

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

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

2 562 715

②1 N° d'enregistrement national :

85 05228

⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : H 01 L 31/10.

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 5 avril 1985.

③0 Priorité : CA, 10 avril 1984, n° 451 681.

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 41 du 11 octobre 1985.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : RCA Inc. — CA.

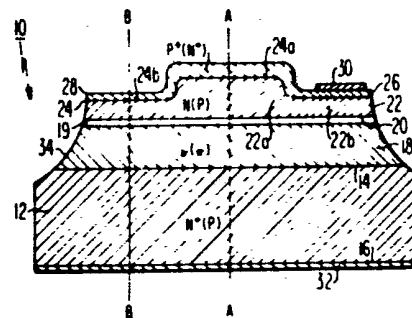
⑦2 Inventeur(s) : Robert John McIntyre.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Armengaud aîné.

⑤4 Photodétecteur à avalanche.

⑤7 Photodétecteur à avalanche qui comprend : un substrat d'un premier type de conductivité, muni d'une première surface principale; une région absorbant la lumière, du premier type de conductivité, surmontant la première surface principale; une première région; une seconde région; un premier contact électrique avec la seconde région et un second contact électrique avec le substrat, ce photodétecteur à avalanche étant caractérisé en ce que ladite première région 22 est du premier type de conductivité, elle recouvre ladite région absorbante 18 et elle possède une zone centrale 22a qui est plus épaisse qu'une zone périphérique environnante 22b et, en ce que ladite seconde région 26 est d'un type de conductivité opposé et elle recouvre ladite première région.



FR 2 562 715 - A1

Cette invention concerne un photo-détecteur à avalanche présentant un champ électrique réduit à la périphérie de la jonction P-N afin de diminuer le courant de fuite et la probabilité de ruptures de limite.

Les systèmes de communication optique qui opèrent dans un domaine de longueurs d'onde compris entre 1100 et 1700 nanomètres (nm) sont potentiellement d'une grande importance étant donné que la dispersion et les pertes dans une fibre optique sont typiquement très faibles dans cette gamme de longueurs d'onde. Des dispositifs à hétérojonction comprenant des alliages binaires III-V et des solutions solides de ces alliages se sont révélés particulièrement utiles pour ces applications étant donné que leur intervalle de bande électronique se situe dans ce domaine de longueurs d'onde et que des hétérojonctions à structures réticulaires appariées peuvent être obtenues par des variations de composition. En particulier des alliages ternaires et quaternaires de In, Ga, As et P, sur un substrat InP constituent des matériaux appropriés pour réaliser à la fois des émetteurs de lumière et des photodétecteurs.

Parmi les problèmes qui ont affecté les performances des photodétecteurs à avalanche utilisant de tels matériaux, figurent ceux relatifs : aux courants d'effet de tunnel dans le corps, qui se produisent pour des champs électriques de l'ordre de  $1,5 \cdot 10^5$  V/cm dans les composés ternaires et quaternaires utilisés pour réaliser la région absorbant la lumière ; à la rupture de limite et à la multiplication des courants de fuite de surface à la périphérie de la jonction. L'effet tunnel a été diminué en disposant la jonction P-N avec son champ électrique élevé, dans un matériau à large intervalle de bande, séparé de la région absorbant la lumière, dans le matériau à intervalle de bande étroit. Cette structure de photodétecteur à avalanche est connue sous le terme de "SAM" (Photodétecteur à multiplication et absorption séparées).

Dans un photodétecteur à avalanche à structure "SAM" qui comprend un substrat de type  $P^+$ , une région à large intervalle de bande de type N, une région absorbante de type N et une couverture de type  $N^+$  pour réaliser le contact, on réduit la rupture de limite et les courants de surface en utilisant des bords en pente ou une configuration de surface, permettant de former une structure méssa. Cette structure présente plusieurs inconvénients. La région située sous le contact est une région multiplicatrice. L'illumination au travers de la couverture exige que la région d'épuisement s'étende au travers de la

couche absorbante ce qui produit un fort courant d'obscurité à partir des états d'interface. Avec une illumination effectuée au travers du substrat, le rendement quantique est diminué par une absorption de porteurs libres. Pour ces raisons, une structure mesa qui comprend un substrat  $N^+$ , des régions absorbantes de type N à large intervalle de bande et une couverture de type  $P^+$  sont préférables. Cependant la configuration de surface renforce le champ électrique à la périphérie. On doit donc envisager des moyens supplémentaires pour diminuer le champ électrique à la surface de manière à ne produire que la multiplication des porteurs photogénérés.

