

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫ Date de dépôt : 29.11.90.

⑬ Priorité :

⑭ Date de la mise à disposition du public de la demande : 05.06.92 Bulletin 92/23.

⑮ Liste des documents cités dans le rapport de recherche : *Le rapport de recherche n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑯ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑰ Demandeur(s) : Société dite: THOMSON-CSF — FR.

⑱ Inventeur(s) : Rosencher Emmanuel et Bois Philippe.

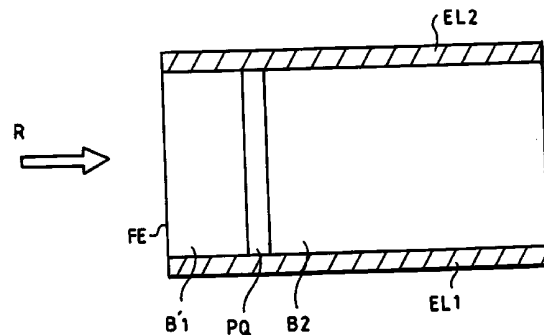
⑲ Titulaire(s) :

⑳ Mandataire : Lardic René Thomson-CSF.

① Bolomètre électronique à puits quantique et application à un détecteur de rayonnements.

② Bolomètre électronique comportant au moins un puits quantique (PQ) compris entre deux couches barrières. Il comporte une face d'entrée (FE) parallèle à la couche de puits quantique et recevant un faisceau (R) sous incidence quasi-normale. Deux électrodes (EL1, EL2) réalisées perpendiculairement aux couches du puits quantique permettent de mesurer une variation de résistivité du puits quantique.

Applications: Détecteur d'ondes électromagnétiques.



1

**BOLOMETRE ELECTRONIQUE A PUIITS QUANTIQUE  
ET APPLICATION A UN DETECTEUR DE  
RAYONNEMENTS**

L'invention concerne un bolomètre électronique à puits quantique et son application à un détecteur d'ondes électromagnétiques, plus particulièrement un détecteur d'ondes à semiconducteur à puits quantiques. Ce détecteur fonctionne  
5 comme un bolomètre à électrons chauds qui permet, par rapport aux dispositifs connus utilisant des puits quantiques, de détecter des ondes en incidence normale.

Par exemple, le document de B.F. LEVINE et al publié dans Applied Physic Letters n° 53, 296 de 1988 décrit un  
10 photoconducteur à puits quantiques comportant comme cela est représenté en figure 1 un empilement de puits quantiques constitués chacun d'une couche de GaAs (telle que la couche 1) encadrée par deux couches de AlGaAs (telles que les couches 2 et 3). Des électrodes 4 et 5 sont prévues à la partie supérieure et à la partie inférieure de l'empilement de couches. Dans un  
15 tel dispositif, les électrons sont stockés sur leur niveau quantique dans le puits quantique de GaAs. Sous éclairnement, ces électrons sont excités dans la bande de conduction de la barrière de potentiel (AlGaAs) et sont collectés dans les  
20 contacts ohmiques (électrodes 4 et 5) situés de part et d'autre de l'empilement des puits quantiques.

Ce type de détecteur présente deux inconvénients :

1- En régime photoconducteur, le courant est indépen-  
25 dant du nombre de puits à champ électrique constant. Un seul puits peut détecter la lumière, la structure se repolarisant pour garder ce courant dans le détecteur. Ceci provient du fait que dans ce détecteur, le flux de photons est parallèle au flux d'électrons.

30 2- Le mouvement des électrons n'étant quantifié que

dans la direction de croissance, seule la composante normale aux puits quantiques du champ électromagnétique interne est détectée. Ainsi, ce dispositif ne détecte pas les ondes incidentes normales à la surface, ce qui rend leur intégration dans des systèmes matriciels très difficile comme cela est décrit dans les documents.

- . K.W. GOOSEN and S.A. LYON, Applied Physic Letters 53, 1027 (1988)
- 10 . G. HASNAM, B.F. LEVINE, C.G. BETHEA, R.A. LOGAN, J. WALKER and R.J. MOLIK, Applied Physic Letters 54, 2515 (1989).

