présente de préférence, en plus de sa fonction d'isolant électrique, une fonction de protection de la couche de contact 130. En d'autres termes, elle forme également une couche de passivation sur la couche de contact 130. La couche 150 présente une épaisseur h_5 comprise de préférence entre 10 nm et 300 nm. L'épaisseur h_5 est mesurée selon un axe (Oz) orthogonal au plan (xOy) de la couche 150.
- [0049] La couche 150 peut être déposée par n'importe quelle technique classique de dépôt ou de croissance de monocouche ou multicouche telle que l'oxydation et la nitruration thermique, le dépôt par pulvérisation cathodique ou faisceau d'ions, le dépôt par couche atomique, l'électrochimie, etc.
- [0050] Le dispositif de photo-détection 100 comporte également des bandes métalliques 160, qui s'étendent dans un plan (xOy) parallèle aux plans des couches 110, 120 et 130. Les bandes métalliques 160 s'étendent en contact physique direct avec la couche 150, du côté opposé à la couche de contact 130. Elles sont isolées électriquement des plots de contact électrique 140, espacées ici de ces derniers par un espace. Les bandes métalliques 160 sont formées par une ou plusieurs couches d'un métal, chaque couche pouvant être en or, titane, nickel, platine, ou un alliage d'au moins deux de ces métaux. Les bandes métalliques 160 sont connectées électriquement à une source de tension, non représentée, apte à fournir une tension de polarisation V_1 , ici une tension négative. V_1 est strictement supérieure à V_{pix} , en valeur absolue. La valeur absolue de V_1 est comprise de préférence entre 0,5 V et 5 V.
- [0051] Les bandes métalliques 160 sont avantageusement réalisées par ouverture localisée de la couche 150, par photolithographie et gravure. Les procédés classiques de gravure humide ou sèche peuvent être utilisés. Par exemple, dans le cas d'une couche 150 en SiO_2 , une gravure par plasma fluoré permet d'ouvrir la couche 150 sélectivement à la couche contact 130. Ensuite, on dépose une ou plusieurs couches de métaux, que l'on grave par photolithographie et gravure par abrasion ionique. Ces étapes sont avantageusement suivies par des étapes connues de prise de contact, hybridation sur circuit de lecture, et retrait d'un substrat de support, ici le substrat GaSb.

- [0052] L'empilement constitué par les bandes métalliques 160, et les portions des couches 150 et 130 situées au regard desdites bandes, forme une capacité MOS, référencée 16 sur la figure 1.
- [0053] On décrit dans la suite des profils d'énergie de la bande de valence et de la bande de conduction, selon différentes coupes dans le dispositif 100. Ces profils correspondent au dispositif 100 en fonctionnement, avec les bandes métalliques 160 polarisées par la tension V_1 , les plots de contact électrique 140 polarisés par la tension V_{pix} , et la couche d'absorption 110 reliée à la masse.
- [0054] La figure 2A illustre les profils d'énergie de la bande de valence (E_v) et de la bande de conduction (E_c), le long d'un axe AA' parallèle à l'axe (Oz) et passant par un plot de contact électrique 140.
- [0055] La figure 2B illustre les profils d'énergie de la bande de valence (E_v) et de la bande de conduction (E_c), le long d'un axe BB' parallèle à l'axe (Oz) et passant en dehors d'un plot de contact électrique 140 et en dehors d'une bande métallique 160.
- [0056] Les profils de la figure 2B se rapportent à la situation hors polarisation de la couche de contact 130. Comme détaillé ci-avant, le gap dans la couche d'absorption 110 prend la valeur ΔE_1 , tandis que le gap dans la couche barrière 120 prend la valeur ΔE_2 bien supérieure à ΔE_1 . Dans la couche de contact 130, le gap prend une troisième valeur ΔE_3 sensiblement égale à ΔE_1 , bien inférieure à ΔE_2 . Les profils d'énergie des bandes de valence et de conduction sont adaptés pour que la couche barrière puisse, lorsque la couche de contact 130 est polarisée, bloquer sélectivement le flux de porteurs majoritaires de la couche d'absorption et laisser passer le flux de porteurs minoritaires. Dans le cas d'un dispositif de type « nBn » tel que décrit ici, cela se traduit par une faible différence d'énergie au niveau des bandes de valences, entre la couche barrière d'une part et les couches d'absorption et de contact d'autre part, et une forte différence d'énergie au niveau des bandes de conduction, entre ces mêmes couches. En d'autres termes, la différence de gap entre lesdites couches se reporte majoritairement sur la bande de conduction. Ici, l'énergie de la bande de conduction présente une forme en créneau, avec une valeur haute dans la couche barrière et des valeurs basses dans les couches d'absorption et de contact. L'énergie de la bande de valence présente quant à elle une forme en créneau, avec une valeur basse dans la couche barrière et des valeurs légèrement supérieures dans les couches d'absorption et de contact.
- [0057] Les profils d'énergie illustrés en figure 2B permettent, lorsque la couche de contact 130 est légèrement polarisée, d'obtenir l'effet recherché de blocage sélectif des porteurs de charge au niveau de la couche barrière 120, comme illustré en figure 2A.
- [0058] La figure 2C illustre les profils d'énergie de la bande de valence (E_v) et de la bande de conduction (E_c), le long d'un axe CC' parallèle à l'axe (Oz) et passant par une bande métallique 160. Les profils de la figure 2C correspondent à ceux de la figure 2B,

sauf au niveau de la couche de contact 130. Dans la couche de contact 130, la capacité MOS formée par la couche de contact 130, la couche 150, et la bande métallique 160, forme une zone de déplétion. Cela se traduit par une forte augmentation de l'énergie moyenne des bandes de valence et de conduction, dans la couche de contact 130. Dans la couche de contact 130, l'énergie de la bande de conduction présente un gradient qui décroît le long de l'axe (Oz), au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la bande métallique 160. L'énergie sur la bande de valence présente le même profil que sur la bande de conduction. Ces profils d'énergie correspondent à la présence locale d'une barrière de potentiel, qui s'étend dans la couche de contact 130 au regard de la bande métallique 160.

[0059] Au niveau de l'interface entre la couche de contact 130 et la couche barrière 120, l'énergie sur la bande de conduction côté couche de contact 130 est inférieure à l'énergie sur la bande de conduction côté couche barrière 120. Ainsi l'apparition de la barrière de potentiel dans la couche de contact 130 ne perturbe pas le fonctionnement de la couche barrière en tant que barrière unipolaire.

[0060] La figure 2D illustre les profils d'énergie de la bande de valence (E_v) et de la bande de conduction (E_c), le long d'un axe DD' s'étendant à mi-hauteur dans la couche de contact 130, dans un plan parallèle au plan (xOy). La différence d'énergie entre la bande de valence et la bande de conduction est constante le long de l'axe DD' . Les profils d'énergie présentent chacun des bosses, situées dans des régions 130_1 de la couche de contact s'étendant chacune au regard d'une bande métallique. Les bosses dépassent largement relativement aux autres zones sur les profils d'énergie, ce qui correspond bien à la présence d'une barrière de potentiel qui s'étend dans la couche de contact 130, au regard des bandes métalliques 160.

