



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

①① N° de publication : **3 044 468**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **15 61487**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **H 01 L 31/0352 (2017.01), H 01 L 27/146**

①②

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤④ DISPOSITIF DE PHOTO-DETECTION A REVETEMENT COMPORTANT DES TRANCHEES A REVETEMENT DE GRANDE BANDE INTERDITE ET PROCEDE DE FABRICATION.

②② Date de dépôt : 27.11.15.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 02.06.17 Bulletin 17/22.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 06.07.18 Bulletin 18/27.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥① Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE  
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES —  
FR.

⑦② Inventeur(s) : ROTHMAN JOHAN et ROCHETTE  
FLORENT.

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

⑦④ Mandataire(s) : BREVALEX Société à responsabilité  
limitée.

**FR 3 044 468 - B1**



## DISPOSITIF DE PHOTO-DÉTECTION À REVÊTEMENT COMPORTANT DES TRANCHÉES À REVÊTEMENT DE GRANDE BANDE INTERDITE ET PROCÉDÉ DE FABRICATION

### DESCRIPTION

#### DOMAINE TECHNIQUE

Le domaine de l'invention est celui des photo-détecteurs comprenant  
5 un réseau de diodes, tel qu'un réseau matriciel, fabriquées sur un substrat semi-  
conducteur. L'invention a trait plus précisément aux diodes de type p/n ou n/p qui  
peuvent être utilisées pour des imageurs dans le visible ou dans l'infrarouge.

#### ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Dans de nombreuses applications de photo-détection, des diodes sont  
10 agencées en matrices de diodes sur un substrat. Dans une matrice, les diodes sont  
agencées en lignes et en colonnes. Une matrice de diode peut être utilisée pour  
permettre une détection d'un rayonnement électromagnétique. Il peut en effet se former  
des paires électrons-trous par interaction entre le rayonnement électromagnétique et le  
substrat. Cela permet l'apparition d'un courant proportionnel à une intensité du  
15 rayonnement incident. Chaque diode forme alors un pixel d'un photo-détecteur.

En venant coupler la matrice de diodes avec un circuit électronique de  
lecture, il est ainsi possible de capter la variation spatio-temporelle de l'intensité de  
lumière sur le photo-détecteur. La sensibilité d'un tel photo-détecteur est donnée par sa  
capacité à traduire des faibles variations spatiales ou temporelles de l'intensité de  
20 lumière en un signal comparé utilisable malgré des variations aléatoires (bruit) résultant  
de phénomènes thermiques et électriques dans les diodes et dans le circuit de lecture.

Une telle matrice de diodes est illustrée sur les figures 1a et 1b qui  
représentent respectivement une vue de dessus et une vue en coupe le long d'une ligne  
de la matrice. Une diode est formée dans un substrat présentant une couche  
25 d'absorption 1 en un matériau semi-conducteur avec une largeur de bande interdite et

caractérisé par un type de conductivité. La diode comprend une région de collection 2 de type de conductivité opposé, formant ainsi une jonction p-n.

Comme illustré sur la figure 1b, chaque région de collection est en contact avec un plot métallique 3 formant un contact diode. Une région métallique 4, formée en périphérie de la matrice, est en contact avec le substrat, et forme un contact substrat. Les deux régions de type de conductivité opposé 1, 2 sont protégées d'une dégradation de leurs propriétés chimiques, mécaniques et électroniques au moyen d'une couche de passivation 5 recouvrant la surface du substrat à l'exception des zones de contact diode et de contact substrat.

Dans la région à proximité de l'interface des deux régions de type de conductivité opposé 1, 2 se forme une zone dite de charge espace (ZCE). Cette zone est caractérisée par la présence d'une barrière d'énergie pour les porteurs majoritaires de chaque côté de la jonction. Les photons arrivant dans la couche d'absorption 1 du substrat semi-conducteur peuvent céder leur énergie à un électron. Si l'électron transite entre la bande de valence et la bande de conduction et se déplace jusqu'à la zone de charge d'espace, la charge va être collectée par la région de collection 2. Les charges ainsi collectées peuvent être transférées à un circuit électronique, appelé circuit de lecture, connecté à chaque diode pour disposer d'un signal utilisable. L'extraction de charge est compensée par un appel de charge par le contact substrat qui est, dans le cas généralement utilisé dans l'état de l'art, commun pour l'ensemble des diodes.

Lors de la détection d'un grand flux de photons, chaque diode débite un grand flux de charge, i.e. courant électrique, proportionnel au flux de photon arrivant à proximité de la diode. Les courants de toutes les diodes sont additionnés à travers le substrat jusqu'au contact substrat. En présence d'une résistance électrique dans le substrat, le courant dans celui-ci peut fortement influencer le fonctionnement des diodes.

Cette résistance électrique peut ainsi induire une variation de la polarisation qui altère le fonctionnement des diodes. Dans le cas extrême, elle peut entraîner une annulation du transfert des charges entre les diodes et le circuit de lecture par une diminution de la barrière de potentiel dans les jonctions. Ce phénomène est

d'autant plus important que le nombre de diodes et le flux de photons sur la matrice sont importants.

Cette résistance électrique peut par ailleurs fortement ralentir le transfert des charges dans le circuit de lecture, même en présence d'un flux faible, du fait d'un effet RC collectif.

Par ailleurs, le contrôle de l'état de l'interface entre la couche de passivation 5 et les régions semi-conductrices 1, 2 est crucial pour obtenir une sensibilité maximale. Ceci est dû aux défauts qui peuvent être présent à l'interface, mais aussi à des états dans la passivation qui agissent comme des pièges pour les charges. Les défauts à l'interface peuvent ainsi agir comme des centres de génération/recombinaison des porteurs qui diminuent le signal photonique et augmentent la contribution du courant d'origine thermique ou électrique généré dans le substrat et/ou dans la jonction. Les états pièges dans la passivation sont quant à eux susceptibles de faire varier temporellement la densité de charge locale à proximité de chaque piège. Ces fluctuations peuvent à leur tour générer des fluctuations sur le courant photonique et sur les différents courants d'obscurité.