Le premier inconvénient a trouvé une solution dans la Demande de Brevet 90 06932 déposée le 5 Juin 1990 (E. ROSENCHER et B. VINTER) en adoptant une géométrie des contacts ohmiques transverses. Le dispositif décrit dans cette Demande de Brevet comporte au moins un premier puits quantique et un deuxième puits quantique non dopé, un transfert d'électrons du premier puits vers le deuxième puits étant possible sous l'effet d'un rayonnement incident de façon oblique par rapport au plan des puits quantiques. Le détecteur comporte en outre des contacts ohmiques situés latéralement par rapport aux deux puits quantiques.

25 Le deuxième inconvénient est remédié par la présente invention. L'idée de base de l'invention est d'utiliser un phénomène physique qui ne soit pas sensible à la polarisation de la lumière : la bolométrie d'électrons chauds.

L'invention concerne donc un bolomètre électronique à puits quantique, caractérisé en ce qu'il comporte :

- un empilement de couches de semiconducteurs réalisant au moins un puits quantique comportant au moins un premier niveau permis et possédant une face d'entrée parallèle auxdites couches destinée à recevoir un faisceau d'éclairement

selon un angle d'incidence par rapport à la normale compris entre 0 et 80 degrés ;

- des moyens de peuplement en porteurs de charges (électrons ou trous) du premier niveau permis ;

5                   - au moins deux électrodes situées sur deux parties latérales opposées de l'empilement de couches.

L'invention concerne également un détecteur de rayonnements à semiconducteurs, caractérisé en ce qu'il comporte un bolomètre destiné à être éclairé par un rayonnement à détecter  
10 selon un angle d'incidence voisin de l'incidence normale.

Les différents objets et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description qui va suivre et dans les dessins annexés qui représentent :

- la figure 1, un dispositif connu décrit  
15 précédemment ;

- les figures 2a et 2b, un schéma simplifié du dispositif de l'invention ;

- les figures 3a et 3b, un schéma de fonctionnement détaillé du dispositif de l'invention ;

20                   - les figures 4a et 4b, un exemple de réalisation détaillée du dispositif de l'invention ;

- la figure 5 représente la photo-réponse d'un tel détecteur selon l'invention.

Le dispositif de l'invention représenté de façon schématique en figure 2a comporte un empilement de couches B1, PQ, B2. La couche PQ est un matériau semiconducteur peuplé en porteurs et constitue un puits quantique. Les couches B1 et B2 constituant les barrières du puits quantique. Des électrodes EL1, EL2 sont disposées sur deux tranches opposées du  
25 dispositif.  
30

Une telle structure présente un profil de bande de conduction tel que représenté en figure 2b. Le dimensionnement des puits est tel que la différence entre les deux premiers niveaux d'énergie  $E_2 - E_1$  ou  $E_{CB} - E_1$  corresponde à l'énergie de l'onde électromagnétique à détecter. Bien entendu, cette

structure peut être réalisée aussi bien avec des électrons qu'avec des trous, désignés sous le terme "porteurs" dans ce qui va suivre.

Le phénomène bolométrique s'appuie sur la variation de conductivité des porteurs en fonction de leur température électronique  $T_e$ , c'est-à-dire de leur énergie dans leur état excité par rapport à leur état fondamental. En obscurité, cette température électronique dépend du champ électrique appliqué  $E$ . La conductivité  $\sigma$  des puits quantiques en obscurité est alors donnée par :

$$\sigma(T_e) = \sigma(E) = \sigma_0 (1 + \beta E^2) \quad (1)$$

où  $\sigma_0$  est la conductivité à faible champ et  $\beta$  le coefficient de non-linéarité.

La puissance lumineuse absorbée par les porteurs de la sous-bande (effet Drude) est convertie en température électronique  $\Delta T_e$ . En d'autres termes, le gaz électronique est chauffé, provoquant une photoconductivité  $\Delta\sigma$  (équation 1). KOGHAN (voir documents : SH. M. KOGAN, Soviet Physics-Solid State, 4, 1386 (1963)) a montré que, dans les matériaux massifs InSb, la réponse en  $V/W$  associée à cet effet bolométrique  $\Delta V/P_{\text{absorbée}}$  est donnée par :

$$R = \eta \frac{1}{S\sigma} \cdot \frac{\beta E}{1 + 2\beta E^2} \quad (2)$$

où  $\eta$  est le pourcentage d'énergie absorbée et  $S$  la surface éclairée. Dans le cas des puits quantiques, la quantification des énergies des porteurs conduit à une augmentation résonnante de l'absorption de la lumière.