10 En conséquence cette invention a pour objet un photodétecteur à avalanche qui comprend : un substrat d'un premier type de conductivité, muni d'une première surface principale ; une région absorbant la lumière, du premier type de conductivité, surmontant la première surface principale ; une première région ; une seconde région ; un premier contact électrique avec la seconde  
15 région et un second contact électrique avec le substrat, ce photodétecteur à avalanche étant caractérisé en ce que ladite première région est du premier type de conductivité, elle recouvre ladite région absorbante et elle possède une zone centrale qui est plus épaisse qu'une zone périphérique environnante et, en ce que ladite seconde région est du type de conductivité opposée et elle re-  
20 couvre ladite première région.

D'autres caractéristiques et avantages de cette invention ressortiront de la description faite ci-après en référence au dessin annexé qui en illustre des exemples de réalisation dépourvus de tout caractère limitatif. Sur le dessin :

- les figures 1 et 2 sont des vues en coupe de deux modes de réalisation  
25 différents d'un photodétecteur à avalanche selon cette invention, et
- la figure 3 est un graphique illustrant la distribution du champ électrique le long des lignes A-A et B-B du photodétecteur selon la figure 1.

Le photodétecteur 10 représenté sur la figure 1, comprend un substrat 12, ayant des première et seconde surfaces principales 14, 16, respectivement  
30 et une région absorbant la lumière 18, recouvrant la première surface principale 14. Une région de séparation 19, ayant une surface 20 recouvre la région absorbante 18. Une première région 22, comprenant une zone centrale relativement épaisse 22a et une zone périphérique relativement mince 22b recouvre la surface 20. La première région 22 possède une surface 24, comportant une

zone de surface centrale 24a, sur la zone centrale 22a, et une zone de surface périphérique 24b sur la zone périphérique 22b. Une seconde région 26 ayant une surface 28 recouvre la surface 24. Un premier contact électrique 30 recouvre la surface 28. Un second contact électrique 32 recouvre la seconde surface principale 16. Le photodétecteur 10 possède également une paroi ayant un profil incurvé 34.

Le photodétecteur 50, représenté sur la figure 2, diffère du photodétecteur 10 en ce que la seconde région 26 est plus épaisse sur la zone périphérique 22b que sur la partie centrale 22a et en ce qu'elle comporte une surface plane 54.

Le substrat 12, la région absorbante 18, la région de séparation 19 et la première région 22 sont du même type de conductivité et la seconde région 26 est du type de conductivité opposé, ce qui produit une jonction P-N à la surface 24.

Les matériaux constituant respectivement la région absorbante 18, la région de séparation 19 et les première et seconde régions 24 et 26 sont choisis de préférence de manière que leurs pas réticulaires soient adaptés à ceux du substrat 12 dans une limite de 0,5%.

Le substrat 12 est composé d'un matériau semi-conducteur tel que du InP de type N, dopé au soufre jusqu'à une concentration d'environ  $5 \cdot 10^{18} / \text{cm}^3$ . Le substrat 12 possède une épaisseur suffisante pour supporter le reste de la structure et cette épaisseur est, de façon typique, comprise entre 0,03 et 0,04 cm. La surface principale 14 est typiquement traitée avec de l'acide de Caro et une solution à 1% de brome dans du méthanol, pour éliminer la pollution de surface et les dommages pouvant être causés à cette surface avant le dépôt des couches sur cette dernière.

La région absorbante 18 est composée d'un matériau qui absorbe la lumière à la longueur d'onde considérée, située entre 1100 et 1700 nm. Les matériaux appropriés comprennent  $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$  qui absorbe la lumière pour des longueurs d'onde inférieures à 1650 nm et  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  qui absorbe la lumière pour des longueurs d'onde inférieures à une valeur maximale déterminée par le choix de x et y, comme décrit par exemple par OLSEN et autres dans la publication "Journal of Electronic Materials" 9, 977 (1980). Cette région est de préférence légèrement conductrice de type  $\bar{n}$  et elle est déposée en tant

que matériau non dopé contenant moins de  $3 \cdot 10^{15}$  donneurs/cm<sup>3</sup> environ et de préférence moins de  $10^{15}$  donneurs/cm<sup>3</sup>. Le niveau de dopage est tel que pour des tensions typiquement appliquées au photodétecteur, le champ électrique est inférieur à environ  $1,5 \cdot 10^5$  V/cm. Cette région présente une épaisseur com-

5 prise entre 5 et 15  $\mu$ m, de préférence entre 8 et 12  $\mu$ m environ.

