

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 04712

(54) Photodétecteur sensible dans l'infra-rouge proche.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). H 01 L 31/06, 29/36.

(22) Date de dépôt..... 10 mars 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 37 du 17-9-1982.

(71) Déposant : SOCIETE ANONYME DE TELECOMMUNICATIONS, résidant en France.

(72) Invention de : Guy Pichard et Michel Royer.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Robert Bloch, conseil en brevets d'invention,
39, av. de Friedland, 75008 Paris.

La présente invention concerne un photodétecteur dont la sensibilité maximale se situe entre 0,8 et 2 μm , comprenant un substrat de type P en $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, et une zone de type N formant une jonction P-N avec le substrat.

5 Dans les photodétecteurs, il peut être souhaitable que le temps de réponse soit le plus court possible, en particulier lorsque l'on utilise de tels détecteurs pour détecter les signaux lumineux transmis par fibres optiques, le débit numérique dans ce type de liaisons
10 étant extrêmement élevé.

On sait d'autre part que l'atténuation dans la transmission par fibres optiques est minimale pour deux valeurs de la longueur d'onde du signal transmis, à savoir 1,3 μm et 1,6 μm .

15 On connaît déjà, par la demande de brevet français No 80 16 788, au nom de la demanderesse, des photodétecteurs qui, par l'emploi d'un substrat de type P en $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, possèdent un temps de réponse très court et sont sensibles aux longueurs d'onde ci-dessus, la fraction molaire x étant
20 choisie à l'intérieur d'une plage allant de 0,4 à 0,9, en fonction de la longueur d'onde à recevoir.

Cependant, de tels photodétecteurs ne fournissent pas nécessairement, d'une part, un courant de sortie important et, d'autre part, un rapport signal/bruit très élevé. En d'autres
25 termes, l'intensité lumineuse passant dans les fibres optiques étant faible, le gain en courant des détecteurs, c'est-à-dire le rapport, à une longueur d'onde donnée, entre l'intensité lumineuse reçue et le courant électrique créé, peut ne
~~pas être suffisant.~~

On connaît le procédé qui pallie partiellement cet
30 inconvénient et consistant à polariser en inverse le photodétecteur, sous une forte tension, afin de placer son point de fonctionnement dans la région d'avalanche.

En effet, cette polarisation élevée est possible du fait que la jonction utilise un substrat très faiblement
35 dopé, et a donc une capacité faible, si bien que la constante de temps, ou le temps de réponse, du détecteur est faible surtout aux tensions inverses importantes.

Cependant, un inconvénient de ce procédé est que le point de fonctionnement, du fait de cette polarisation inverse élevée, est proche de la tension d'avalanche non contrôlée, autrement dit de la tension de claquage de la
5 jonction.

D'autre part, cette tension de polarisation inverse, de l'ordre de quelques dizaines ou centaines de volts, est fournie par une alimentation plus ou moins complexe ou coûteuse nécessitant une source d'énergie.

10 La présente invention vise à pallier ces lacunes et à proposer un photodétecteur ayant un gain important, et pouvant par conséquent fonctionner sous une tension de polarisation inverse faible.

A cet effet, la présente invention concerne un photodétecteur ayant sa sensibilité maximale entre 0,8 et 2 μm ,
15 comprenant un substrat de type P en $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, x étant choisi à l'intérieur d'une plage s'étendant de 0,4 à 0,9, et une zone dopée de type N formée sur le substrat, la jonction résultante étant du type P-N, caractérisé par le
20 fait que x est choisi en fonction du gain en courant désiré.

On sait que de tels photodétecteurs présentent le phénomène selon lequel la réponse spectrale, et plus précisément la longueur d'onde de coupure, dépend de x .

25 Ainsi, la valeur de x étant déjà a priori imposée par le choix de la longueur d'onde désirée, il aurait pu paraître vain de rechercher si un autre phénomène, dépendant lui aussi de la valeur de x , ne pouvait pas être à l'origine d'un courant électrique de sortie plus important.

30 Et c'est ainsi que la demanderesse a quand même recherché si le gain en courant, autrement dit le facteur de mérite de la jonction, ne dépendrait pas avantageusement lui aussi de x . Non seulement la demanderesse a mis en évidence ce phénomène, à savoir que le facteur de mérite,
35 dont la valeur entraîne celle du courant de sortie, dépendrait effectivement de la fraction molaire x , mais elle a encore constaté que la valeur de x , propice à un courant plus important, était très proche de celle optimisant la

détection d'une certaine longueur d'onde.