La figure 3a représente un exemple pratique de réalisation. Il s'agit d'un empilement :

- des puits quantiques PQ1, PQ2, PQ3 de GaAs dopé à  $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  d'épaisseur égale à 6 nm,

- des barrières de potentiel B1, B2, B3, B4...  
entourant les puits quantiques, de 25 nm d'épaisseur en  $\text{Al}_{0,24}\text{Ga}_{0,76}\text{As}$ .

5 Le tout est épitaxié par tout moyen de l'art sur un  
substrat de GaAs semi-isolant. Les épaisseurs et les  
compositions des couches sont calculées pour obtenir une  
transition résonnante à 10.6  $\mu\text{m}$ .

10 La figure 3b représente le profil de potentiels de la  
bande de conduction de cette structure, mais on aurait pu  
représenter le profil potentiel de la bande de valence.

En ce qui concerne le détecteur lui-même, des  
dimensions latérales de 100 x 100 micromètres, à titre  
d'exemple, conviendront. Les contacts ohmiques latéraux  
pourront être obtenus par diffusion d'indium, par exemple. En  
15 ce qui concerne la détection du courant, un générateur de  
courant G1 peut être connecté aux bornes EL1 et EL2 du  
dispositif et la variation de potentiel mesurée par un détecteur  
synchrone DEC ou tout autre montage électronique de l'art.

20 En se reportant aux figures 4a et 4b, on va  
maintenant décrire un exemple de réalisation détaillé du  
dispositif de l'invention.

Le dispositif comporte, un substrat en GaAs  
semi-isolant, une alternance de couches formant des puits  
quantiques PQ1, PQ2, PQ3 et de couches barrières B1 à B4.

25 Dans ces couches sont réalisées des diffusions ou des  
implantations de type  $n^+$  de façon à réaliser des contacts  
ohmiques avec des connexions CO1 et CO2.

La figure 4b représente en perspective la structure de  
la figure 4a.

30 Les différentes couches du dispositif peuvent être  
réalisées en GaAs et AlGaAs comme cela a été décrit  
précédemment.

La figure 5 représente des résultats d'essais de  
fonctionnement obtenus à l'aide d'une structure selon  
l'invention. Il s'agit de la réponse d'un détecteur à 15K sous

une irradiation laser de 1 mW à une longueur d'onde de 10,6  $\mu\text{m}$  en fonction de l'angle d'incidence  $\theta$ . On constate que le composant détecte bien à incidence normale contrairement aux dispositifs connus avec une réponse de 0,05 A/W à 15K.

5 Il est à noter que, dans ce qui précède, le peuplement en porteurs, par exemple en électrons, du puits quantique est réalisé par dopage direct du puits ou dopage modulé des barrières. On prévoit également, selon l'invention, que ce peuplement en électrons se fait à l'aide d'un rayonnement  
10 Rd représenté sur la figure 4a (alors que le rayonnement à détecter est représenté par R). La caractéristique de ce rayonnement Rd doit être telle que sa longueur d'onde corresponde à une énergie supérieure à l'énergie de confinement du puits quantique c'est-à-dire supérieure à  $E_g + E_1 + E_{hh_1}$   
15 où :  $E_g$  est la largeur de bande interdite de la couche de puits quantique  
 $E_1$  est le premier niveau quantifié en électrons du puits quantique  
 $E_{hh_1}$  est le premier niveau quantifié en trous du  
20 puits quantique.

Dans les exemples de réalisation des figures 3a et 4a on considère à priori une détection d'un faisceau d'une seule longueur d'onde. Cependant la structure de l'invention est appli-  
25 cable à la détection de plusieurs longueurs d'ondes. Pour cela, on prévoit des puits PQ1, PQ2, PQ3 de caractéristiques différentes. Notamment, on peut prévoir des puits de largeurs différentes.

Par ailleurs, le dispositif de l'invention peut être  
30 réalisé sous forme d'une barrette ou d'une matrice par implantation d'électrodes dans une même plaque. Chaque élément de la barrette ou de la matrice pouvant être lu individuellement. Le fonctionnement à incidence normale du dispositif de l'invention permet une intégration et un fonctionnement sous forme matricielle.

Il est bien évident que la description qui précède n'a été faite qu'à titre d'exemple. Les exemples numériques et de matériaux (Arsenic et Gallium par exemple) notamment n'ont été fournis que pour illustrer la description.