[0061] Grâce à ces barrières de potentiel, les porteurs de charges, en particulier les porteurs majoritaires, sont empêchés de circuler dans la couche de contact 130, au travers des régions 130_1 situées au regard des bandes métalliques 160.

[0062] La figure 3 représente le dispositif 100, selon une vue de dessus. Comme illustré en figure 3, les bandes métalliques 160 s'étendent le long de lignes de séparation, sur la couche 150. Le projeté orthogonal de ces lignes de séparation, dans un plan (xOy) recevant la couche de contact 130, forme des lignes qui délimitent une série de zones dans la couche de contact 130, où chaque zone reçoit un et unique plot de contact électrique 140. Les bandes métalliques 160 délimitent ainsi une pluralité de pixels 10 dans le dispositif de photo-détection 100, où chaque pixel 10 comporte un et unique plot de contact électrique 140. Ici, les bandes métalliques 160 s'étendent plus particulièrement selon une grille, avec un plot de contact électrique 140 dans chaque trou de la grille. La grille est constituée de lignes qui s'étendent chacune en continu d'un bord à l'autre de la matrice de pixels.

- [0063] L'empilement comportant la couche d'absorption 110, la couche barrière 120 et la couche de contact 130 forme ainsi, grâce aux bandes métalliques 160 et à la couche 150 en matériau électriquement isolant, une matrice de pixels dans laquelle chaque pixel 10 comporte un photo-détecteur à barrière. Les bandes métalliques 160 et la couche 150 en matériau électriquement isolant forment ensemble des éléments de séparation, pour délimiter les pixels 10 de ladite matrice. Les éléments de séparation s'étendent ici directement sur la couche de contact, du côté opposé à la couche barrière. Ils forment des zones de déplétion qui s'étendent localement dans la couche de contact 130. Les niveaux d'énergie dans ces zones de déplétion forment des barrières de potentiel, qui s'étendent localement dans la couche de contact et empêchent des porteurs de charge majoritaires dans la couche de contact de circuler, dans la couche de contact, d'un pixel à l'autre de la matrice de pixels. La matrice de pixels est une matrice planaire, puisque la couche de contact 130 ne présente pas de tranchées entre les pixels.
- [0064] De préférence, la barrière de potentiel et la zone de déplétion associée s'étendent chacune selon toute l'épaisseur de la couche de contact. L'homme du métier saura dimensionner le dispositif selon l'invention de manière à obtenir cette caractéristique, notamment en ajustant l'épaisseur et la densité de dopage de la couche de contact 130.
- [0065] En particulier, dans le cas où la tension de polarisation V_1 est suffisamment élevée en valeur absolue pour atteindre le régime de forte inversion (soit une tension comprise généralement entre 500 mV et 5 V en valeur absolue), la distance maximale W_{Dm} de déplétion des porteurs majoritaires dans la couche de contact 130 est donnée par l'équation :
- [0066] [Math.1]
- $$W_{Dm} \approx \sqrt{\frac{4\epsilon_{sc} k T \ln\left(\frac{N_d}{n_i}\right)}{q^2 N_d}}$$
- [0067] où N_d est la densité de dopage dans la couche de contact 130, q est la charge électrique élémentaire, T est la température, k est la constante Boltzmann, ϵ_{sc} est la permittivité diélectrique du matériau de la couche de contact 130, et n_i est la densité intrinsèque de porteurs dans la couche de contact 130.
- [0068] On peut déduire de cette équation des valeurs d'épaisseur et de densité de dopage de la couche de contact 130, permettant que la zone de déplétion s'étende selon toute l'épaisseur de la couche de contact 130.
- [0069] La figure 4 illustre l'évolution W_{Dm} (axe des ordonnées, en nm) en fonction de la densité de dopage dans la couche de contact 130 (axe des abscisses, en cm^{-3} , en échelle logarithmique). La couche de contact 130 est ici en $\text{InAs}_{0,8}\text{Sb}_{0,2}$ dopé n, à une température de 150 K, avec une permittivité diélectrique ϵ_{sc} égale à 15, et une densité

intrinsèque de porteurs n_i égale à $10^{13}.\text{cm}^{-3}$. On voit qu'une couche de contact de 100 nm d'épaisseur peut être déplétée en porteurs majoritaires sur toute son épaisseur si son dopage est inférieur à $3.10^{16}.\text{cm}^{-3}$. On voit également qu'une couche de contact dont la densité de dopage est égale à $10^{15}.\text{cm}^{-3}$ conduit à une distance maximale de déplétion de 440 nm.

- [0070] De manière connue dans le domaine des capacités MOS, l'épaisseur et la permittivité de la couche 150 influencent la valeur minimale, en valeur absolue, de la tension de polarisation V_1 à appliquer aux bandes métalliques. Cette tension seuil dépend aussi de la densité de dopage de la couche de contact.
- [0071] Les bandes métalliques 160 et les plots de contact électrique 140 peuvent être constitués d'un même matériau.
- [0072] Les bandes métalliques 160 et les plots de contact électrique 140 peuvent être formés lors d'une même étape technologique de fabrication d'un dispositif selon l'invention, ce qui permet d'augmenter la vitesse de fabrication, et de s'affranchir du désalignement inhérent à l'utilisation de deux étapes technologiques. En variante, une première métallisation est utilisée pour former les plots de contact électrique 140, et une seconde métallisation est utilisée pour former les bandes métalliques 160. La première métallisation peut alors être réalisée avant le dépôt de la couche 150 formant également couche de passivation. Cela permet de réaliser une étape de guérison de l'interface entre la couche de contact et les plots de contact électrique 140, notamment pour améliorer le contact ohmique. L'absence de passivation à cette étape de guérison permet d'utiliser des procédés que ne supporterait pas la passivation, par exemple des traitements thermiques à haute température.
- [0073] La figure 5 illustre selon une vue en coupe dans le plan (yOz) d'un repère orthonormé (Oxyz), un dispositif de photo-détection 500 selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Le dispositif de photo-détection 500 ne sera décrit que pour ses différences relativement au dispositif 100 selon le premier mode de réalisation de l'invention. Ici, les éléments de séparation pour délimiter les pixels 10 sont formés plutôt par des bandes dopées 570, en matériau semi-conducteur. Les bandes dopées 570 présentent un type de dopage opposé à celui de la couche de contact 130, et s'étendent en contact physique direct avec la couche de contact 130 de manière à former avec elle une jonction planaire p-n (ou n-p). Ici, la couche de contact 130 est dopée n, et les bandes dopées 570 sont dopées p. Une couche de passivation 580 recouvre la couche de contact 130 et les bandes dopées 570, sauf aux emplacements des plots de contact électrique 140.
- [0074] L'empilement constitué par les bandes dopées 570 et les portions de la couche de contact 130 situées au regard desdites bandes comporte une zone de déplétion, qui s'étend à la fois dans les bandes dopées 570 et dans la couche de contact 130.