Plus particulièrement, la demanderesse a montré que le facteur de mérite, et donc le courant de sortie, atteignait son maximum pour une valeur de x voisine mais différente de celle qui correspond à la détection optimale, à temps de réponse court, d'un rayonnement de longueur d'onde de $1,3 \mu\text{m}$.

L'invention sera bien comprise à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préféré, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- les figs. 1 à 7 illustrent les différentes phases du procédé de fabrication du photodétecteur selon l'invention ;
- la fig. 8 représente les courbes de réponse spectrale du détecteur selon l'invention, pour plusieurs valeurs de la polarisation inverse ;
- la fig. 9 représente, d'une part, la courbe de la longueur d'onde de coupure et, d'autre part, la valeur du facteur de mérite, fonctions de la fraction molaire du substrat du détecteur selon l'invention, et
- la fig. 10 représente la courbe du gain en courant du détecteur selon l'invention en fonction de la tension de polarisation inverse, pour la valeur choisie de x .

Le détecteur représenté est bien adapté pour une longueur d'onde voisine de $1,3 \mu\text{m}$. Il comporte un substrat constitué d'un alliage de mercure, de cadmium et de tellure, $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, dans lequel la fraction molaire x est comprise entre 0,4 et 0,9 comme indiqué dans la demande française No 80 16 788.

Pour fabriquer le détecteur de l'invention, on part d'un substrat 1 de type P (cf. fig. 1), formé d'un cristal de $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ de très haute pureté, présentant donc une concentration en porteurs P très faible, de l'ordre de $10^{15}/\text{cm}^3$. Un tel cristal peut être obtenu par exemple, par la méthode décrite dans un article de R. Triboulet, intitulé "Cd Te and Cd Te : Hg alloys cristal growth using stoichiometric and off-stoichiometric zone passing techniques", paru dans la Revue de Physique Appliquée, de février 1977.

Sur le substrat 1, on dépose une couche 2 de Cd Te, par exemple par pulvérisation cathodique. Puis on dépose sur la couche 2 une couche de masquage 3 (fig. 2), de préférence en ZnS, SiO ou SiO₂. On réalise ensuite au moins une ouverture 10 dans les couches 2 et 3, de façon à mettre à nu une partie de la surface 1a du substrat 1 (fig. 3). Ensuite, on réalise une jonction planar PN par une première diffusion dans le substrat 1 d'un élément tel que le cadmium ou le mercure ou d'une impureté telle que l'aluminium, l'indium, ou le bore (flèche 5, fig. 4).

On obtient ainsi une zone 6 de type N, de dopage d'environ 10^{16} atomes/cm³, qui forme avec le substrat P une jonction 7.

Cependant, dans le but de diminuer la courbure de cette jonction 7 à ses extrémités, et donc de réduire la valeur du champ électrique, et par conséquent le risque de claquage dans ces régions, on peut réaliser dans les mêmes conditions une diffusion préalable d'un des mêmes éléments selon la technique dite à anneau de garde (fig. 5), pour obtenir finalement une zone 8 de type N à plus grande courbure.

Un autre procédé utilisable pour former la zone N est l'implantation ionique d'atomes possédant, après un recuit approprié, une activité électrique de type N, tels que des atomes d'indium In, d'aluminium Al ou de bore B.

On dépose ensuite une couche 4 de même nature que la couche 3 sur toute la surface puis on pratique une ouverture 9 dans la couche 4, fig. 6, par attaque chimique, et on remplit cette ouverture avec un métal conducteur, tel que Al ou In, afin de réaliser un contact 10 (fig. 7).

Le détecteur décrit ci-dessus est utilisé comme détecteur de rayonnement dans l'infra-rouge proche.

Le choix de la valeur de la fraction molaire x repose sur les considérations suivantes.

Pour définir la structure des bandes électroniques, on peut utiliser le modèle à bande de conduction, bande interdite et bande de valence.

L'arrivée d'un photon du rayonnement reçu crée, si son énergie est suffisante, une paire électron-trou qui participe à un courant proportionnel au flux incident.

On comprend bien que lorsque la longueur d'onde λ du rayonnement dépasse un certain seuil, l'énergie des photons, proportionnelle à $\frac{1}{\lambda}$, n'est plus suffisante pour créer des paires électrons-trous.

