



**HAL**  
open science

## **BILAS : intégration monolithique d'un phototransistor et d'une diode laser sur GaAs en vue de la réalisation de fonctions optiques**

A. Cazarre, A. Marty, J.P. Bailbe, A. Bensoussan, Françoise Lozes-Dupuy, S. Nacer

### ► To cite this version:

A. Cazarre, A. Marty, J.P. Bailbe, A. Bensoussan, Françoise Lozes-Dupuy, et al.. BILAS : intégration monolithique d'un phototransistor et d'une diode laser sur GaAs en vue de la réalisation de fonctions optiques. *Revue de Physique Appliquée*, 1987, 22 (8), pp.913-917. 10.1051/rphysap:01987002208091300 . jpa-00245632

**HAL Id: jpa-00245632**

**<https://hal.science/jpa-00245632>**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification  
 Physics Abstracts  
 42.55P — 42.60

## BILAS : intégration monolithique d'un phototransistor et d'une diode laser sur GaAs en vue de la réalisation de fonctions optiques

A. Cazarre, A. Marty, J. P. Bailbe, A. Bensoussan, F. Lozes-Dupuy et S. Nacer

Laboratoire d'Automatique et d'Analyse des Systèmes,  
 7, avenue du Colonel-Roche, 31077 Toulouse Cedex, France

(Reçu le 2 février 1987, accepté le 7 mai 1987)

**Résumé.** — L'intégration monolithique et verticale par E.P.L. d'un circuit optoélectronique associant une diode laser GaAlAs type VSIS et un phototransistor à hétérojonction GaAlAs/GaAs par E.P.L. est réalisée. Un couplage optique entre les deux composants, débouchant sur une fonction de « monostable optique » est mis en évidence et analysé.

**Abstract.** — A GaAlAs VSIS laser diode has been monolithically integrated with a heterojunction Bipolar phototransistor on a P GaAs substrate by E.P.L. A switching function produced by the optical coupling between the two devices is obtained and studied.

### 1. Introduction.

Le développement des transmissions par fibres optiques, déclenché par l'essor rapide des diodes laser et des photorécepteurs à base de matériaux III-V, a fait apparaître ces dernières années une intensification des recherches dans le domaine des C.I. optoélectroniques (C.I.O.E.) [1-10].

Dans ce contexte, l'association des matériaux GaAs et GaAlAs a donné lieu à de nombreux travaux pour l'optoélectronique III-V, de par les performances qu'ils offrent dans le domaine des longueurs d'onde infrarouges (0,85  $\mu\text{m}$ ) au point de vue sensibilité et rapidité [6, 9, 11].

La structure proposée ici repose sur l'intégration verticale d'une diode laser GaAlAs à ruban VSIS [9, 13] et d'un phototransistor à hétérojonction GaAlAs/GaAs par la technique d'épitaxie en phase liquide (E.P.L.).

Nous décrivons tout d'abord de façon schématique la structure BILAS envisagée ainsi que les paramètres technologiques caractéristiques des différentes couches.

Nous présentons ensuite les résultats expérimentaux concernant nos premières réalisations, ainsi qu'une analyse du fonctionnement observé.

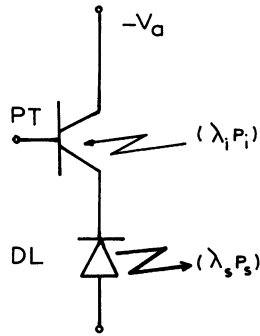
### 2. Description et réalisation technologique de la structure BILAS.

La figure 1 donne une représentation schématique de la structure verticale proposée ainsi que son principe de fonctionnement.

Le phototransistor convertit le signal lumineux incident de faible puissance en un courant électrique qui, s'il est supérieur au seuil d'émission de la diode laser, permet de recueillir en sortie un signal lumineux plus intense.