Une autre source de variation temporelle de la performance des diodes correspond à des défauts présents dans les matériaux, tels que des dislocations ou des complexes d'atomes qui génèrent des états d'énergie dans la bande interdite. L'influence de ces défauts dépend de leur emplacement et de leur environnement électrique. La présence de ces défauts n'est pas nécessairement rédhibitoire, mais une modulation de leur emplacement et/ou leur environnement électrique est fortement susceptible de moduler la performance des diodes en induisant des variations de sensibilité et/ou une augmentation du nombre de diodes en défaut. En particulier, l'influence délétère de ces défauts augmente significativement lorsque la température de fonctionnement du photo-détecteur augmente. Par exemple, la gamme de température accessible pour des photo-détecteurs fonctionnant dans l'infra-rouge est aujourd'hui limitée à environ 160K. Au-delà de cette température, la défektivité devient rédhibitoire pour le bon fonctionnement d'un photo-détecteur haute performance.

Une autre caractéristique importante pour la performance d'un photo-détecteur est la capacité de collecter les photo-porteurs générés dans un pixel dans le même pixel, sans induire un signal sur les pixels voisins (problème de diaphonie électro-optique). Cette caractéristique, mesurée par la fonction d'étalement d'un point (PSF), est cruciale pour réaliser des imageurs avec une taille et un pas de pixel réduits. Dans un imageur réalisé selon l'état de l'art, les charges sont collectées par diffusion (marche aléatoire) et la PSF est dégradée quand le pas de pixel se rapproche de l'épaisseur de la couche d'absorption.

Une technique permettant de réduire cette diaphonie consiste à assurer une séparation physique des pixels en venant graver des tranchées autour des pixels. Chaque pixel forme dans ce cas un méso. On connaît en particulier de la demande de brevet WO 2005/101512 A2 une gravure de tranchées dans une couche collectrice qui repose sur une couche d'absorption, les tranchées s'étendant jusqu'à la couche d'absorption et les flancs des tranchées présentant un type de conductivité opposé au type de conductivité de la couche conductrice pour en contrôler les propriétés électriques. Le réseau de pixels est cependant sensible à la présence d'une métallisation et/ou aux défauts présents à la surface, et peut donc avoir des défauts en bruit (fluctuants).

## **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

L'invention a pour objectif d'améliorer la sensibilité d'un photo-détecteur par stabilisation de la performance des diodes, notamment via une réduction des fluctuations spatiales et/ou d'états électriques des défauts présents dans les matériaux et une suppression de la diaphonie électro-optique entre diodes.

A cet effet, l'invention propose un dispositif de photo-détection à réseau de diodes, dans lequel chaque diode du réseau comporte une région d'absorption qui présente une première énergie de bande interdite et une région de collection qui présente un premier type de dopage. Les diodes adjacentes dans le réseau sont séparées par une tranchée comportant des flancs et un fond. Une couche de stabilisation est présente sur le fond et les flancs d'une tranchée. La couche de stabilisation présente un

deuxième type de dopage opposé au premier type de dopage et une énergie de bande interdite supérieure à la première énergie de bande interdite des régions d'absorption.

Certains aspects préférés mais non limitatifs de ce dispositif sont les suivants :

- 5           - le deuxième type de dopage est un dopage de type P ;
- une tranchée sépare les régions d'absorption des diodes adjacentes et est dénué de contact avec les régions de collection des diodes adjacentes ;
- les régions d'absorption des diodes reposent sur une couche intermédiaire qui présente un même type et un même niveau de dopage que les régions d'absorption
- 10           et une énergie de bande interdite supérieure à la première énergie de bande interdite des régions d'absorption ;
- la couche de stabilisation d'une tranchée s'étend à travers une partie au moins de la couche intermédiaire ;
- il comporte en outre une couche de passivation qui recouvre chaque diode à
- 15           l'exception de régions de contact d'un plot électriquement conducteur avec une région de collection d'une diode ;
- la couche de stabilisation s'étend depuis les flancs de la tranchée sur une distance donnée en-dessous de la couche de passivation ;
- chaque diode comprend en outre une région localisée au-dessus de la région
- 20           d'absorption qui présente un même type de dopage que la région d'absorption et une énergie de bande interdite supérieure à celle de la région d'absorption ;
- la région d'absorption d'une diode présente un niveau de dopage inférieur à  $5.10^{16}$  at/cm<sup>3</sup> ;
- la couche de stabilisation d'une tranchée est recouverte d'une couche de
- 25           métallisation.

L'invention porte également sur un procédé de fabrication d'un dispositif de photo-détection comportant un réseau de diodes, dans lequel chaque diode du réseau comporte une région d'absorption qui présente une première énergie de bande interdite et une région de collection qui présente un premier type de dopage, le

30           procédé comprenant la formation de tranchées séparant les diodes adjacentes dans le

réseau, les tranchées comportant des flancs et un fond. Le procédé comprend une étape consistant à former une couche de stabilisation sur le fond et les flancs d'une tranchée, la couche de stabilisation présentant un deuxième type de dopage opposé au premier type de dopage et une énergie de bande interdite supérieure à la première énergie de bande interdite des régions d'absorption. L'étape consistant à former la couche de stabilisation peut notamment comprendre la transformation du fond et des flancs d'une tranchée par implantation et diffusion d'une impureté.

### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

10 D'autres aspects, buts, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante de formes de réalisation préférées de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels, outre les figures 1a et 1b déjà commentées :

- 15 - les figures 2a et 2b sont respectivement une vue en coupe et de dessus le long d'une ligne de diodes d'une matrice de diodes conforme à l'invention ;
- les figures 3 et 4 illustrent des variantes de réalisation de l'invention ;
- les figures 5a-5e illustrent une réalisation possible d'un procédé de fabrication d'un dispositif de photo-détection conforme à l'invention.

### 20 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

En référence aux figures 2a et 2b, l'invention porte sur un dispositif de photodétection comportant un substrat 10 transparent à la lumière dans la gamme spectrale de détection du dispositif et un réseau de diodes. Chaque diode comprend une région d'absorption 20 qui présente une énergie de bande interdite adaptée pour la gamme spectrale de détection. Chaque diode comprend par ailleurs, dans la région d'absorption 20, une région de collection 30 qui présente un premier type de dopage, par exemple un dopage de type N, avec un niveau de dopage typiquement supérieur à  $5 \times 10^{16}$  at/cm<sup>3</sup>.

Les régions d'absorption 20 sont par exemple issues d'une couche d'absorption, par exemple en CdHgTe. Une telle couche peut notamment avoir été formée par épitaxie sur un substrat 10 de CdZnTe. Sa composition en cadmium peut être comprise entre 20 et 40%. Son épaisseur est par exemple comprise entre 2 et 6  $\mu\text{m}$ .