C'est pourquoi, pour une valeur de x donnée, c'est-à-dire pour une valeur ΔE donnée de la largeur de la bande interdite, il existe une longueur d'onde de coupure λ_c , telle que, lorsque le rayonnement a une longueur d'onde $\lambda > \lambda_c$, aucun courant n'est créé dans la jonction, ce qui explique l'aspect des courbes de la fig. 8, qui représentent la réponse S du détecteur, c'est-à-dire le rapport entre le courant créé et l'intensité lumineuse reçue, en fonction de la longueur d'onde λ du rayonnement reçu, et ce pour trois valeurs de la tension de polarisation V de la jonction, et une valeur de x déterminée. On note que dans l'exemple de la figure 8, le gain en courant est déjà important pour une polarisation inverse faible.

La courbe 100 de la fig. 9 représente la longueur d'onde de coupure λ_c en fonction de x , en μm .

Ainsi pour recevoir de façon optimale un rayonnement de longueur d'onde $1,3 \mu\text{m}$, la longueur d'onde de coupure ^{doit} être supérieure à $1,3 \mu\text{m}$, mais de préférence assez voisine — comme l'indiquent les courbes de réponse spectrale (fig. 8)

Ainsi pour détecter un rayonnement d'une longueur d'onde de $1,3 \mu\text{m}$, qui correspond à un minimum d'atténuation dans les fibres optiques, la valeur optimale de x se situerait au voisinage de 0,7, au vu de la courbe 100 de la fig. 9. Cependant l'inconvénient précédemment cité, à savoir le faible courant de sortie du détecteur, ne serait pas pour autant forcément résolu.

Or il existe, dans la structure des bandes électroniques du semi-conducteur envisagé, une autre bande, dite bande de Spin-orbite.

On a trouvé que la différence d'énergie $\Delta E'$ entre
5 la bande de Spin-orbite et la bande de valence était susceptible, suivant sa valeur, de jouer un rôle en ce qui concerne les générations-recombinaisons d'électrons-trous créés par les photons. Plus particulièrement, pour une large gamme de valeurs de x , $\Delta E'$ est 5 à 10 fois plus grand
10 que ΔE et, dans ce cas, la bande de Spin-orbite n'a que peu d'influence sur les générations-recombinaisons des électrons-trous. Cependant pour certaines valeurs de x , entre environ 0,6 et 0,8, la valeur de $\Delta E'$ est assez proche de celle de ΔE , toutes deux ayant pour ordre de grandeur
15 0,9 eV. On conçoit que les propriétés de création et de recombinaison des paires électron-trou vont être alors sensiblement différentes de celles correspondant au modèle qui ne tient pas compte de la bande de Spin-orbite.

Le phénomène est le suivant. Lorsque la bande de
20 Spin-orbite n'a pas d'influence, ou peu d'influence sur le phénomène photoélectrique, il se crée, par le rayonnement reçu, un courant d'électrons et un courant de trous, sensiblement égaux, c'est-à-dire des coefficients d'ionisation α et β de valeurs sensiblement égales.

25 Cependant lorsque x se situe dans une plage s'étendant de 0,6 à 0,8 environ, l'influence de la bande de Spin-orbite est réelle et l'on obtient des coefficients

d'ionisation α et β très différents. En effet, le rapport $\frac{\beta}{\alpha}$ est proportionnel au terme $F = \left(1 - \frac{\Delta E'}{\Delta E}\right)^{-2}$, appelé facteur de mérite, illustré par la courbe 101 de la fig. 9, qui représente la valeur du facteur de mérite F en fonction de la composition du substrat, c'est-à-dire de x . On constate que cette valeur passe par un maximum pour une valeur de x sensiblement égale à 0,67 et qu'elle est supérieure à 10 lorsque x est compris entre 0,55 et 0,85. Les valeurs de α et β sont alors très différentes, le gain en courant en fonction de la tension de polarisation est mieux contrôlé et le rapport signal/bruit est plus élevé.

Il faut donc choisir d'une part une valeur de x telle que le facteur de mérite et par conséquent le courant de sortie soient importants, et d'autre part une valeur de x optimisant la réception d'un rayonnement de longueur d'onde $1,3 \mu\text{m}$, valeur optimale pour une transmission par fibre optique.

Les deux valeurs de x les plus satisfaisantes, l'une pour le courant, l'autre pour la longueur d'onde, sont différentes.