- [0075] Les figures 6A à 6D illustrent des profils d'énergie, selon différentes coupes dans le dispositif 500 de la figure 5. Ces profils correspondent au dispositif 100 en fonctionnement, avec les plots de contact électrique 140 polarisés par la tension V_{pix} et la couche d'absorption 110 reliée à la masse. De préférence, et comme c'est le cas ici, les bandes dopées 570 ne sont pas polarisées, et ne sont donc connectées à aucune source de tension. La déplétion est alors assurée uniquement par l'ajustement des épaisseurs et dopages de la couche de contact et des bandes dopées. Ainsi, il n'est pas nécessaire de recourir à un circuit spécifique gérant la polarisation des bandes dopées.
- [0076] Les figures 6A et 6B illustrent des profils d'énergie de la bande de valence (E_v) et de la bande conduction (E_c), respectivement le long d'un axe AA' et d'un axe BB' tous deux parallèles à l'axe (Oz) et passant respectivement par un plot de contact électrique 140 et entre un tel plot et une bande dopée 570. Les figures 6A et 6B sont respectivement identiques aux figures 2A et 2B.
- [0077] La figure 6C illustre les profils d'énergie de la bande de valence (E_v) et de la bande de conduction (E_c), le long d'un axe CC' parallèle à l'axe (Oz) et passant par une bande dopée 570. Les profils d'énergie de la figure 6C correspondent à ceux de la figure 6B, excepté au niveau de la couche de contact 130 et de la bande dopée 570. Dans l'ensemble 57 formé par la couche de contact 130 et de la bande dopée 570, la jonction p-n forme une zone de déplétion. Cela se traduit par une forte augmentation locale de l'énergie moyenne des bandes de valence et de conduction, dans cet ensemble 57. Dans cet ensemble 57, l'énergie de la bande de conduction présente un gradient centré sensiblement sur la jonction p-n entre la bande dopée 570 et la couche de contact 130, et décroissant le long de l'axe (Oz), au fur et à mesure que l'on se rapproche de la couche barrière 120. L'énergie sur la bande de valence présente le même profil que sur la bande de conduction. Ces profils d'énergie correspondent à la présence locale d'une barrière de potentiel, qui s'étend notamment dans la couche de contact 130 au regard de la bande dopée 570.
- [0078] Au niveau de l'interface entre la couche de contact 130 et la couche barrière 120, l'énergie sur la bande de conduction côté couche de contact 130 est inférieure à l'énergie sur la bande de conduction côté couche barrière 120. Ainsi l'apparition de la barrière de potentiel dans la couche de contact 130 ne perturbe pas le fonctionnement de la couche barrière en tant que barrière unipolaire.
- [0079] La figure 6D illustre les profils d'énergie de la bande de valence (E_v) et de la bande de conduction (E_c), le long d'un axe DD' s'étendant à mi-hauteur dans la couche de contact 130, dans un plan parallèle au plan (xOy). On obtient les mêmes profils qu'à la figure 2D, montrant la présence d'une barrière de potentiel qui s'étend dans la couche de contact 130, ici au regard des bandes dopées 570.
- [0080] Comme dans le premier mode de réalisation, ces barrières de potentiel empêchent les

porteurs de charges de circuler dans la couche de contact 130 au-travers des régions situées ici au regard des bandes dopées 570.

[0081] Comme les bandes métalliques du premier mode de réalisation, les bandes dopées 570 s'étendent le long de lignes de séparation, de manière à délimiter une pluralité de pixels 10 dans le dispositif de photo-détection 500, où chaque pixel 10 comporte un et unique plot de contact électrique 140.

[0082] De préférence, la barrière de potentiel et la zone de déplétion associée s'étendent chacune selon toute l'épaisseur de la couche de contact. L'homme du métier saura dimensionner le dispositif selon l'invention, de manière à obtenir cette caractéristique, notamment en ajustant les épaisseurs et densités de dopage de la couche de contact 130 et des bandes dopées 570.

[0083] En particulier, l'extension W_{ZCE} de la zone de déplétion est la somme de son extension W_{nZCE} dans la couche de contact et de son extension W_{pZCE} dans les bandes dopées, avec :

[0084] [Math.2]

$$W_{nZCE}N_d = W_{pZCE}N_a$$

[0085] où N_d est la densité de dopage dans la couche de contact 130 et N_a est la densité de dopage dans les bandes dopées 570. En outre, l'extension totale W_{ZCE} est donnée par :

[0086] [Math.3]

$$W_{ZCE} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_{sc}}{q} \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d} \right) (V_{BI} - V)}$$

[0087] où q est la charge électrique élémentaire, k est la constante Boltzmann, ε_{sc} est la permittivité diélectrique du matériau de la couche de contact 130, V est une tension de polarisation des bandes dopées, et V_{BI} est donné par l'équation :

[0088] [Math.4]

$$V_{BI} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_a.N_d}{n_i^2} \right)$$

[0089] avec T est la température et n_i est la densité intrinsèque de porteurs dans la couche de contact 130.

[0090] On peut déduire de ces équations des valeurs d'épaisseur et de densité de dopage de la couche de contact 130, et de densité de dopage des bandes dopées 570, pour que la zone de déplétion s'étende selon toute l'épaisseur de la couche de contact.

[0091] La figure 7 illustre l'évolution de W_{nZCE} (axe des ordonnées, en nm) en fonction de la densité de dopage dans la couche de contact 130 (axe des abscisses, en .cm^{-3} , en échelle logarithmique), et pour différentes valeurs de la densité de dopage dans les bandes dopées 570. La couche de contact 130 est ici en $\text{InAs}_{0,8}\text{Sb}_{0,2}$ dopé n, à une température de 150 K, avec une permittivité diélectrique ε_{sc} égale à 15, et une densité intrinsèque de porteurs n_i égale à $10^{13}.\text{cm}^{-3}$. Les courbes 71, 72, 73, 74 correspondent res-

pectivement à une densité de dopage dans les bandes dopées de $10^{15}.\text{cm}^{-3}$, $10^{16}.\text{cm}^{-3}$, $10^{17}.\text{cm}^{-3}$, et $10^{18}.\text{cm}^{-3}$. On observe par exemple qu'une couche de contact avec une densité de dopage inférieure ou égale à $10^{15}.\text{cm}^{-3}$ est totalement déplétée sur une épaisseur de 310 nm, 475 nm, 540 nm, 590 nm, respectivement pour une densité de dopage des bandes dopées de $10^{15}.\text{cm}^{-3}$, $10^{16}.\text{cm}^{-3}$, $10^{17}.\text{cm}^{-3}$, et $10^{18}.\text{cm}^{-3}$. Pour assurer la déplétion totale de la couche de contact, son épaisseur doit donc être inférieure à ces valeurs. En outre, l'épaisseur de la bande dopée doit être supérieure à W_{pZCE} pour permettre d'apporter tous les porteurs nécessaires à la formation de la zone de déplétion. On choisit par exemple une épaisseur de 200 nm et une densité de dopage N_d de $10^{15}.\text{cm}^{-3}$ pour la couche de contact, et une épaisseur de 20 nm et une densité de dopage N_a de $10^{17}.\text{cm}^{-3}$ pour les bandes dopées. Dans ces conditions, W_{nZCE} vaut 540 nm, soit une valeur bien supérieure à l'épaisseur de la couche de contact, ce qui permet que la zone de déplétion s'étende selon toute l'épaisseur de ladite couche de contact. En outre, W_{pZCE} vaut 5 nm, soit une valeur bien inférieure à l'épaisseur des bandes dopées.