5 Les régions d'absorption 20 sont de préférence de type N. Mais elles peuvent également être de type P. Leur niveau de dopage est par exemple compris entre  $1 \times 10^{14}$  et  $5 \times 10^{16}$  at/cm<sup>3</sup>.

10 Dans un mode de réalisation possible, les régions d'absorption 20 des diodes reposent sur une couche intermédiaire 40 elle aussi formée par épitaxie en surface du substrat 10. La couche intermédiaire 40 présente un même type et un même niveau de dopage que les régions d'absorption 20 et une énergie de bande interdite supérieure à celle des régions d'absorption, obtenue typiquement au moyen d'une composition en cadmium supérieure à celle des régions d'absorption. La composition en cadmium de la couche intermédiaire 40 peut être constante ou suivre un gradient de composition selon  
15 lequel la composition en cadmium diminue jusqu'à atteindre les régions d'absorption 20. L'épaisseur de la couche intermédiaire 40 est par exemple comprise entre 1 et 2  $\mu\text{m}$ .

Toujours en référence aux figures 2a et 2b, dans le réseau de diodes, les diodes adjacentes sont séparées par une tranchée 50 qui comporte des flancs et un fond reliant les flancs. Les tranchées définissent ainsi des pixels en forme de méso. Elles  
20 forment un quadrillage (dans le cas d'un réseau matriciel, un quadrillage en lignes et colonnes qui s'étendent jusqu'à la périphérie de la matrice) venant séparer chacune des diodes adjacentes. Comme représenté sur la figure 2a, une tranchée 50 sépare les régions d'absorption 20 de diodes adjacentes et est dénué de contact avec les régions de collection 30 des diodes adjacentes.

25 Dans le cadre de l'invention, on retrouve une couche de stabilisation 60 sur le fond et les flancs des tranchées. La couche de stabilisation 60 présente un second type de dopage opposé au premier type de dopage des régions de collection 30. Le deuxième type de dopage peut ainsi être de type P. On prévoit par ailleurs que la couche de stabilisation 30 présente une énergie de bande interdite supérieure à celle des régions  
30 d'absorption.

Dans un tel dispositif, la présence des tranchées définit un minimum local d'énergie pour des défauts associés à une déformation du réseau cristallin, tels que des dislocations et des agrégats atomiques. La présence de ce genre de défauts, formés lors de la fabrication ou l'utilisation du dispositif (cyclage thermique du produit fini), est ainsi plus probable dans la région au fond des tranchées. La formation de la région de stabilisation à forte bande interdite dans cette région de fond permet de réduire l'amplitude des fluctuations associées avec ces défauts sur les performances du photodétecteur, et, de ce fait, autorise une stabilisation de la performance de part une réduction du nombre de défauts de bruit.

On retrouve également la couche de stabilisation 60 sur les flancs d'une tranchée. La couche de stabilisation comprend ainsi une portion 60a dans le fond des tranchées et des portions 60b sur les flancs des tranchées. L'extension de la couche de stabilisation sur les flancs des tranchées réduit, par le même effet que celui précédemment indiqué, l'impact des défauts générés lors de la formation des tranchées.

La couche de stabilisation 60 peut être issue d'une transformation des flancs et du fond d'une tranchée, réalisée par incorporation (par exemple par implantation) et diffusion d'une impureté (de type accepteur en cas de dopage de type P, par exemple de l'arsenic) à même de conduire à l'obtention d'une région d'énergie de bande interdite supérieure à celles des régions d'absorption, par exemple en venant favoriser une inter-diffusion entre les atomes de Cadmium et de Mercure dans une couche de CdHgTe.

La géométrie des flancs d'une tranchée est de préférence adaptée pour faciliter l'incorporation de l'impureté. Dans le cas d'une implantation de l'impureté, cette géométrie est de préférence caractérisée par des flancs inclinés. Le fond des tranchées peut quant à lui être pointu, arrondi ou rectangulaire.

Prenant l'exemple d'une couche de collection de type N et d'une couche de stabilisation de type P, une jonction N/x/P est formée dans chaque diode.

Lorsque les régions d'absorption présentent un dopage de type n, chaque diode présente une jonction p-n localisée à l'interface entre la région

d'absorption 20 et la couche de stabilisation 60 sur les flancs de la tranchée 50 séparant ladite région d'absorption de la région d'absorption de la diode adjacente.

Lorsque les régions d'absorption présentent un dopage de type p, chaque diode présente une jonction p-n localisée à l'interface entre la région de collection 30 et la région d'absorption 20.

Dans un mode de réalisation privilégié de l'invention, la couche de stabilisation 60 s'étend à travers une partie au moins de la couche intermédiaire 40 sous-jacente aux régions d'absorption 20 et d'énergie de bande interdite supérieure aux régions d'absorption 20. De telle manière, les photo-porteurs générés dans la région d'absorption d'une diode sont confinés dans celle-ci et ne peuvent diffuser vers la diode adjacente dont elle est séparée par la tranchée 50. Ce confinement limite la diaphonie électro-optique et ce mode de réalisation est ainsi favorable à la réalisation de photo-détecteurs avec un faible pas de pixel. Dans l'exemple de la figure 2a, la couche de stabilisation 60 traverse intégralement la couche intermédiaire 40 jusqu'à déboucher dans le substrat 10.

Le dispositif selon l'invention peut par ailleurs comporter un contact substrat périphérique agencé sur au moins un côté du réseau de diodes. Ce contact n'est pas représenté sur la figure 2a et 2b mais est similaire à celui discuté précédemment en liaison avec les figures 1a et 1b. Un tel contact substrat périphérique permet de réaliser une connexion électrique entre le substrat et le circuit de lecture sur la périphérie du réseau de diodes libérant ainsi de la place entre les diodes, et permettant avantageusement de réaliser un réseau de diodes avec un faible pas entre les diodes.

Comme représenté sur la figure 2a, le dispositif comprend en outre une couche de passivation 70 qui recouvre le réseau de diodes à l'exception des tranchées 50, de régions de contact d'un plot électriquement conducteur 80 avec une région de collection 30 d'une diode, et le cas échéant d'une région de contact périphérique d'un plot électriquement conducteur avec le substrat.

Les diodes sont ainsi protégées d'une dégradation qui peut être d'origine mécanique, chimique et électrique par la couche de passivation 70. La passivation est ouverte localement au-dessus des régions de collection 30 pour permettre

de former des contacts métalliques 80 dans ces régions. Elle peut également, mais non nécessairement, être ouverte au-dessus de la couche de stabilisation 60 des tranchées 50 pour permettre d'y former un contact métallique 90.