La présente invention concerne donc un détecteur capable à la fois de détecter un rayonnement de longueur d'onde de $1,3 \mu\text{m}$ et de fournir un courant de sortie important, c'est-à-dire ayant un gain en courant important, sans pour autant devoir appliquer une tension de polarisation inverse importante. Cette caractéristique se retrouve d'ailleurs sur la courbe de la fig. 10, représentant le gain G défini plus haut, fonction de la tension de polarisation inverse V , pour la valeur de x choisie. On constate que ce gain commence à augmenter pour une tension d'environ -4 ou -5 volts, pour atteindre une valeur de 30, plus que satisfaisante, pour une valeur de V de l'ordre de -10 volts, considérée comme faible.

Pour $x = 0,67$, qui correspond donc à un gain maximal, la longueur d'onde de coupure λ_c est égale à $1,43 \mu\text{m}$, longueur qui convient parfaitement pour la réception d'un

rayonnement de longueur d'onde de $1,3 \mu\text{m}$.

Les caractéristiques du photodétecteur sont avantageusement les suivantes :

- Surface sensible : $1 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$
- 5 - Tension de polarisation inverse V : 10 volts
- Gain en courant G : 30
- Courant de saturation : $< 1 \text{ nA}$
- Courant d'obscurité ($V = -10^V$) : $< 10 \text{ nA}$
- Capacité totale ($V = -10^V$) : $< 1 \text{ pF}$
- 10 - Capacité de jonction ($V = -10^V$) : $< 0,2 \text{ pF}$
- Produit résistance surface ($V=0V$) : $6 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}^2$
- Réponse en courant ($\lambda = 1,3 \mu\text{m}$) : $> 0,5 \text{ A/w}$.
- Température de fonctionnement : 300° K

Revendications

- 1.- Photodétecteur ayant sa sensibilité maximale entre 0,8 et 2 μm , comprenant un substrat de type P en $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, x étant choisi à l'intérieur d'une plage s'étendant de 0,4 à 0,9, et une zone dopée de type N formée sur le substrat, la jonction résultante étant du type P-N, caractérisé par le fait que x est choisi en fonction du gain en courant désiré.
- 2.- Photodétecteur selon la revendication 1, caractérisé par le fait que x est également choisi en fonction de la réponse spectrale désirée.
- 3.- Photodétecteur selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé par le fait que x a une valeur sensiblement égale à 0,67.
- 4.- Photodétecteur selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que le substrat a une concentration en porteurs P inférieure à $10^{15}/\text{cm}^3$.
- 5.- Photodétecteur selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que la zone N est formée par au moins une diffusion thermique de cadmium, ou de mercure, ou d'aluminium, ou d'indium, ou de bore.
- 6.- Photodétecteur selon la revendication 5, caractérisé par le fait que la zone N est formée par deux diffusions thermiques.
- 7.- Photodétecteur selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que la zone N est formée par implantation ionique d'indium, d'aluminium ou de bore.
- 8.- Photodétecteur selon l'une des revendications 3 à 7, caractérisé par le fait qu'il est polarisé avec une tension de -10 volts.