## R E V E N D I C A T I O N S

1. Bolomètre électronique à puits quantique, caractérisé en ce qu'il comporte :

5 - un empilement de couches de semiconducteurs (B1, PQ, B2) réalisant au moins un puits quantique comportant au moins un premier niveau permis et possédant une face d'entrée (FE) parallèle auxdites couches destinée à recevoir un faisceau d'éclairement (R) selon un angle d'incidence par rapport à la normale compris entre 0 et 80 degrés ;

10

- des moyens de peuplement en porteurs de charges (électrons ou trous) du premier niveau permis ;

15

- au moins deux électrodes situées sur deux parties latérales opposées de l'empilement de couches.

2. Bolomètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'angle d'incidence peut être voisin de 0 degrés.

20 3. Bolomètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de peuplement de porteurs de charges est un dopage direct de la couche du puits quantique et/ou un dopage modulé.

25 4. Bolomètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de peuplement en électrons comportent un faisceau lumineux de longueur d'onde supérieure à l'énergie de confinement du puits quantique.

5. Bolomètre selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un empilement de puits quantiques.

30 6. Bolomètre selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte des circuits de mesure de conductivité connectés aux électrodes (EL1, EL2).

7. Détecteur de rayonnements à semiconducteurs,

caractérisé en ce qu'il comporte un bolomètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, destiné à être éclairé par un rayonnement à détecter selon un angle d'incidence voisin de l'incidence normale à la face d'entrée (FE).

5           8. Détecteur de rayonnements à semiconducteurs selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comprend un arrangement de bolomètres en barrette, ou en matrice.

          9. Détecteur de rayonnements à semiconducteurs selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comporte un  
10 empilement de plusieurs puits quantiques de caractéristiques différentes.

          10. Détecteur de rayonnement à semiconducteurs selon la revendication 9, caractérisé en ce que les épaisseurs des  
couches de puits quantiques sont différentes de façon à ce que  
15 chaque puits permette de détecter une longueur d'onde particulière.