- [0092] Dans ce deuxième mode de réalisation, les bandes dopées sont avantageusement réalisées par croissance puis gravure localisée d'une couche semi-conductrice dopée, ici dopée p. La gravure n'est pas critique. En effet, et comme montré ci-dessus, on peut dimensionner les épaisseurs de sorte que la couche de contact soit bien plus épaisse que les bandes dopées. On dispose ainsi d'une forte tolérance en profondeur pour la gravure, qui peut s'enfoncer légèrement dans la couche de contact sans nuire au bon fonctionnement du dispositif selon l'invention. La faible profondeur de la gravure facilite en outre une passivation des flancs de gravure. Par ailleurs, la gravure ne débouche pas sur une couche susceptible de s'oxyder.
- [0093] La figure 8A illustre le dispositif 500 de la figure 5, selon une vue de dessus. On voit que les bandes dopées 570 s'étendent selon une grille continue, constituée de lignes droites qui s'étendent chacune en continu d'un bord à l'autre de la matrice de pixels, et avec un plot de contact électrique 140 dans chaque trou de la grille. La présence d'un défaut local dans la jonction p-n, sous les bandes dopées 570 (croix blanche sur la figure 8A), peut générer une fuite de charges. Cette fuite de charges empêche la formation d'une zone de déplétion, dans un rayon déterminé autour du défaut (cercle en pointillés). Une pluralité de pixels autour du défaut, représentés hachurés sur la figure 8A, sont affectés par la fuite de charges.
- [0094] La figure 8B illustre, selon une vue de dessus, un dispositif de photo-détection 500' qui ne diffère de celui des figures 5 et 8A qu'en ce que les bandes dopées 570 forment des segments disjoints, qui s'étendent le long de lignes droites 571, d'un bord à l'autre de la matrice de pixels. Par disjoints, on entend espacés deux à deux, sans contact physique entre eux. En d'autres termes, les bandes dopées 570 s'étendent selon une

grille discontinue, avec un plot de contact électrique 140 dans chaque trou de la grille. Dans l'exemple illustré ici, les pixels de la matrice de pixels sont répartis selon un maillage carré, ou rectangulaire, et chaque plot de contact électrique 140 est encadré par quatre bandes dopées 570 distinctes disposées selon les quatre côtés d'un carré ou d'un rectangle.

[0095] L'espace d_s , entre deux bandes dopées 570 voisines dont les axes d'allongement respectifs sont alignés sur une même ligne droite, est inférieur ou égal à deux fois l'étendue latérale de la zone de déplétion dans la couche de contact. On s'assure ainsi d'avoir, dans la couche de contact, des zones de déplétion qui s'étendent continuellement d'un bord à l'autre de la matrice de pixels. L'étendue latérale d'une zone de déplétion est son étendue à compter d'une extrémité voisine de la bande dopée associée, mesurée dans un plan parallèle au plan (x0y). De préférence, l'étendue latérale d'une zone de déplétion, dans la couche de contact, est égale à son étendue dans le sens de la profondeur dans cette même couche de contact.

[0096] L'invention couvre aussi des variantes du premier mode de réalisation de l'invention, dans lesquelles les bandes métalliques formant des capacités MOS s'étendent selon une grille discontinue. Là encore, il s'agit de limiter un nombre de pixels affectés par une fuite de charges due à un défaut local dans la capacité MOS. Les bandes métalliques disjointes doivent alors être polarisées chacune individuellement, alors qu'un unique point de contact électrique suffit pour polariser les bandes métalliques lorsqu'elles sont agencées selon une grille continue. En complément ou en variante, on limite l'effet d'une fuite de charges en augmentant la tension de polarisation des bandes métalliques, en valeur absolue.

[0097] L'invention n'est pas limitée aux exemples décrits ci-dessus, et couvre également de nombreuses variantes, par exemple avec d'autres maillages de répartition des pixels, ou avec un gradient de gap dans la couche d'absorption et/ou dans la couche de contact (qui n'empêche pas le fonctionnement de la couche barrière en tant que barrière unipolaire). On a décrit ici un dispositif de type « nBn », mais l'invention couvre aussi les variantes de type « pBn », « pBp » et « nBp », correspondant à d'autres types de dopage pour la couche de contact et/ou la couche barrière, et avec une couche barrière dopée n ou p. Selon les types de dopage, la barrière unipolaire est formée par une différence de gap qui se reporte plutôt sur la bande de valence ou sur la bande de conduction. Dans le deuxième mode de réalisation, le dopage des bandes dopées est adapté pour qu'elles forment toujours une jonction p-n ou n-p avec la couche de contact. De même, l'invention n'est pas limitée aux matériaux semi-conducteurs mentionnés en exemple, pour la couche d'absorption, la couche barrière et la couche de contact, et couvre l'ensemble des matériaux semi-conducteurs propices à la photo-détection infrarouge : Si, Ge, AsGa, InP, InSb, InAs, GaSb, AlSb, InGaAs, InAsSb,

super réseaux de type II InAs/GaSb, HgCdTe, etc. En tout état de cause, la couche d'absorption, la couche barrière et la couche de contact sont avantageusement constituées chacune d'un matériau semi-conducteur III-V. L'homme du métier saura également mettre en œuvre différents dimensionnements de la couche de contact et des éléments de séparation selon l'invention, en utilisant des équations classiques des semi-conducteurs et/ou des capacités MOS. En tout état de cause, la pixellisation selon l'invention est assurée en maîtrisant simplement des valeurs de densité de dopage et d'épaisseur, définies à des étapes d'épitaxie. Cela permet d'assurer la pixellisation avec une très grande homogénéité, sur l'ensemble de la matrice de pixels et d'une matrice de pixels à l'autre. Selon d'autres variantes encore, les capacités MOS pour délimiter les pixels de la matrice de pixels ne sont pas polarisées.

- [0098] L'invention est particulièrement avantageuse dans le cadre d'un dispositif de photo-détection dans lequel la couche barrière est constituée d'un matériau susceptible de s'oxyder à l'air libre, par exemple un matériau comprenant de l'aluminium, et plus particulièrement un alliage III-V contenant de l'aluminium tel que l'AlAsSb.
- [0099] L'invention couvre avantageusement des dispositifs de photo-détection sensibles dans l'infrarouge, sur des plages de longueur d'onde comprises entre 0,8 μm et 20 μm , plus préférentiellement entre 2,5 μm et 5 μm . L'invention concerne plus particulièrement des détecteurs infrarouge quantiques fonctionnant entre 150K et 200K.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif de photo-détection (100 ; 500 ; 500') comportant une matrice de pixels, où chaque pixel (10) comprend un photo-détecteur à barrière, et où ladite matrice de pixels comporte :
- une couche d'absorption (110), une couche barrière (120) , et une couche de contact (130), agencées superposées avec la couche barrière (120) située entre la couche d'absorption (110) et la couche de contact (130), où la couche barrière (120) est apte à former une barrière de potentiel bloquant la circulation de porteurs majoritaires entre la couche d'absorption (110) et la couche de contact (130) et autorisant la circulation de porteurs minoritaires depuis la couche d'absorption (110) vers la couche de contact (130) ; et
 - au moins un élément de séparation (150, 160 ; 570), pour délimiter les pixels de ladite matrice de pixels ;
- caractérisé en ce que l'au moins un élément de séparation (150, 160 ; 570) s'étend au-dessus de la couche de contact (130), du côté opposé à la couche barrière, et en ce que l'au moins un élément de séparation (150, 160 ; 570) est apte à former au moins une zone de déplétion qui s'étend dans la couche de contact (130) et forme une barrière de potentiel bloquant la circulation de porteurs de charges d'un pixel (10) à l'autre de la matrice de pixels.
- [Revendication 2] Dispositif (100 ; 500 ; 500') selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est configuré pour qu'en fonctionnement, l'au moins une zone de déplétion s'étende sur toute l'épaisseur (h3) de la couche de contact (130).
- [Revendication 3] Dispositif (100) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'au moins un élément de séparation comprend une pluralité de bandes métalliques (160), agencées le long de lignes de séparation entre les pixels (10), et au moins une couche (150) en matériau électriquement isolant située entre la couche de contact (130) et lesdites bandes métalliques (160), de manière à former au moins une capacité Métal-Oxyde-Semiconducteur (16) qui s'étend le long desdites lignes de séparation entre les pixels.
- [Revendication 4] Dispositif (100) selon la revendication 3, caractérisé en ce que les bandes métalliques (160) sont électriquement connectées à une source de tension configurée pour fournir une tension de polarisation (V1) non nulle.