5 Les plots 80 sont localisés au-dessus des régions de collection 30 de chaque pixel. Ces contacts diode 80 permettent de réaliser une connexion électrique individuelle de chaque diode avec un circuit de lecture électronique qui est capable d'assembler l'information issue de chaque pixel.

10 Comme représenté sur la figures 2a et 2b, chaque couche de stabilisation 60 d'une tranchée peut être recouverte d'une couche de métallisation 90. Cette métallisation, en contact avec la couche de stabilisation, est distribuée dans et sur les flancs des tranchées jusqu'à la périphérie de la matrice comme représenté sur la figure 2b. Dans une variante de réalisation, la continuité du contact substrat étant assurée par la couche de stabilisation 60, la métallisation 90 peut présenter une rupture de continuité avec le contact substrat en ne venant pas recouvrir la couche de stabilisation par la métallisation 90 à certains endroits, par exemple au niveau de chaque région inter-pixel (au niveau de chaque croisement d'une ligne et d'une colonne sur la figure 2b). L'intérêt de cette variante est de relaxer les contraintes mécaniques induites par un dépôt de métallisation, ces contraintes pouvant conduire à la génération de défauts structuraux et donc être sources de bruit et de courant parasite additionnel. La stabilité des performances ainsi que les performances elles-mêmes sont ainsi améliorées.

25 Dans une autre variante de réalisation représentée sur la figure 3, la couche de stabilisation 60 s'étend depuis les flancs de la tranchée sur une distance donnée en-dessous de la couche de passivation 70. En d'autres termes, la couche de stabilisation 60 comprend également des portions 60c s'étendant sous la couche de passivation 70 depuis la partie supérieure des portions 60b formés par les flancs d'une tranchée. Ces portions 60c sont dimensionnées de manière à ne pas venir en contact avec une région de collection 30, en en étant séparées d'une distance d'au moins 0,5  $\mu\text{m}$ . Cette variante permet de réduire l'influence des défauts situées dans et à proximité de la couche de passivation 70 sur la stabilité de la performance.

Dans une autre variante de réalisation représentée sur la figure 4, compatible avec celle de la figure 3, chaque diode comprend en outre une région 100 localisée au-dessus de la région d'absorption 20 qui présente un même type de dopage que la région d'absorption et une énergie de bande interdite supérieure à celle de la région d'absorption. Cette augmentation de l'énergie de bande interdite au-dessus de la région d'absorption 20 sous la couche de passivation permet de réduire l'influence des défauts sur la performance électro-optique et ainsi d'améliorer la stabilité de la performance de chaque pixel. Dans le cas d'un dopage de type opposé de la couche d'absorption 20 et de la région de collection 30, il est préférable que la région de collection 30 dépasse de cette région 100 de forte bande interdite pour être en contact avec la région d'absorption 20.

La combinaison des deux variantes présentées ci-dessus, permet, en plus d'une amélioration de la stabilité des performances, de réduire la génération d'un courant tunnel dans la zone entre la couche de stabilisation 60 et la région de collection 20, permettant d'accéder à des polarisations inverses plus importantes.

On relèvera que ces deux variantes sont particulièrement avantageuses pour des applications à température de fonctionnement élevée du photo-détecteur (applications dites HOT pour « High Operating Temperature »).

Dans une autre variante de réalisation, les régions 20, et le cas échéant les régions 40 et 100, présentent un niveau de dopage faible, typiquement inférieur à  $1 \times 10^{15}$  at/cm<sup>3</sup>. Une grande partie du volume de ces régions est alors déplété pour de faibles valeurs de polarisation inverse, typiquement inférieures à 1 à 2 V. Cette variante permet de supprimer la contribution des courants de diffusion au courant d'obscurité, qui va être limité au courant dit GR (pour Génération-Recombinaison), généré sur les défauts présents dans la zone de charge d'espace (ZCE) lors de l'application de la polarisation inverse. De plus, cette variante permet de réduire le temps de collection des photo-porteurs, ce qui est favorable à l'obtention d'une sensibilité photonique stabilisée.

L'invention n'est pas limitée au dispositif de photo-détection précédemment décrit, mais s'étend également à un procédé de fabrication d'un dispositif de photo-détection comportant un réseau de diodes, dans lequel chaque diode du réseau

comporte une région d'absorption qui présente une première énergie de bande interdite et une région de collection qui présente un premier type de dopage. Le procédé comprend la formation d'une tranchée séparant les diodes adjacentes dans le réseau, et une étape consistant à transformer le fond et les flancs d'une tranchée en une couche de stabilisation présentant un deuxième type de dopage opposé au premier type de dopage et une énergie de bande interdite supérieure à la première énergie de bande interdite des régions d'absorption.

Les figures 5a-5e illustrent un exemple de réalisation d'un tel procédé qui débute (figure 5a) par une étape de fourniture d'un substrat 10 portant la couche intermédiaire 40 et la couche d'absorption 20.

En référence à la figure 5b, on procède ensuite à la gravure des tranchées 50 formant un quadrillage délimitant la région de collection des porteurs de chacune des diodes. La gravure est suffisamment profonde pour que l'impureté implantée à l'étape suivante puisse diffuser jusque dans la couche intermédiaire 40. La gravure est typiquement réalisée jusqu'à atteindre la couche intermédiaire 40, ou s'arrête à pas plus de 1  $\mu\text{m}$  de l'interface entre la couche d'absorption 20 et la couche intermédiaire 40. Les tranchées s'étendent ainsi dans la couche d'absorption pour venir en séparer des régions d'absorption.

Toujours en référence à la figure 5, on procède ensuite à l'implantation d'une impureté de type accepteur, de préférence As, puis à un recuit d'activation et de diffusion de cette impureté de type accepteur. Le recours à un élément dopant, tel que As ou Sb, favorise l'inter-diffusion de Cd entre les régions afin de former la couche de stabilisation avec un dopage de type P et un gap supérieur à la couche d'absorption 40.

En référence à la figure 5c, on réalise le dépôt d'une couche de passivation 70.

Un recuit sous pression de vapeur saturante de Hg est ensuite mis en œuvre afin de supprimer les lacunes de Hg. Ce recuit permet de réaliser une inter-diffusion de cadmium dans la couche de passivation 70 et la couche de stabilisation 60. Il est par exemple réalisé à une température supérieure à 400 °C pendant plus d'une heure.

Comme représenté sur la figure 5d, on réalise ensuite la formation d'une région de collection 30 de fort dopage N+, par exemple implantation de Bore, au centre de chaque pixel.