20

25

30

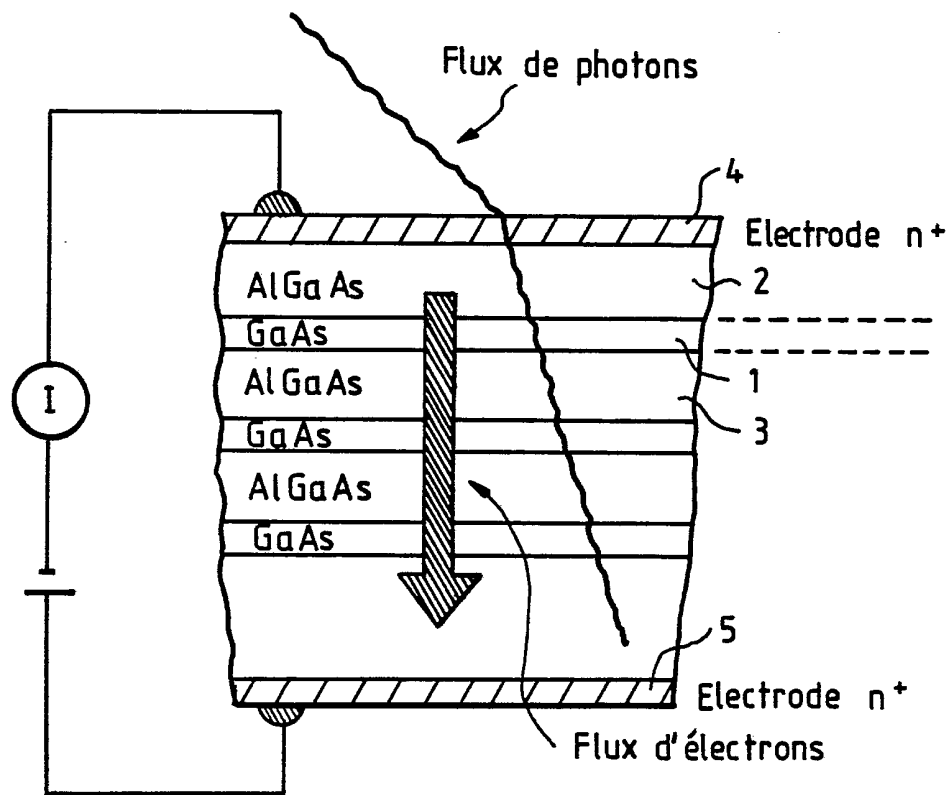


FIG.1

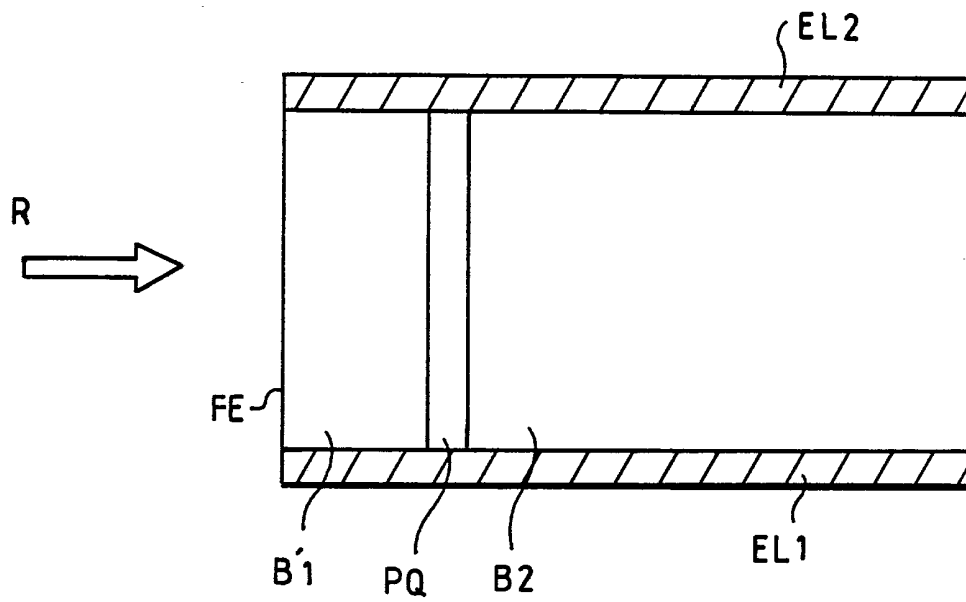


