

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 09114

(54)

Photodiode de télécommunications à courant d'obscurité minimal.

(51)

Classification internationale (Int. Cl.³). H 01 L 31/06.

(22)

Date de dépôt..... 23 avril 1980.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 44 du 30-10-1981.

(71)

Déposant : Société dite : THOMSON-CSF, résidant en France.

(72)

Invention de : Thomas Pearsall.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Thomson-CSF, SCPI,
173, bd Haussmann, 75360 Paris Cedex 08.

L'invention a pour but la diminution du courant d'obscurité, dans une photodiode destinée aux télécommunications sur fibres optiques, comportant un matériau semiconducteur à bande interdite relativement faible, choisie en fonction de la longueur d'onde de la lumière utilisée dans un système de
5 télécommunications déterminé.

On sait, en effet, que le courant d'obscurité, dit aussi courant de fuite, est d'autant plus fort que la bande interdite est plus faible.

L'invention permet d'éviter cet inconvénient en utilisant une photodiode à hétérojonction.

10 La photodiode selon l'invention comporte un premier matériau semiconducteur, présentant un premier type de conductivité, dont la bande interdite est déterminée en fonction de la longueur d'onde de la lumière à absorber.

Elle est caractérisée en ce qu'elle comporte une jonction métallurgi-
15 que entre le premier matériau et un deuxième matériau semiconducteur à bande interdite plus grande que celle du premier matériau, comportant une première région du même type de conductivité que le premier matériau, contigüe à la jonction métallurgique, et une deuxième région semiconductrice présentant un type opposé de conductivité, formant avec la première une
20 jonction semiconductrice distincte de la jonction métallurgique.

L'invention sera mieux comprise, et d'autres caractéristiques apparaitront, au moyen de la description qui suit, et des dessins qui l'accompagnent parmi lesquels :

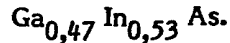
la figure 1 représente les bandes de valence et de conduction d'une
25 structure classique de photodiode ;

la figure 2 représente les bandes de valence et de conduction d'une structure selon l'invention ;

les figures 3 et 4 sont des vues en coupe de photodiodes selon l'invention.

30 Les phénomènes de base utilisés dans le cadre de l'invention sont

passés ci-après en revue, notamment en prenant comme exemple un matériau semiconducteur à faible bande interdite, apte à l'absorption de lumière de longueur d'onde 1,55 micron, et de formule :



On a représenté figure 1 les bandes de valence et de conduction d'une structure comportant une couche dopée p et une couche dopée n de ce matériau semiconducteur. On distingue dans la structure, lorsqu'on progresse suivant un axe Ox perpendiculaire aux couches p et n, une première région 1, comportant la majeure partie de la couche p, dans laquelle les trous sont majoritaires, à l'autre extrémité, on trouve une région 3 comprenant la majeure partie de la couche n, dans laquelle les électrons sont majoritaires ; entre les deux régions on distingue une région intermédiaire 2, qui est la zone dite de "charge d'espace", laquelle est vidée d'électrons et de trous. Des courbes C_1 et C_2 délimitent la bande interdite en l'absence de polarisation extérieure. On désigne ci-après par J_1 et J_2 les densités de courant d'obscurité correspondant respectivement au phénomène de génération et de recombinaison des paires électron-trou dans la région 2 et au phénomène de diffusion des électrons et des trous dans l'ensemble de la structure.

Le courant J_1 obéit à la loi de formation suivante :

$$J_1 \text{ (A/cm}^2\text{)} = \frac{e n_i W}{2 \tau_0} \quad (1)$$

formule dans laquelle :

e est la charge de l'électron ;

n_i est la densité intrinsèque du nombre de porteurs de charge ;

W est l'épaisseur de la région 2 ;

τ_0 est la constante de temps de recombinaison, obéissant à la loi suivante :

$$\tau_0 = 10^{-9} \cosh E_g / kT \quad (2)$$

avec :

E_g : largeur de bande interdite en électrons-volts ;

k : constante de Boltzmann ;

T : température absolue en degrés Kelvin.