Pl. I/4

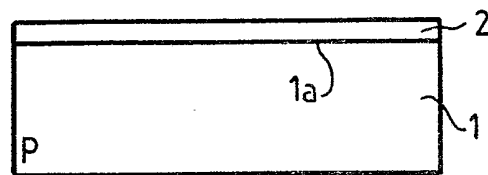
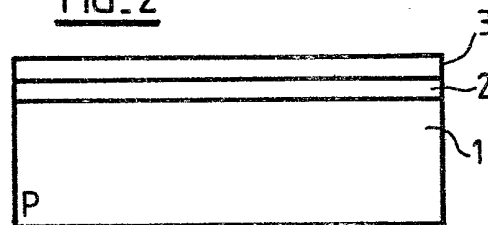
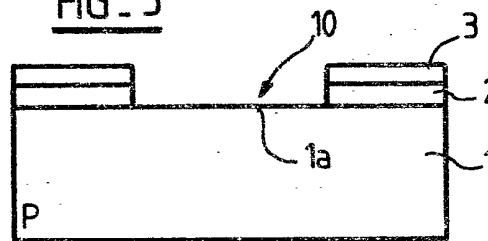
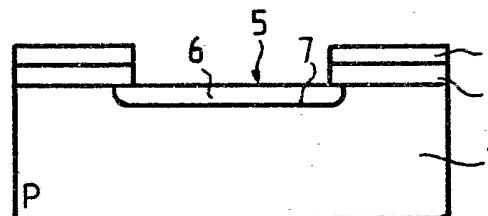
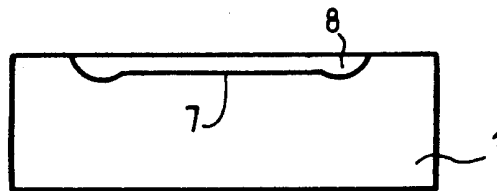
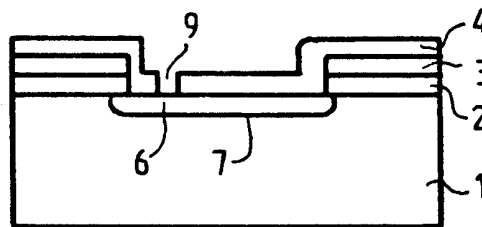
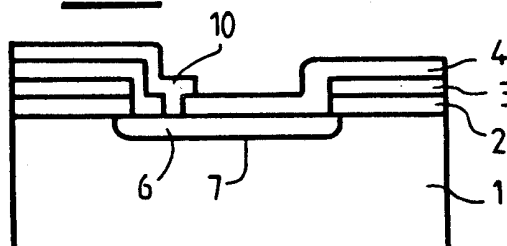
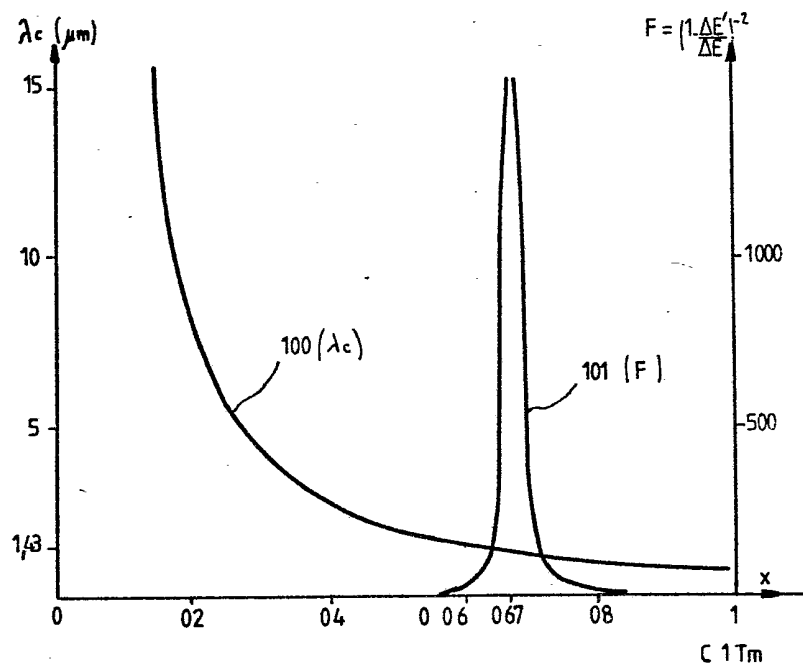
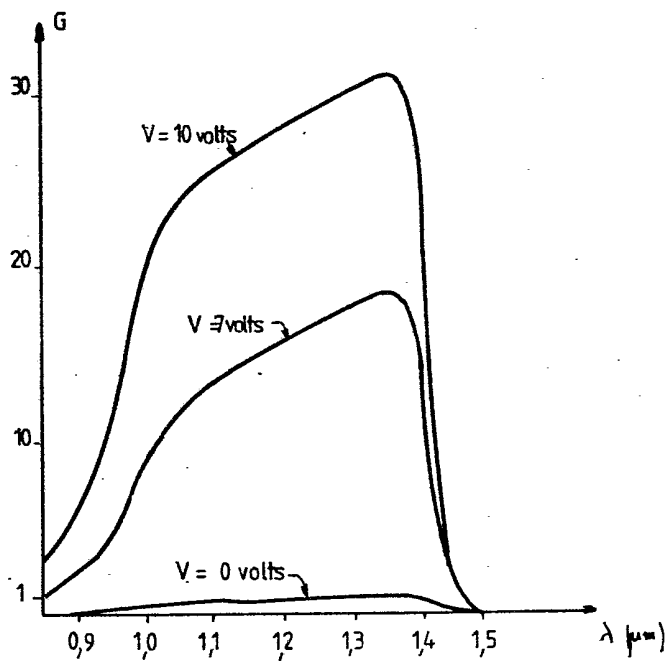
FIG. 1FIG. 2FIG. 3FIG. 4

FIG. 5FIG. 6FIG. 7

FIG_9



FIG_8



FIG_10