5 On procède ensuite à l'ouverture de la passivation à la périphérie de la matrice de photodiodes, au niveau des tranchés et au centre de chaque pixel, puis au dépôt d'une couche de métal et à sa gravure pour la conserver au niveau de chaque pixel, au niveau du contact substrat périphérique et au niveau de chaque tranchée. L'épaisseur restante de métal est typiquement inférieure à 1  $\mu\text{m}$ .

L'invention trouve avantageusement application dans les cas suivants :

- 10
- imagerie requérant une mise en route rapide ou une utilisation continue sans recalibration autre que celle faite en sortie d'usine ;
  - imagerie à haute température de fonctionnement, grâce à la réduction du nombre de défauts en bruit et à la réduction du courant d'obscurité ;
  - imagerie grand format, le quadrillage métallisé permettant en effet d'obtenir une
- 15
- structure n/P avec un très faible effet de dépolarisation ;
  - imagerie à faible pas pixel, par la suppression de la diaphonie de diffusion des porteurs entre les pixels.

L'invention peut par ailleurs être utilisée avec un dispositif de concentration optique pour favoriser l'obtention d'un rendement quantique maximal.

20 Dans ce cas, le volume de la région d'absorption peut être minimisé afin de réduire le courant d'obscurité et améliorer la sensibilité et/ou augmenter la température de fonctionnement du détecteur.

25

## REVENDEICATIONS

1. Dispositif de photo-détection à réseau de diodes, dans lequel chaque diode du réseau comporte une région d'absorption (20) qui présente une première énergie de bande interdite et une région de collection (30) qui présente un premier type de dopage, et dans lequel les diodes adjacentes dans le réseau sont séparées par une tranchée (50) comportant des flancs et un fond, caractérisé en ce qu'il comporte une couche de stabilisation (60) issue d'une transformation du fond et des flancs d'une tranchée (50) réalisée par implantation et diffusion d'une impureté, la couche de stabilisation présentant un deuxième type de dopage opposé au premier type de dopage et une énergie de bande interdite supérieure à la première énergie de bande interdite des régions d'absorption.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le deuxième type de dopage est un dopage de type P.

3. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel une tranchée (50) sépare les régions d'absorption des diodes adjacentes et est dénué de contact avec les régions de collection (30) des diodes adjacentes.

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les régions d'absorption (20) des diodes reposent sur une couche intermédiaire (40) qui présente un même type et un même niveau de dopage que les régions d'absorption et une énergie de bande interdite supérieure à la première énergie de bande interdite des régions d'absorption.

5. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel la couche de stabilisation (60) d'une tranchée s'étend à travers une partie au moins de la couche intermédiaire (40) de manière à empêcher la diffusion des porteurs générés dans la région d'absorption d'une diode vers la diode adjacente dont elle est séparée par la tranchée.

5 6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, comportant en outre une couche de passivation (70) qui recouvre chaque diode à l'exception de régions de contact d'un plot électriquement conducteur (80) avec une région de collection (20) d'une diode.

10 7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel la couche de stabilisation (60) s'étend depuis les flancs de la tranchée sur une distance donnée en-dessous de la couche de passivation (70).

15 8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel chaque diode comprend en outre une région localisée au-dessus de la région d'absorption qui présente un même type de dopage que la région d'absorption et une énergie de bande interdite supérieure à celle de la région d'absorption.

20 9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel la région d'absorption d'une diode présente un niveau de dopage inférieur à  $5.10^{16}$  at/cm<sup>3</sup>.

25 10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel la couche de stabilisation (60) d'une tranchée est recouverte d'une couche de métallisation (90).

30 11. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel la couche de métallisation d'une tranchée est en contact électrique avec un contact substrat périphérique agencé sur au moins un côté du réseau de diodes.

35 12. Procédé de fabrication d'un dispositif de photo-détection comportant un réseau de diodes, dans lequel chaque diode du réseau comporte une région d'absorption qui présente une première énergie de bande interdite et une région de collection qui présente un premier type de dopage, le procédé comprenant la formation de tranchées séparant les diodes adjacentes dans le réseau, les tranchées comportant des flancs et un fond,

5 caractérisé en ce qu'il comporte une étape consistant à former une couche de stabilisation au moyen d'une transformation du fond et des flancs d'une tranchée réalisée par implantation et diffusion d'une impureté, la couche de stabilisation présentant un deuxième type de dopage opposé au premier type de dopage et une énergie de bande interdite supérieure à la première énergie de bande interdite des régions d'absorption.