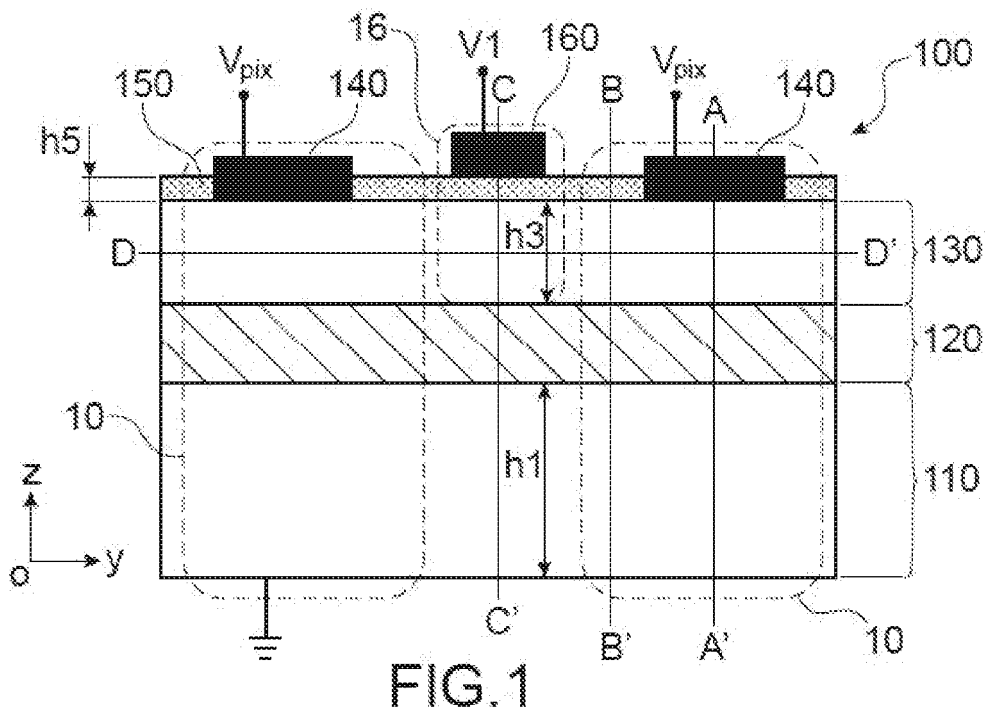
- [Revendication 5] Dispositif (100) selon la revendication 4, caractérisé en ce que la source de tension est configurée pour fournir une tension de polarisation (V1) supérieure ou égale à 500 mV en valeur absolue.
- [Revendication 6] Dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que chaque pixel (10) de la matrice de pixels comporte en outre un plot de contact électrique (140), situé directement sur la couche de contact (130) du côté opposé à la couche barrière, et en ce que les bandes métalliques (160) sont constituées d'un même matériau que lesdits plots de contact électrique (140).
- [Revendication 7] Dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que chaque pixel (10) de la matrice de pixels comporte en outre un plot de contact électrique (140), situé directement sur la couche de contact (130) du côté opposé à la couche barrière, et en ce que l'au moins une couche (150) en matériau électriquement isolant recouvre l'intégralité de la couche de contact (130) excepté aux emplacements desdits plots de contact électrique (140).
- [Revendication 8] Dispositif (500 ; 500') selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'au moins un élément de séparation comporte des bandes dopées (570) en matériau semi-conducteur, situées chacune directement sur la couche de contact (130) du côté opposé à la couche barrière, et présentant chacune un dopage n ou p de manière à former une jonction p-n ou n-p avec la couche de contact.
- [Revendication 9] Dispositif (500 ; 500') selon la revendication 8, caractérisé en ce que les bandes dopées (570) ne sont pas connectées à une source de tension pour polariser ces dernières.
- [Revendication 10] Dispositif (500 ; 500') selon la revendication 8 ou 9, caractérisé en ce que l'épaisseur des bandes dopées (570) est inférieure ou égale à 15 nm, où l'épaisseur est mesurée selon un axe orthogonal au plan de la matrice de pixels.
- [Revendication 11] Dispositif (100 ; 500) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que l'au moins un élément de séparation a la forme d'une grille continue.
- [Revendication 12] Dispositif (500') selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que l'au moins un élément de séparation a la forme d'une grille discontinue, constituée d'une pluralité d'éléments de séparation (570) disjoints.
- [Revendication 13] Dispositif (500') selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'une distance (d_s), entre deux éléments de séparation (570) répartis le long

d'une même ligne droite (571) reliant deux bords opposés de la matrice de pixels, est inférieure ou égale à deux fois une étendue de la zone de déplétion dans la couche de contact (130) et dans le sens de la profondeur.

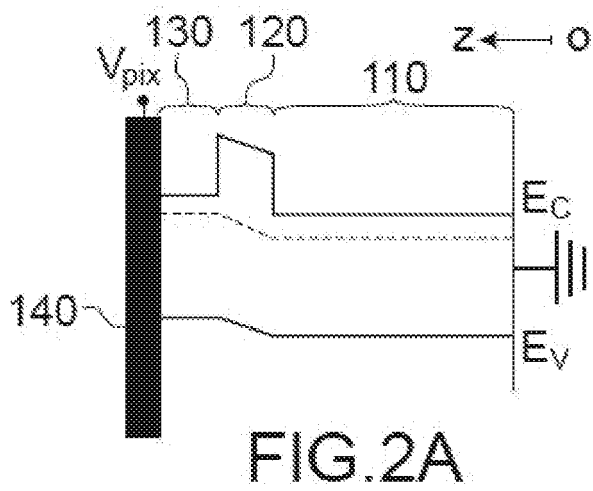
[Revendication 14] Dispositif (500') selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce que les pixels de la matrice de pixels sont agencés selon un maillage carré ou rectangulaire, et en ce que chaque pixel (10) est encadré par quatre éléments de séparation disjoints.