De la combinaison des relations (1) et (2) on déduit que, pour diminuer J_1 , il convient d'augmenter la largeur de la bande interdite soit le terme E_g . En effet, la croissance du terme τ_0 , et la diminution de n_i sont quasi-exponentielles par rapport à E_g .

Le courant J_2 obéit à la loi ci-après :

$$J_2 \text{ (A/cm}^2\text{)} = e n_i^2 \left(\frac{D_N}{N_1 L_n} + \frac{D_P}{N_3 L_p} \right) \quad (3)$$

où n_i et e désignent les mêmes grandeurs que plus haut, et en outre, D_N et D_P sont les coefficients de diffusion des porteurs minoritaires créés par
10 génération thermique dans les régions 1 et 3, on a :

$$D_N = \mu_e \frac{kT}{e} \quad (4)$$

$$D_P = \mu_h \frac{kT}{e} \quad (5)$$

avec :

μ_e et μ_h : mobilités des électrons et des trous, respectivement ;

N_1 et N_3 : nombres par cm^3 de porteurs majoritaires en régions 1 et
3 ;

20 L_n et L_p : libres parcours moyens des électrons et des trous dans les régions 1 et 3.

En conclusion, on voit facilement qu'en accroissant la largeur de bande interdite, on diminuerait fortement les courants J_1 et J_2 et leur somme, c'est-à-dire le courant d'obscurité, par suite de la diminution de n_i dans les
25 deux cas et de l'augmentation du terme τ_0 dans le dénominateur de J_1 (voir formule 1).

Sur la figure 2, on a représenté de façon analogue à celle de la figure 1, une structure conforme à l'invention.

Cette structure comporte deux matériaux semiconducteurs, l'un SC1 à
30 faible largeur de bande interdite (par exemple 0,75 eV pour le matériau $\text{Ga}_{0,47}\text{In}_{0,53}\text{As}$) et l'autre SC2 à largeur de bande interdite nettement plus grande (par exemple 1,35 eV pour InP).

On distingue, dans la structure de la figure 2, les régions suivantes :

21 : région en matériau SC1, par exemple de type n ;

22, 23 et 24 : régions en matériau SC2, mais où l'on a :

22 : une région dopée n, comme la région 21 ;

23 : une région de charge d'espace ;

24 : une région dopée dans le type de conductivité opposé (p).

5 Si l'on compare les figures 1 et 2, on observe que :

1°) La jonction semiconductrice (région 23) est tout entière située dans le matériau semiconducteur SC2 ;

2°) Les courbes C_1 et C_2 , limites des bandes de valence et de conduction, présentent des irrégularités près de la jonction métallurgique
10 des matériaux SC1 et SC2, soit dans la région 23.

Pour obtenir une photodiode plus efficace, on complète la structure qui vient d'être décrite par des régions dopées n^+ du côté dopé n et p^+ du côté dopé p, et par des contacts ohmiques placés sur ces dernières afin de permettre l'application d'une polarisation extérieure.

15 Dans le cas général, l'épaisseur de la région 21 est choisie de façon à être d'un ordre de grandeur très voisin de la longueur efficace d'absorption optique à la longueur d'onde choisie par exemple 1,55 micromètre pour $Ga_{0,47}In_{0,53}As$.

Dans ce dernier cas, cette épaisseur "d" sera comprise entre 1 et 2
20 micromètres.

L'épaisseur de la région 22 ne devrait pas excéder le libre parcours moyen des porteurs minoritaires (soit 1 micron environ pour un trou dans InP).

La région 21 en matériau SC1 pourrait présenter une conductivité de
25 type p. Toutefois, on préfère une conductivité de type n, en raison de la plus faible mobilité des trous, afin de diminuer corrélativement le courant d'obscurité résultant de la diffusion des porteurs minoritaires (trous dans le cas du dopage n).