1 / 5

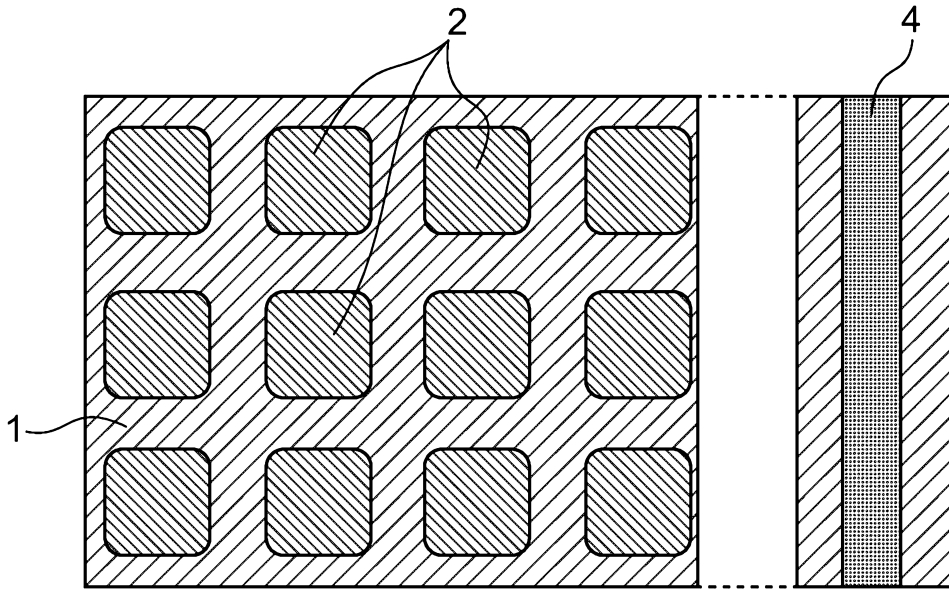


FIG. 1a

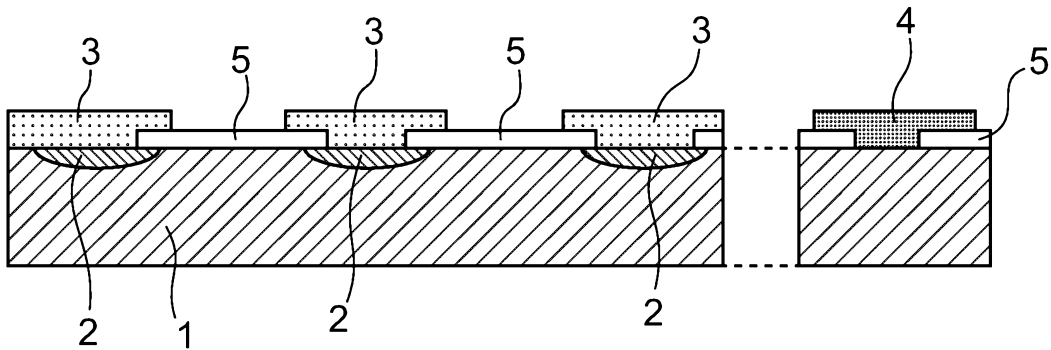


FIG. 1b

2 / 5

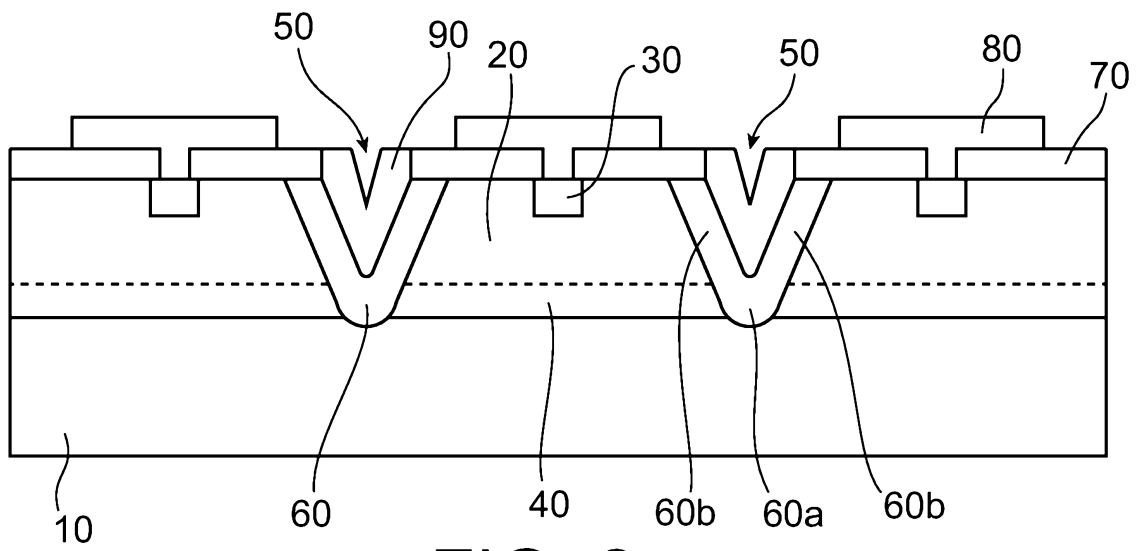


FIG. 2a

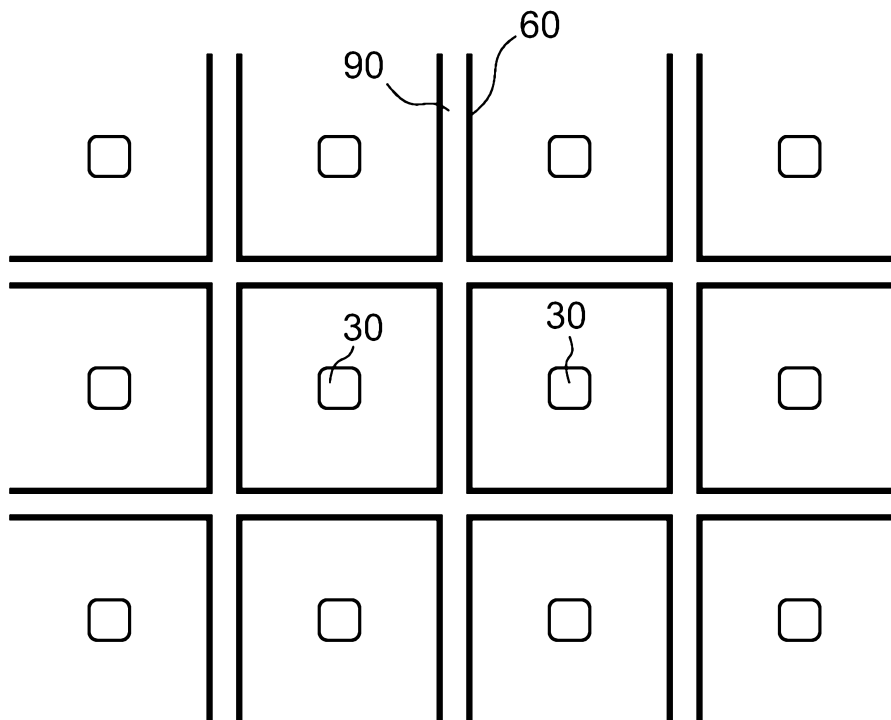


FIG. 2b

3 / 5

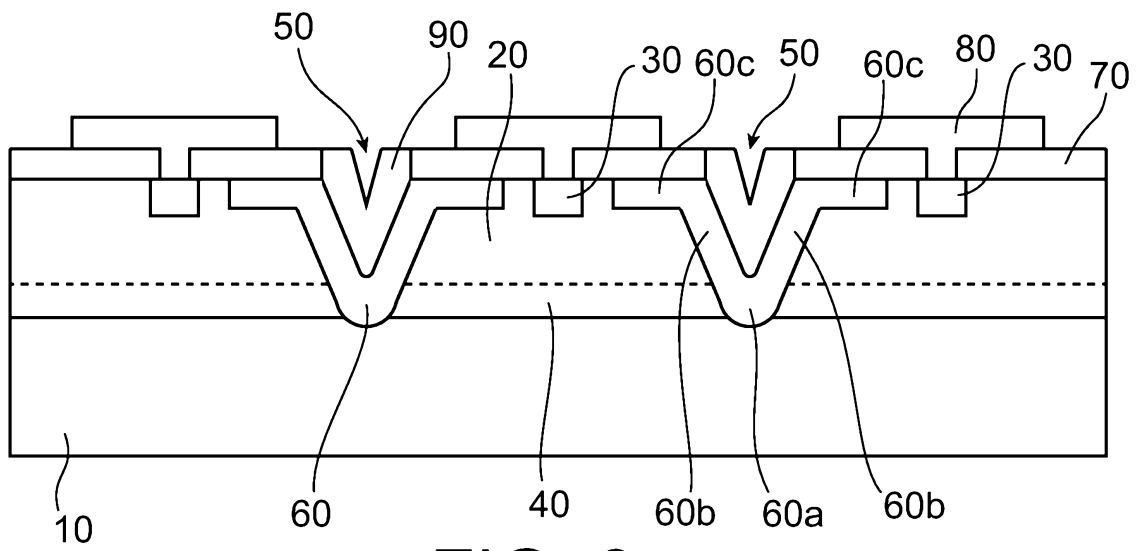


FIG. 3

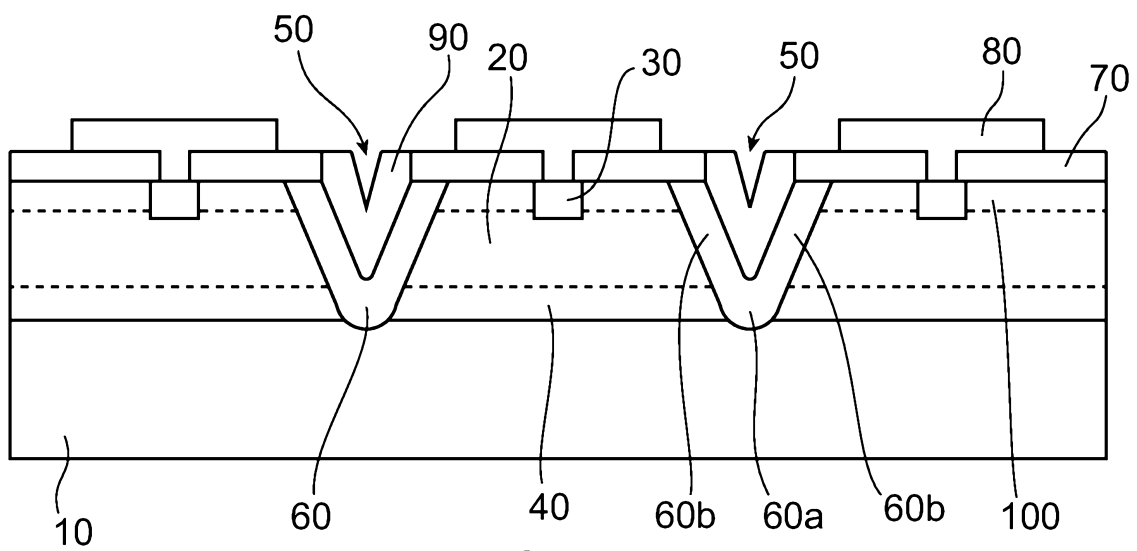


FIG. 4

4 / 5

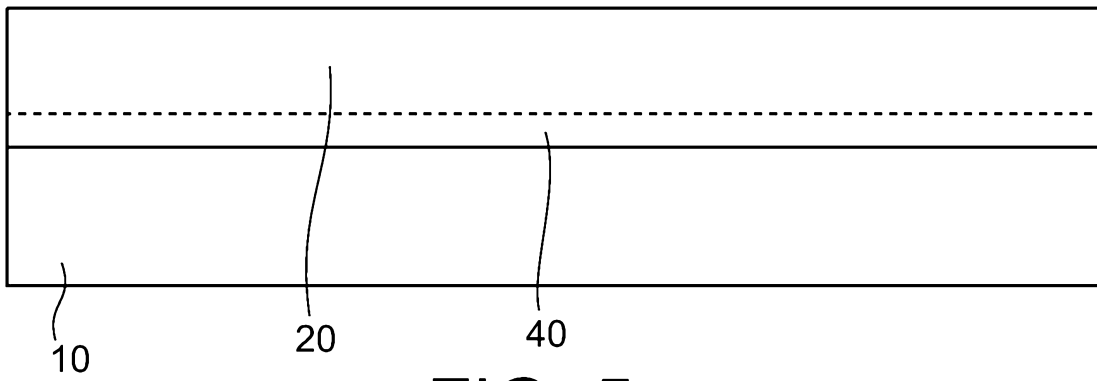


FIG. 5a

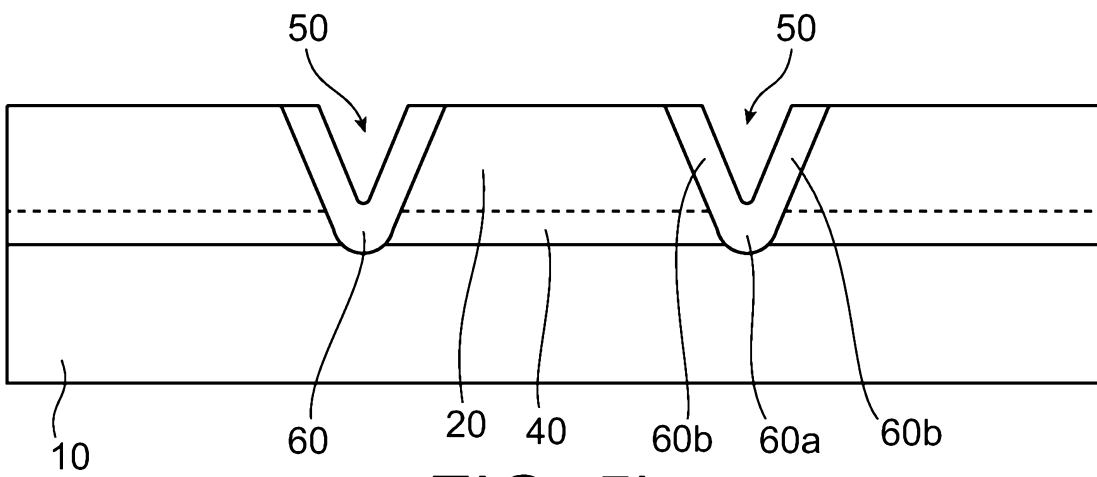