[Revendication 15] Dispositif (100 ; 500 ; 500') selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que les photo-détecteurs à barrière sont de type nBn , avec la couche d'absorption (110) dopée n et la couche de contact (130) dopée n .

[Fig. 1]



[Fig. 2A]



[Fig. 2B]

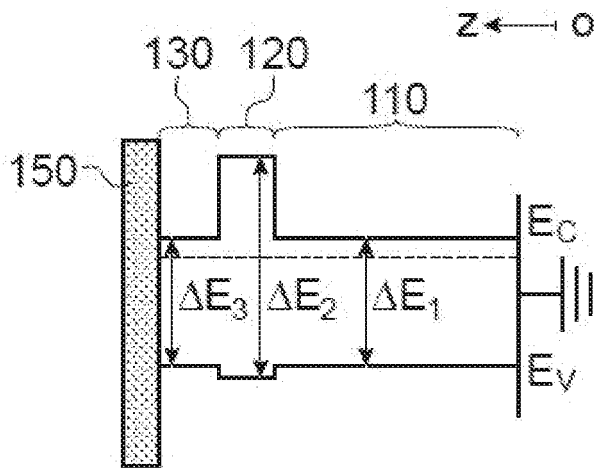


FIG.2B

[Fig. 2C]

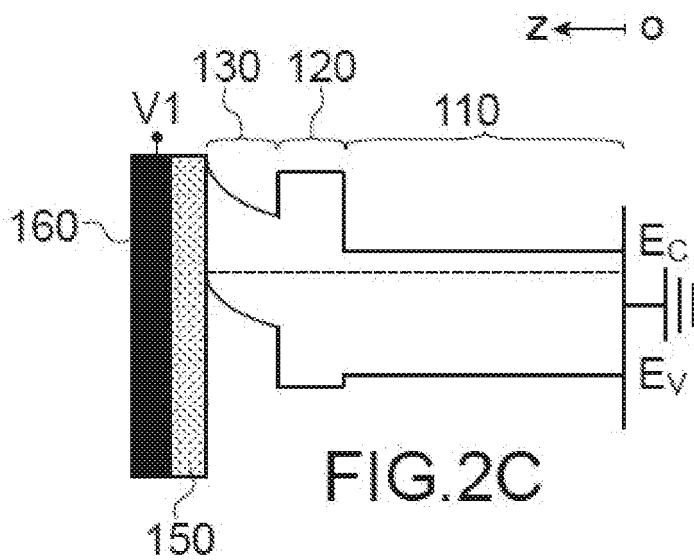


FIG.2C

[Fig. 2D]

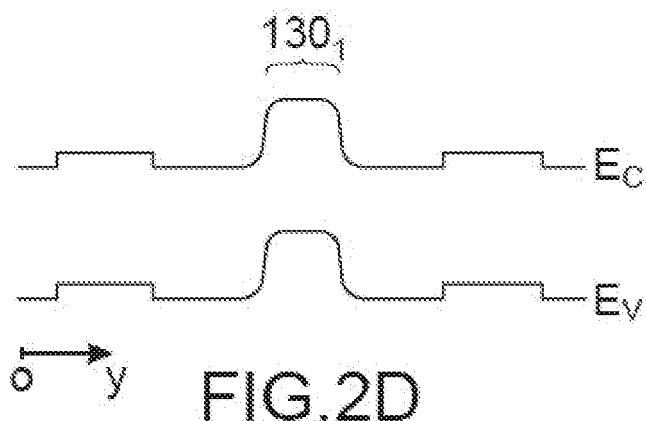


FIG.2D

[Fig. 3]

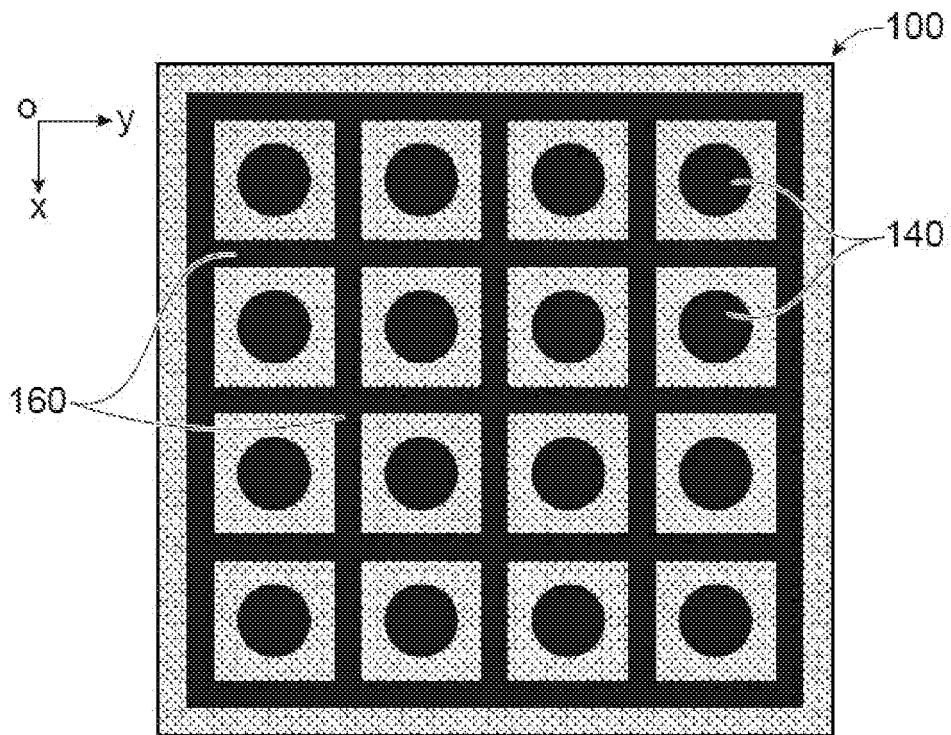


FIG.3

[Fig. 4]

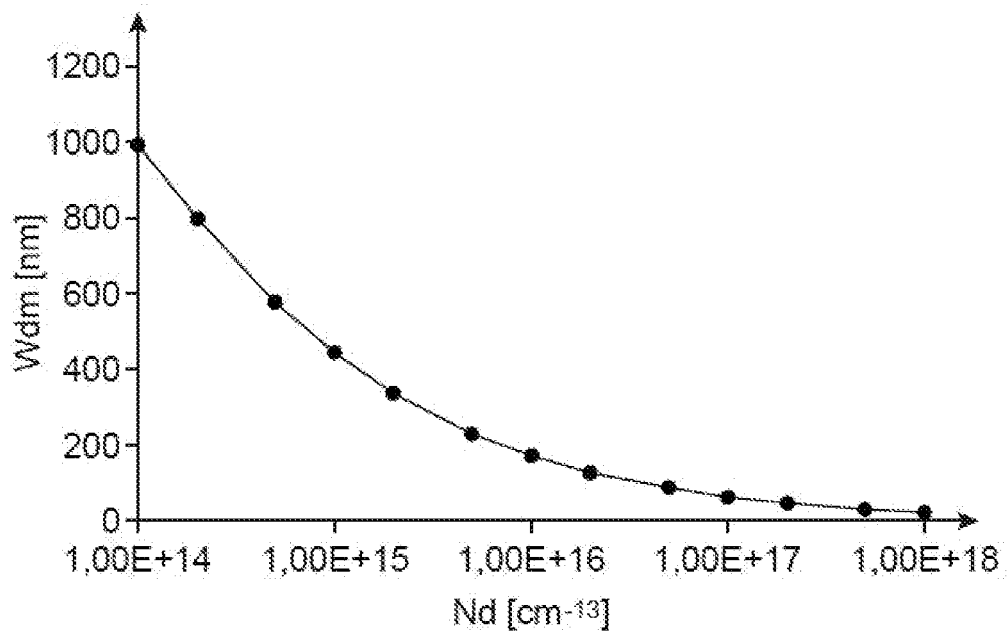


FIG.4

[Fig. 5]