Sur la figure 3, on a représenté, à titre d'exemple, une photodiode à
30 structure méso, dont la partie méso est sensiblement cylindrique d'axe XX, comportant :

- un contact ohmique 31 recouvrant la partie méso ;

- une couche 32 en matériau SC1 ($Ga_{0,47}In_{0,53}As$) dopée n^+ ;

- une couche 33 en matériau SC2 (InP) dopée n ;
- une couche 34 en matériau SC2 dopée p ;
- un substrat 35 en matériau SC2 dopé p^+ ;

un contact ohmique de forme annulaire 36 laissant accéder la lumière (37) à la partie centrale de la face libre du substrat.

On a représenté en outre une source de polarisation extérieure 38, dont le pôle positif est relié au contact 31.

- 5 Pour fabriquer cette photodiode, on part d'un substrat d'InP dopé p^+ sur lequel on dépose par exemple une couche épitaxiale d'InP dopé n, que l'on dope en partie p par diffusion du dopant du substrat, par exemple par chauffage, enfin l'on dépose par épitaxie une couche n^+ de $Ga_{0,47} In_{0,53} As$. On effectue enfin une gravure méso.

- 10 Sur la figure 4, on a représenté, à titre d'autre exemple de réalisation de l'invention, une photodiode de structure planar, comportant :

- un contact ohmique 41 de forme annulaire laissant accéder la lumière à la première couche ($Ga_{0,47} In_{0,53} As$) de la structure ;
- la première couche (42) en matériau SC1 dopé p^+ ;

- 15 - une couche 43 en matériau SC2 (InP) dopé p ;
- une couche 44 en matériau SC2 dopé n ;
 - un substrat 45 en matériau SC2 dopé n^+ ;
 - un contact ohmique 46.

- On a représenté en outre une source de polarisation extérieure 48 dont
20 le pôle négatif est relié au contact 41.

La fabrication d'une telle photodiode est effectuée de façon analogue à celle de la structure de la figure 3, sauf en ce qui concerne la gravure méso.

- D'autres variantes peuvent être réalisées de façon analogue aux
25 photodiodes des figures 3 et 4 :

a) en remplaçant InP par $Ga_x In_{1-x} As_y P_{1-y}$ (x et y étant des paramètres compris entre zéro et un) ce qui peut donner toutefois des courants d'obscurité moins bons que dans les exemples déjà cités ;

- b) en remplaçant $Ga_{0,47} In_{0,53} As$ par un composé quaternaire de la
30 formule ci-dessus mais en choisissant x et y de façon à absorber une lumière de longueur d'onde prédéterminée ;

- c) en combinant les deux variantes (a) et (b) ci-dessus ;
- d) en permutant les types de conductivité, les polarisations et éventuellement les faces d'accès de la lumière à absorber.

REVENDEICATIONS

1. Photodiode de télécommunications à courant d'obscurité minimal, comportant un premier matériau semiconducteur, présentant un premier type de conductivité, dont la bande interdite est déterminée en fonction de la longueur d'onde de la lumière à absorber, caractérisée en ce qu'elle comporte une jonction métallurgique entre le premier matériau et un
5 deuxième matériau semiconducteur à bande interdite plus grande que celle du premier matériau, comportant une première région du même type de conductivité que le premier matériau, et une deuxième région semiconductrice présentant un type opposé de conductivité, formant avec la première une jonction semiconductrice distincte de la jonction métallurgi-
10 que.

2. Photodiode suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les matériaux semiconducteurs sont des composés distincts de même formule générale :

$$\text{Ga}_x \text{In}_{1-x} \text{As}_y \text{P}_{1-y}$$

15 avec : $0 \leq x \leq 1$
 $0 \leq y \leq 1$

x et y étant choisis de telle manière que la bande interdite du deuxième matériau soit plus large que celle du premier.

3. Photodiode suivant la revendication 2, caractérisée en ce que le
20 premier matériau répond à la formule :

$$\text{Ga}_{0,47} \text{In}_{0,53} \text{As}$$

et le deuxième matériau est InP.