FIG. 5b

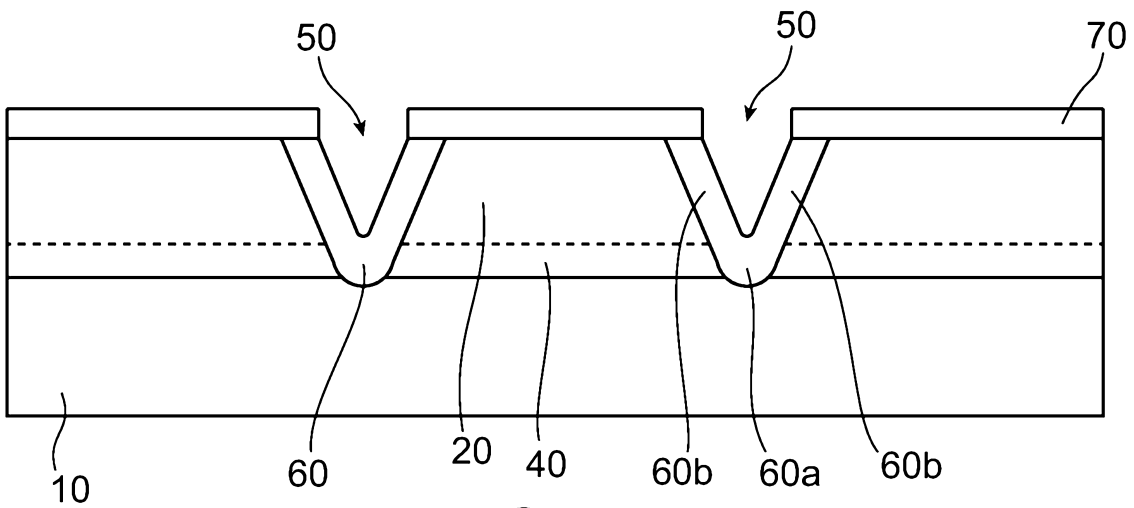


FIG. 5c

5 / 5

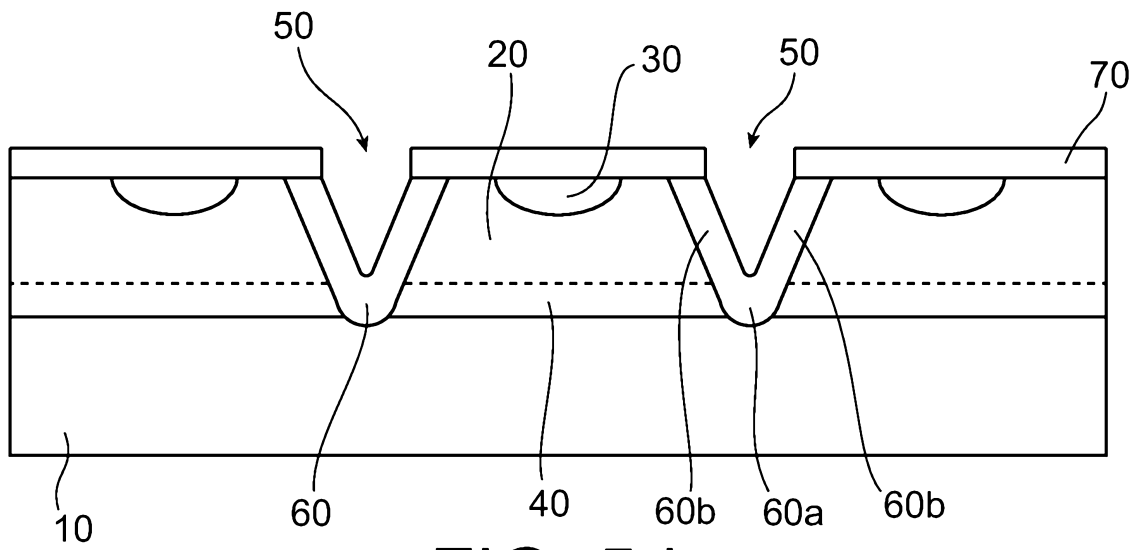


FIG. 5d

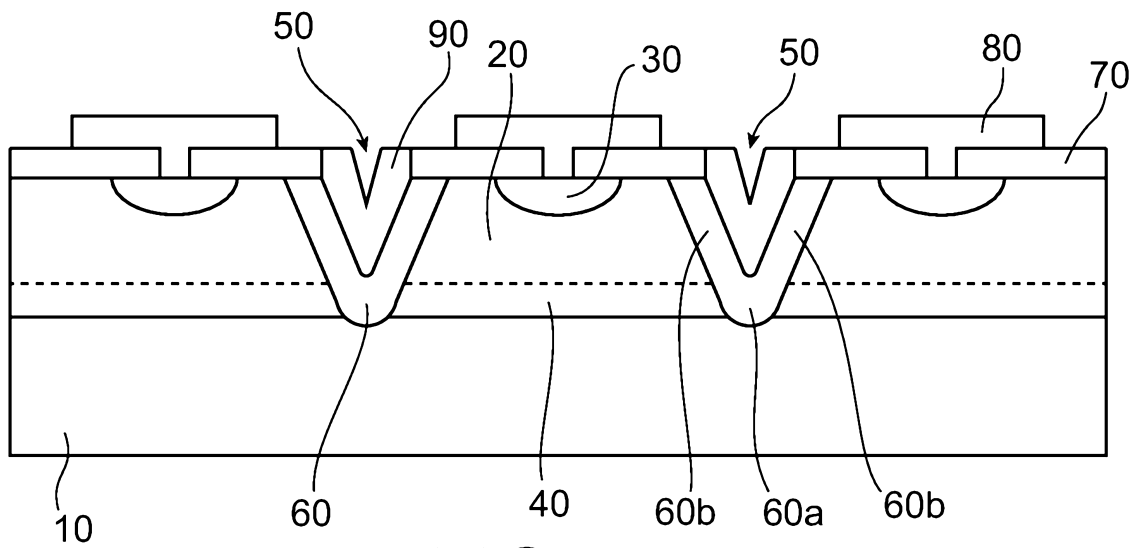


FIG. 5e

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

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

## CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

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

US 5 602 414 A (MITSUI KOTARO [JP] ET AL)  
11 février 1997 (1997-02-11)

US 5 880 510 A (COCKRUM CHARLES A [US] ET AL)  
9 mars 1999 (1999-03-09)

WO 2005/101512 A2 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; ROTHMAN JOHAN [FR])  
27 octobre 2005 (2005-10-27)

US 5 952 703 A (MURAKAMI SATOSHI [JP] ET AL)  
14 septembre 1999 (1999-09-14)

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

NEANT

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

NEANT