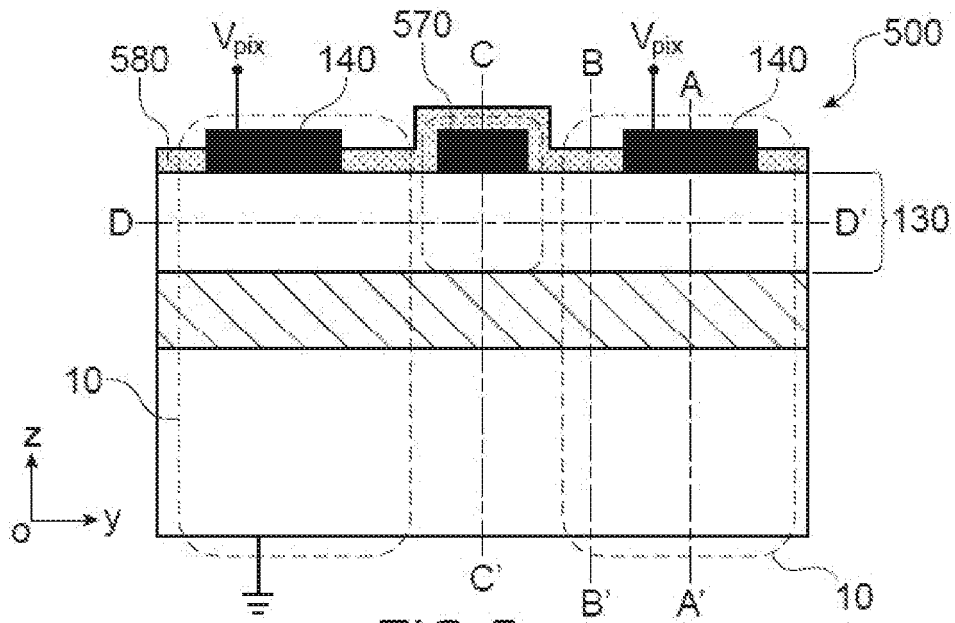


FIG. 5

[Fig. 6A]

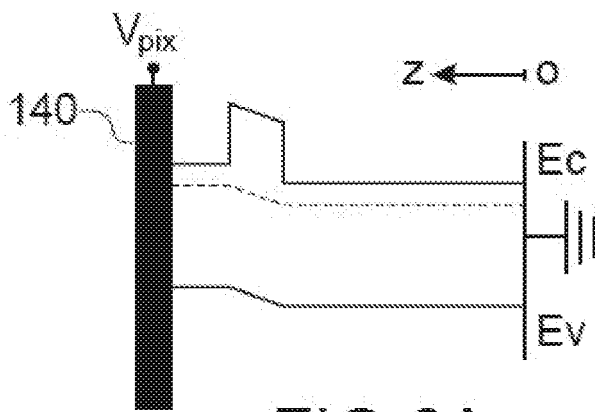


FIG. 6A

[Fig. 6B]

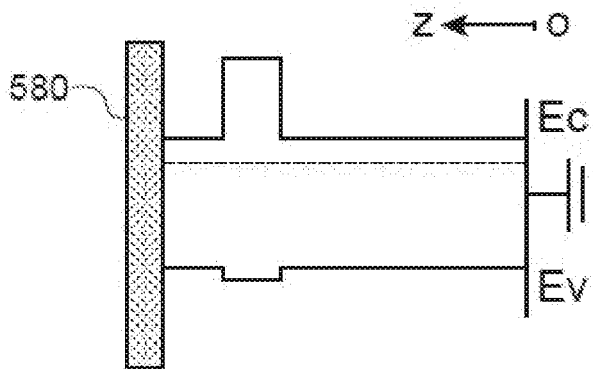


FIG.6B

[Fig. 6C]

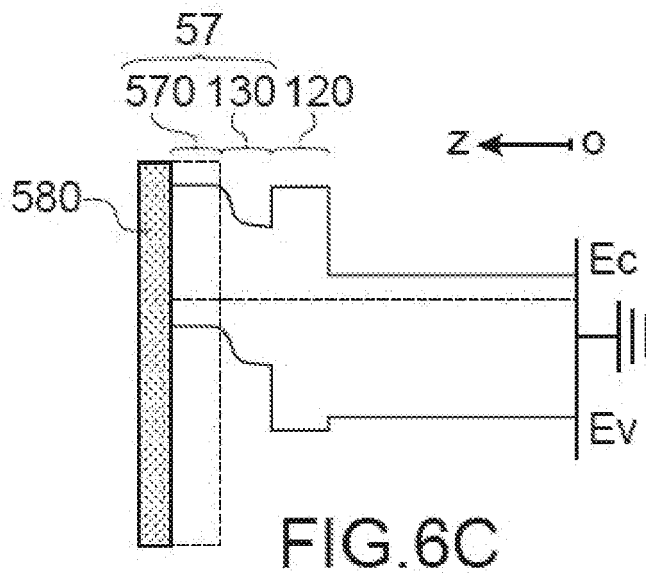


FIG.6C

[Fig. 6D]

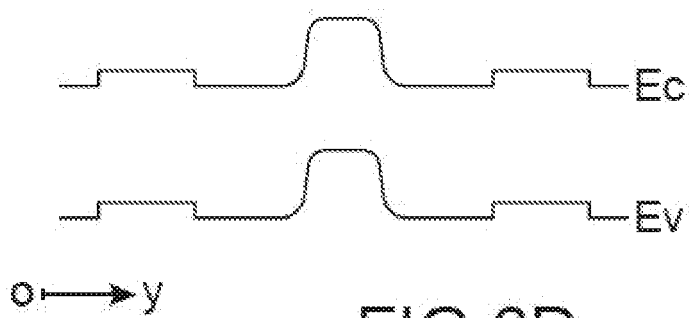


FIG.6D

[Fig. 7]