FIG.2a

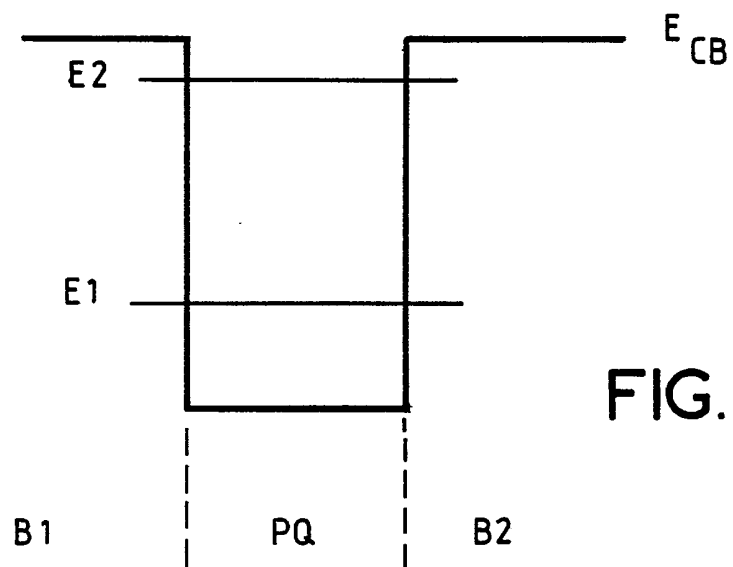
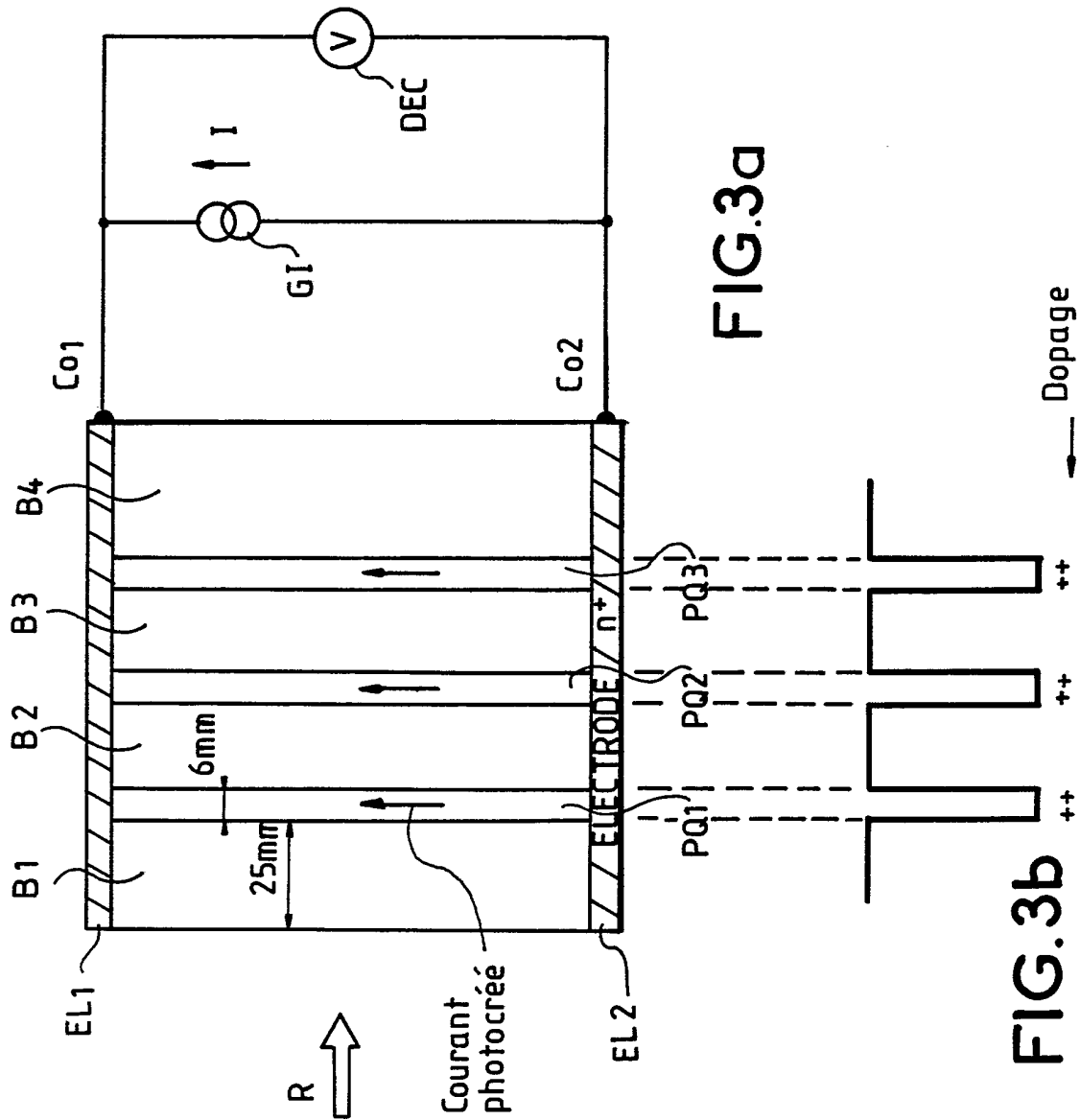