La région de séparation 19 est constituée d'un matériau typiquement  $\text{In}_{1-a}\text{Ga}_a\text{As}_{1-b}\text{P}_b$ , présentant une énergie d'intervalle de bande fixe ou graduée, comprise entre celles de la région absorbante 18 et de la première région 24, et son épaisseur est typiquement de 0,5  $\mu$ m environ. Cette région de sépara-

10 tion est utilisée pour éviter une faible réponse du détecteur associée à une accumulation de porteurs de charges à proximité de la discontinuité de bande de valence à l'hétérojonction, cependant cette région peut être omise.

De façon typique, la première région 22 est composée d'un matériau semi-conducteur, tel que de l'InP de type N, présentant une épaisseur dans

15 sa partie centrale 22a et une concentration de modificateurs de conductivité, suffisantes pour produire une multiplication en avalanche de porteurs photo-générés dans la région absorbant la lumière 18, lorsqu'une polarisation inverse d'amplitude suffisante est appliquée avec les contacts électriques 30 et 32.

La concentration superficielle en excès de modificateur de conductivité

20 dans la zone centrale 22a doit être comprise entre environ  $2,5$  et  $4 \cdot 10^{12}$ /cm<sup>2</sup>. L'épaisseur  $x_c$  de la zone centrale 22b est comprise entre 0,6 et 4  $\mu$ m environ et la concentration de modificateurs de conductivité est typiquement comprise entre environ 1 et  $8 \cdot 10^{16}$ /cm<sup>3</sup>. La concentration en excès des modificateurs de conductivité dans la première région 22 est typiquement plus grande que 10

25 fois, et de préférence 20 fois, la concentration dans la région de séparation 19 et dans la région d'absorption 18, respectivement. L'épaisseur  $x_p$  de la zone périphérique 22b est de préférence inférieure à 0,6 fois  $x_c$ .

La seconde région 26 est composée d'un matériau semi-conducteur tel que InP contenant un excès de l'ordre de  $10^{18}$  accepteurs/cm<sup>3</sup>, typiquement du

30 zinc, et présentant une épaisseur comprise en 1 et 2  $\mu$ m.

Le premier contact électrique 30 est constitué d'un alliage or-zinc, déposé par évaporation sous vide, lorsque la seconde région 26 est de type P. De préférence, le premier contact électrique 30 présente typiquement une configuration telle que la lumière pénètre dans le détecteur, au travers de la partie

de la seconde région 26, sur la zone centrale 22a et elle est située au-dessus de la zone périphérique 22b afin qu'il ne se produise pas de multiplication des porteurs injectés dans le détecteur à partir du contact. Le second contact électrique 32 est composé d'un alliage or-étain déposé par évaporation sous vide, 5 lorsque le substrat 12 est de type N.

Le substrat 12 et les première et seconde région 22 et 26 transmettent de préférence la lumière à la longueur d'onde à détecter.

Lors du fonctionnement de ce photodétecteur, on applique une tension à polarisation inverse entre les contacts électriques, pour provoquer une augmentation de la largeur de la région d'épuisement dans la première région. La 10 largeur de la région d'épuisement dans la zone centrale 22a, le long de la ligne A-A, sur la figure 1, augmente avec l'accroissement de la valeur de la tension, le champ électrique atteignant une valeur de l'ordre de 4 à  $4,5 \cdot 10^5$  V/cm lorsque la zone centrale 22a est totalement épuisée. Une augmentation ultérieure de la 15 tension appliquée entraîne une extension de la région d'épuisement dans la région d'absorption 18, où le champ électrique n'augmente pas au delà d'une valeur de l'ordre de  $1,0 \times 10^5$  V/cm, avant d'atteindre un champ électrique  $E_{MA}$  suffisant pour une rupture d'avalanche dans la zone centrale 22a.