4. Photodiode suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce qu'elle comporte :

- 25
- un premier contact ohmique ;
 - une première couche d'un premier matériau semiconducteur d'un premier type de conductivité ;
 - une deuxième couche d'un deuxième matériau semiconducteur comportant elle-même une couche contigüe à la première de même type de
30 conductivité que celle-ci et une autre couche de type de conductivité opposé ;

8'

- un substrat du même matériau semiconducteur que la deuxième couche et d'un type de conductivité opposé à celui de la première couche ;
 - un deuxième contact ohmique ;
 - l'un des contacts ohmiques ayant une forme annulaire pour laisser
- 5 passer la lumière.

FIG. 1

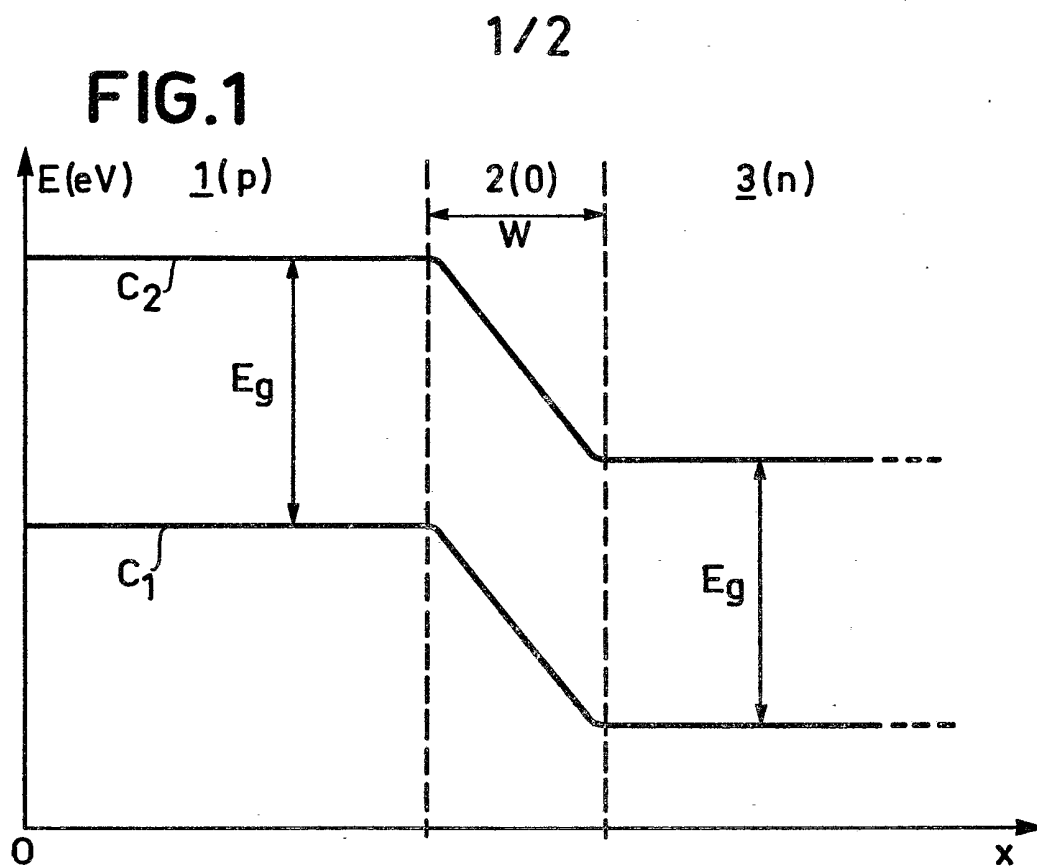
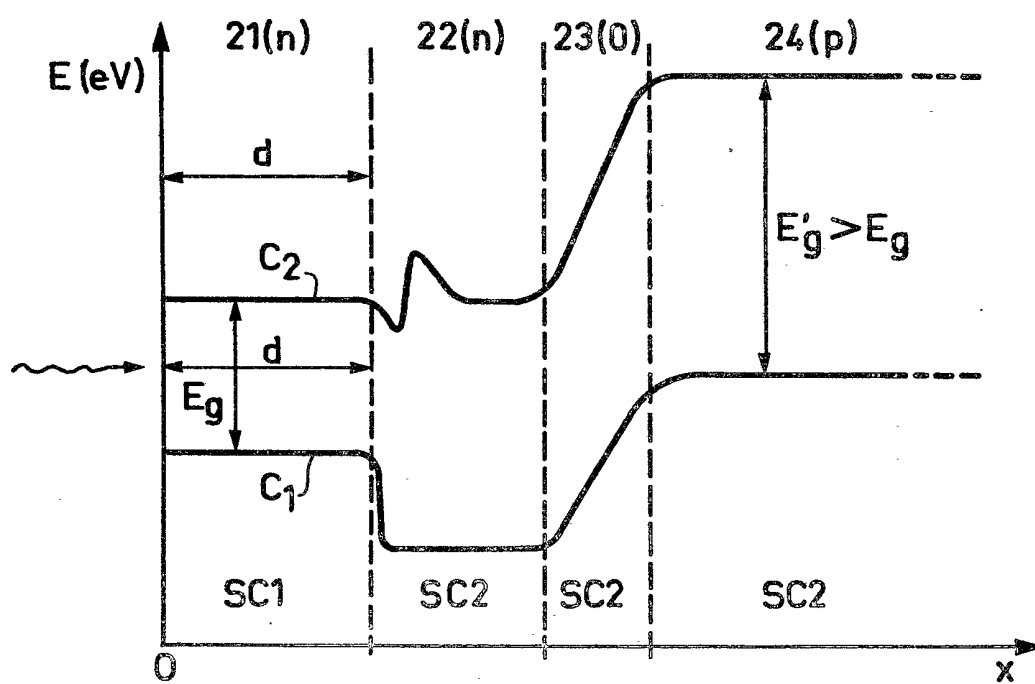