FIG.2b



4/5

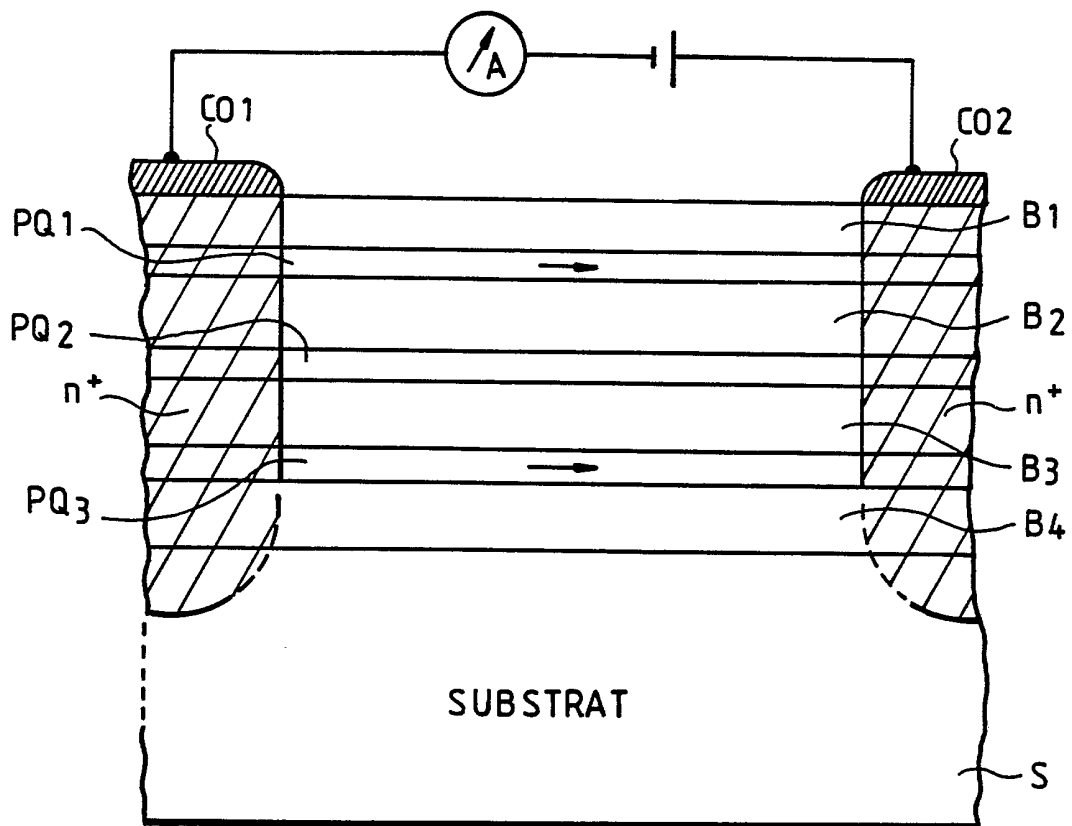


FIG. 4a