Le champ électrique est fonction des différentes concentrations d'impuretés et des variations d'épaisseur de la première région 22. Si on suppose 20 qu'il existe une fonction P-N abrupte et en incluant la région de séparation 19 et la région d'absorption 18, le champ électrique de pointe  $E_{MA}$  le long de la ligne A-A, sur la figure 1, lorsque la région d'épuisement s'étend dans la région d'absorption, s'écrit :

$$25 \quad E_{MA} = \frac{q}{\epsilon} (N_1 x_c + N_2 W_c)$$

relation dans laquelle  $q$  est la charge électronique,  $\epsilon$  est la constante diélectrique,  $N_1$  est la concentration en modificateur de conductivité,  $N_2$  est la concentration en modificateurs de conductivité et  $W$  est la largeur de la région d'épuisement dans la région absorbante 18. Le premier terme représente le 30 champ nécessaire pour épuiser la zone centrale 22a. Si le champ électrique pour une multiplication en avalanche est approximativement de  $5 \cdot 10^5$  V/cm, dans ce cas ce champ doit être supérieur à  $3,5 \cdot 10^5$  V/cm environ et inférieur à  $4,7 \cdot 10^5$  V/cm environ et de préférence égal à environ  $4,5 \cdot 10^5$  V/cm. Cette distribution du champ électrique est illustrée par la courbe en traits pleins

sur la figure 3, où les chiffres portés en abscisse correspondent aux références des diverses surfaces du photoconducteur.

La partie périphérique 22b est également complètement épuisée par l'application d'une tension de polarisation inverse. Cependant, étant donné que cette partie est plus mince, le champ électrique maximal  $E_{MB}$ , le long de la ligne B-B de la figure 1 est inférieur à celui de la partie centrale 22a et également à la valeur maximale du champ nécessaire pour une multiplication en avalanche. Le champ électrique  $E_{MB}$  dans la zone périphérique 22b, lorsque la région d'épuisement s'étend dans la région absorbante 18 est :

$$E_{MB} = \frac{q}{\epsilon} (N_1 x_p + N_2 w_p)$$

où  $x_p$  est l'épaisseur de la zone périphérique 22b et  $w_p$  est la profondeur de la région d'épuisement dans la région absorbante 18, à la périphérie. Etant donné que  $x_p < x_c$  et  $w_p > w_c$ , le champ électrique à l'hétérojonction sur la périphérie est plus grand qu'au centre du détecteur. Cette distribution du champ électrique est illustrée par la courbe en traits interrompus de la figure 3.

Les régions semi-conductrices du photodétecteur 10, peuvent être formées, de façon séquentielle, sur la surface du substrat en utilisant des techniques par épitaxie en phase liquide ou, de préférence, en phase vapeur, comme décrit dans le brevet américain Olsen et al. 4 116 733. Une couche absorbante de type V, une première couche d'InP de type N et une seconde couche d'InP de type P, ayant les concentrations désirées en modificateurs de conductivité, sont déposées séquentiellement sur une surface principale d'une pastille d'InP, de type N, en utilisant des techniques d'épitaxie en phase vapeur. Des portions de la surface de la seconde couche sont recouvertes d'un masque de  $\text{SiO}_2$  résistant à l'attaque chimique. La portion environnante de la seconde couche et une portion de la première couche sous-jacente sont éliminées par attaque chimique dans une solution à 1% de brome dans du méthanol. Le masque est enlevé et une couche additionnelle d'InP de type P est déposée sur la seconde couche et sur les portions dégagées de la première couche. Des contacts électriques sont déposés sur la troisième couche et ils sont définis en utilisant des techniques de photolithographie. On découpe ensuite des mésas, par attaque chimique, dans les couches et les détecteurs sont séparés en utilisant des techniques classiques. En variante, les régions de type P peuvent être formées dans la surface dégagée de la première couche en utilisant des techniques d'implanta-

tion d'ions et/ou de diffusion d'ions.

Le photodétecteur 50 peut être fabriqué en déposant séquentiellement les couches sur une pastille comme pour le photodétecteur 10. Des portions de la surface sont recouvertes d'un masque d'implantation d'ions ou de diffusion de  $\text{SiO}_2$ . Les portions périphériques de la seconde région 26 sont ensuite formées par diffusion ou implantation d'ions d'accepteurs additionnels, suivie d'une diffusion de redistribution ou d'un recuit en mettant en oeuvre des techniques classiques. Les contacts électriques et des mésas sont ensuite réalisés et on sépare les détecteurs. En utilisant cette technique, on élimine l'étape de re-

10 cristallisation.

Il demeure bien entendu que cette invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits et représentés, mais qu'elle en englobe toutes les variantes.