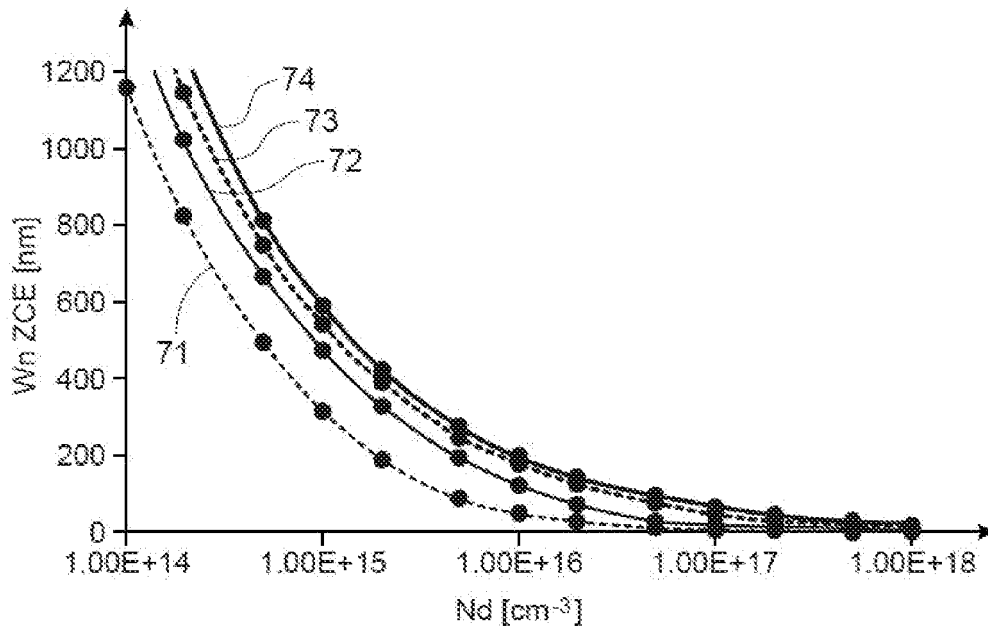


FIG. 7

[Fig. 8A]

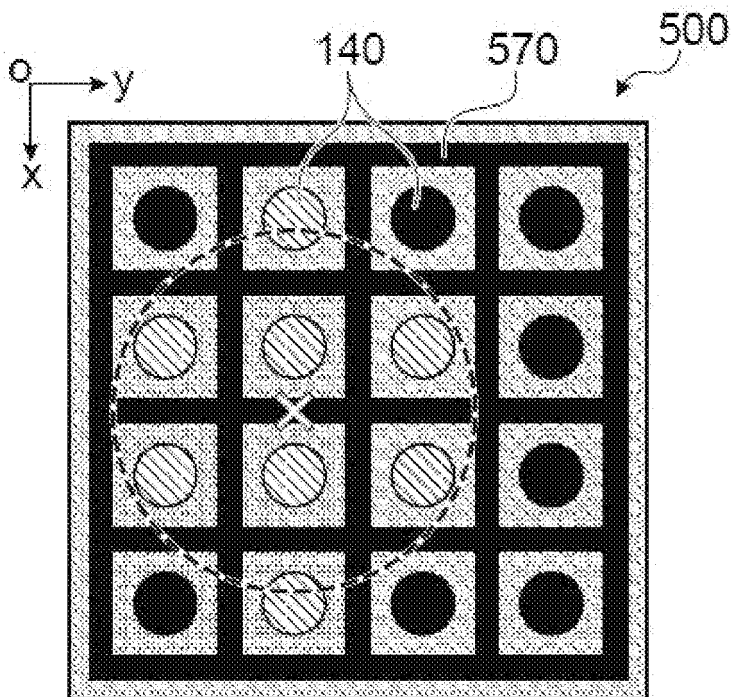


FIG. 8A

[Fig. 8B]

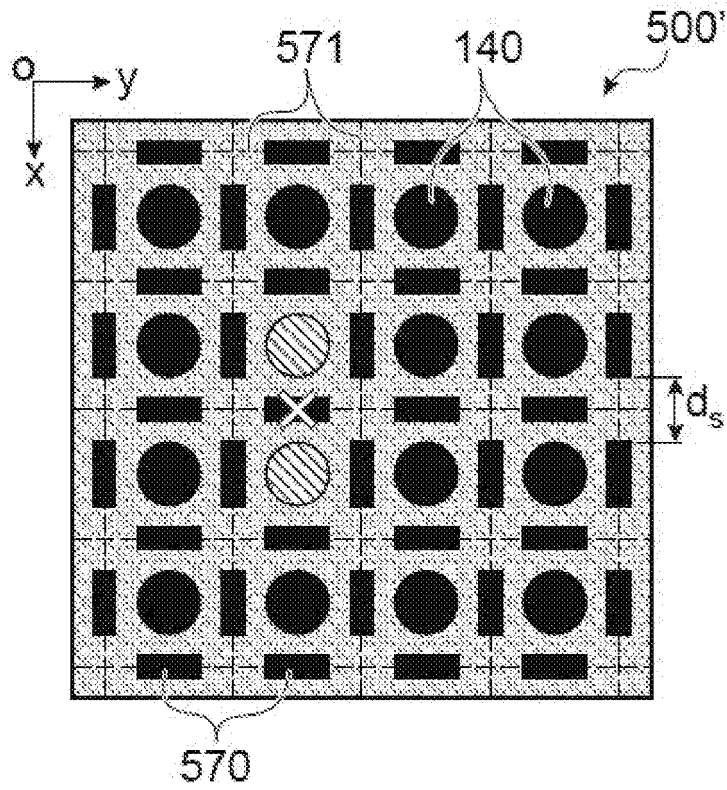


FIG. 8B

**RAPPORT DE RECHERCHE
 PRÉLIMINAIRE**

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

 N° d'enregistrement
 national

 FA 865003
 FR 1901220

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	EP 3 089 223 A1 (SEMI CONDUCTOR DEVICE AN ELBIT SYSTEM RAFAEL PARTNERSHIP [IL]) 2 novembre 2016 (2016-11-02)	1	H01L31/0248
A	* alinéas [0080], [0097] - [0103], [0148] - [0150]; figures 3A-3C, 6B, 7A-7B, 8A.8C *	2-15	
A	----- EP 3 407 392 A1 (SONY CORP [JP]) 28 novembre 2018 (2018-11-28) * figures 5-15 *	1-15	
A	----- US 2010/258894 A1 (INADA HIROSHI [JP]) 14 octobre 2010 (2010-10-14) * alinéa [0022]; figures 1-3 *	1-15	
A	----- US 2008/111152 A1 (SCOTT JEFFREY W [US] ET AL) 15 mai 2008 (2008-05-15) * figures 8-17 *	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
4 novembre 2019		Cabrita, Ana	
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	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
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 1901220 FA 865003**

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 **04-11-2019**

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
EP 3089223	A1	02-11-2016	EP 3089223 A1	02-11-2016
			IL 238368 A	29-08-2019
			US 2016307956 A1	20-10-2016
			US 2017179185 A1	22-06-2017

EP 3407392	A1	28-11-2018	CN 108369967 A	03-08-2018
			EP 3407392 A1	28-11-2018
			JP W02017126204 A1	15-11-2018
			US 2019019830 A1	17-01-2019
			WO 2017126204 A1	27-07-2017

US 2010258894	A1	14-10-2010	AUCUN	

US 2008111152	A1	15-05-2008	EP 2087517 A1	12-08-2009
			US 2008111152 A1	15-05-2008
			US 2011233709 A1	29-09-2011
			US 2012001288 A1	05-01-2012
			US 2012306039 A1	06-12-2012
			WO 2008061141 A1	22-05-2008