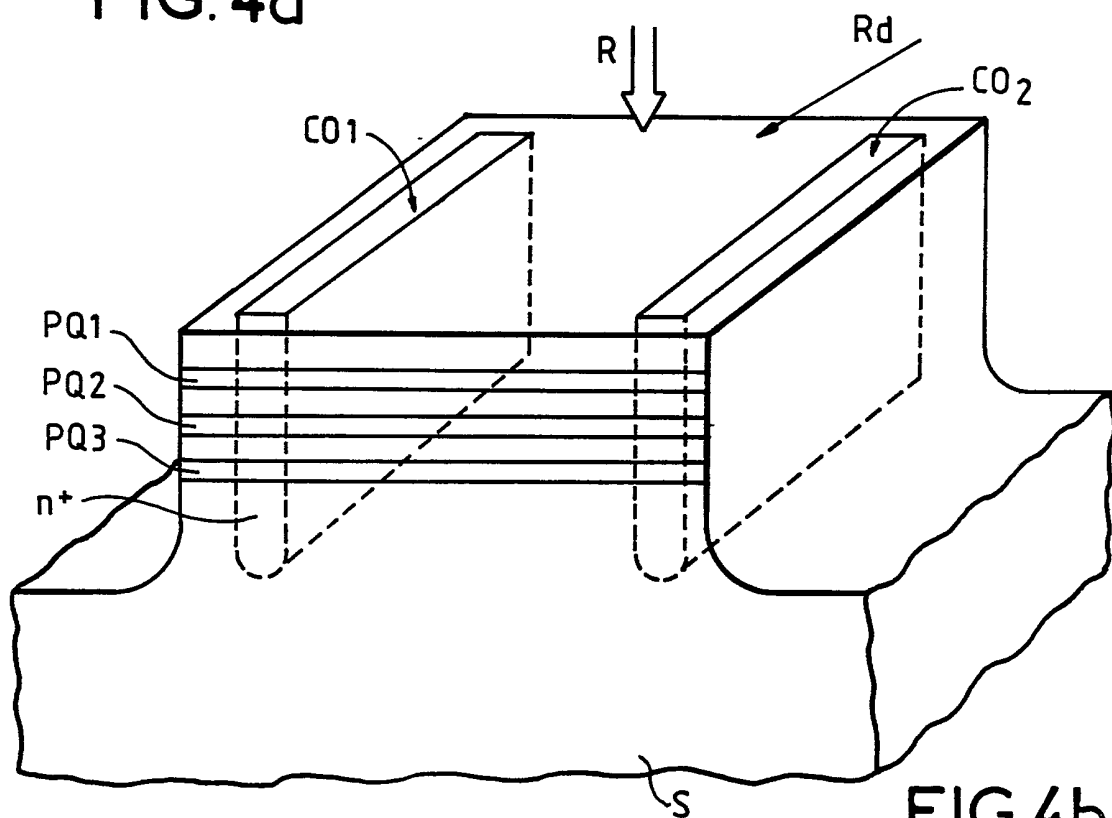


FIG. 4b

5/5

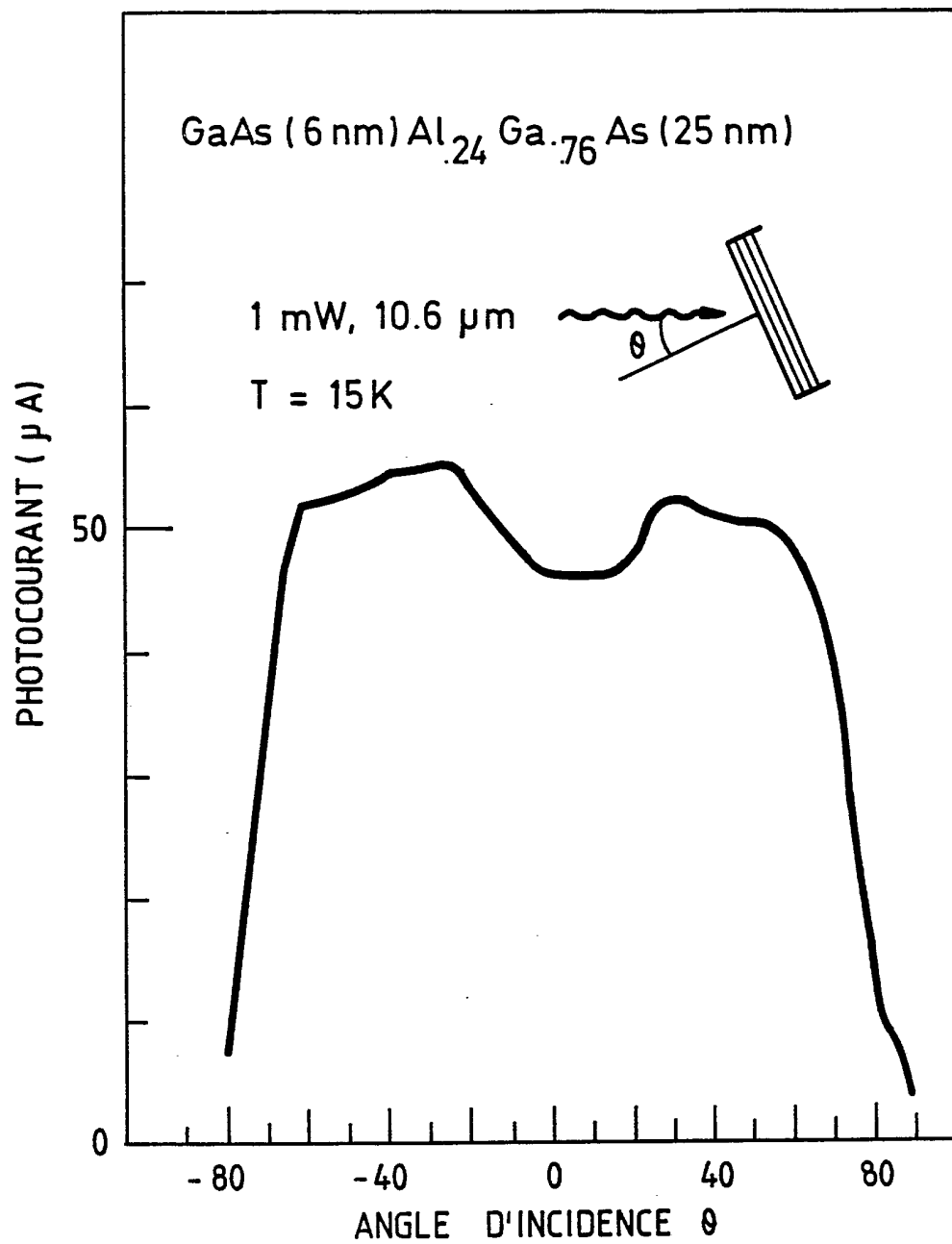


FIG.5