REVENDICATIONS

1. - Photodétecteur à avalanche qui comprend : un substrat d'un premier type de conductivité, muni d'une première surface principale ; une région absorbant la lumière, du premier type de conductivité, surmontant la première surface principale ; une première région ; une seconde région ; un premier contact électrique avec la seconde région et un second contact électrique avec le substrat, ce photodétecteur à avalanche étant caractérisé en ce que ladite première région (22) est du premier type de conductivité, elle recouvre ladite région absorbante (18) et elle possède une zone centrale (22a) qui est plus épaisse qu'une zone périphérique environnante (22b) et, en ce que ladite seconde région (26) est d'un type de conductivité opposé et elle recouvre ladite première région.

2. - Photodétecteur à avalanche selon la revendication 1, caractérisé en ce que la concentration superficielle du modificateur de conductivité dans la zone centrale (22a) est comprise entre  $2,5$  et  $4 \cdot 10^{12} / \text{cm}^2$ .

3. - Photodétecteur à avalanche selon la revendication 2, caractérisé en ce que la zone centrale (22a) possède une épaisseur de l'ordre de  $0,6$  à  $4 \mu\text{m}$  et en ce que ladite zone périphérique (22b) possède une épaisseur inférieure à environ  $0,6$  fois l'épaisseur de la zone centrale.

4. - Photodétecteur à avalanche selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comprend une région de séparation (19) entre la région absorbante (18) et la première région (22).

5. - Photodétecteur selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite première région (22) est constituée de InP de type N, ladite seconde région (26) est composée de InP de type P et ladite région absorbant la lumière (18) possède une conductivité de type V et elle est constituée d'un matériau choisi dans le groupe qui comprend les alliages :  $\text{In}_{0,57}\text{Ga}_{0,43}\text{As}$  et  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$

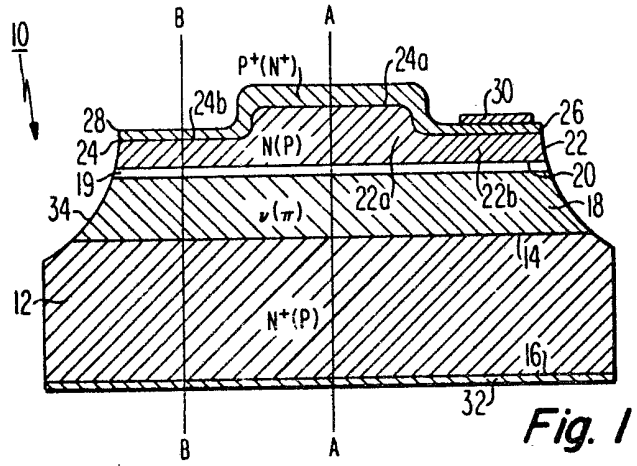


Fig. 1

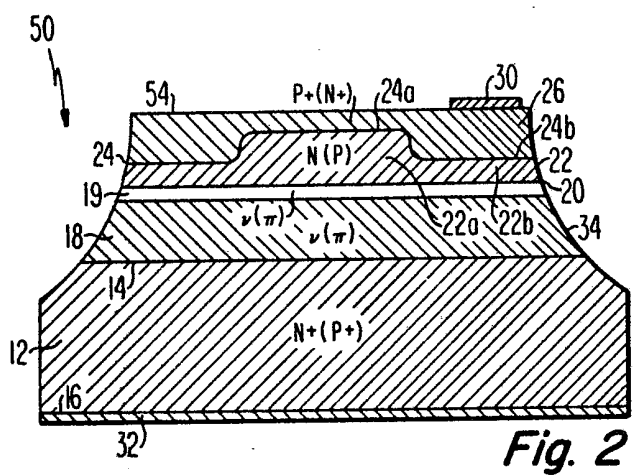


Fig. 2

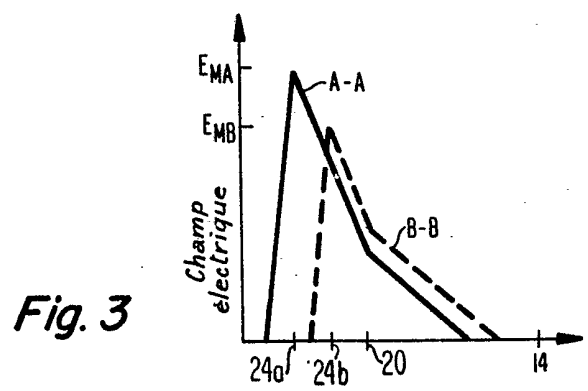


Fig. 3