FIG. 2



2/2

FIG. 3

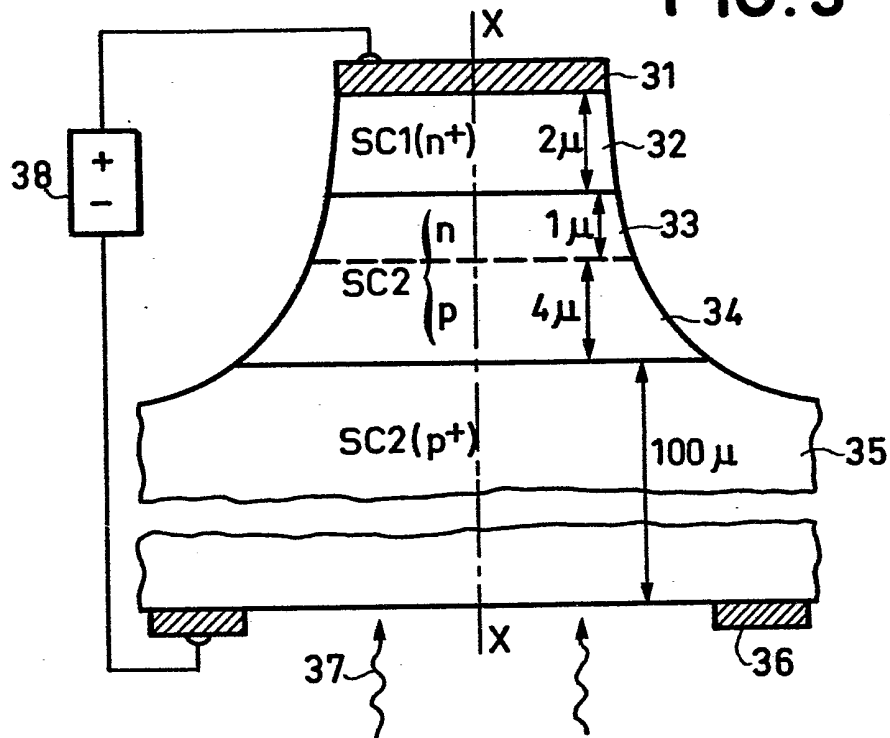


FIG. 4