Sur le plan technologique, cette structure comprend les éléments suivants :

- un substrat de GaAs de type P dopé zinc de surface orientée dans le plan (1, 0, 0),
- une couche tampon de GaAs de type P dopée germanium à  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , d'épaisseur de l'ordre de 6  $\mu\text{m}$ ,
- une couche bloquante de GaAs de type N dopée tellure à  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , d'épaisseur 0,8  $\mu\text{m}$ ,
- une couche de confinement  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  de type P dopée germanium et d'épaisseur 0,4  $\mu\text{m}$  hors du ruban,
- une couche active  $\text{Ga}_{0,95}\text{Al}_{0,05}\text{As}$  de type P, dopée germanium à  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , d'épaisseur 0,1  $\mu\text{m}$ ,



GaAs	N Contact	1 μm 10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>	Photo-transistor
GaAlAs	N Emetteur	1 μm 10 <sup>17</sup>	
GaAs	P Base	0,1 μm 10 <sup>18</sup>	
GaAs	N Collecteur	5 μm 10 <sup>15</sup>	diode Laser
GaAlAs	N Injection	1,5 μm 10 <sup>18</sup>	
GaAlAs	P Active	0,1 μm 10 <sup>17</sup>	
GaAlAs	P Confinement	0,4 μm 10 <sup>18</sup>	
GaAs	n Bloquante	0,8 μm 10 <sup>16</sup>	
GaAs	P Tampon	0,6 μm 2.10 <sup>18</sup>	
GaAs	P Substrat	1.10 <sup>18</sup>	

Fig. 1a. — Schéma de la structure BILAS.

[BILAS schematic structure.]

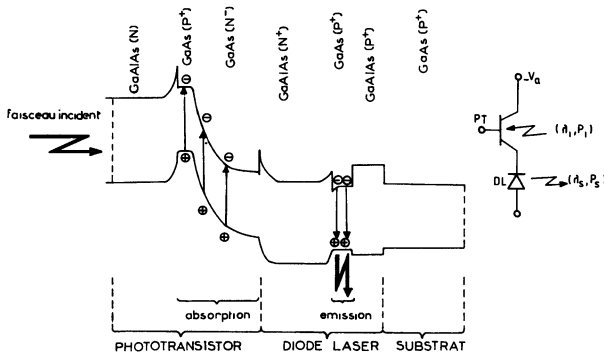


Fig. 1b. — Diagramme des bandes d'énergie de la structure BILAS et principe de fonctionnement.

[Energy band diagram and basic function.]

- une couche d'injection Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As de type N, dopée tellure à 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> et d'épaisseur 1,5 μm,
- une couche de collecteur GaAs de type N, dopée étain à 10<sup>15</sup> cm<sup>-3</sup> et d'épaisseur 5 μm,
- une couche de base GaAs de type P, dopée germanium à 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> et d'épaisseur 0,1 μm,
- une couche d'émetteur en Ga<sub>0,6</sub>Al<sub>0,4</sub>As de type N, dopée étain à 10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup> et d'épaisseur 1 μm,
- une couche de prise de contact N<sup>+</sup> GaAs, dopée étain à 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> et d'épaisseur 0,5 μm.

D'autre part, la largeur du ruban est de l'ordre de 5 μm et la profondeur du sillon de l'ordre de 1,3 μm.

La couche bloquante en GaAs est obtenue par E.P.L. à 800 °C avec une descente en température de -0,2 °C/min.

Les sillons sont réalisés par gravure chimique au moyen d'une solution H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O permettant d'obtenir des profils en V ou en trapèze suivant l'orientation de l'échantillon [12].

Une reprise d'épitaxie permet la réalisation des couches de la diode laser et du phototransistor dans les mêmes conditions que précédemment (800 °C - 0,2 °C/min).

Les contacts ohmiques sur GaAs sont de type AuGeNi pour la face avant et de type AuZn pour la face substrat.

Ces métallisations sont élaborées par évaporation sous vide. Les faces miroirs sont clivées suivant la direction (1, 1, 0) avec un espacement de 250 μm ; les barrettes sont découpées en échantillons de 300 μm de large et montées sur boîtier type TO18 au moyen d'une résine conductrice.

La figure 2 représente une vue au microscope électronique à balayage (M.E.B.) de la structure verticale réalisée.

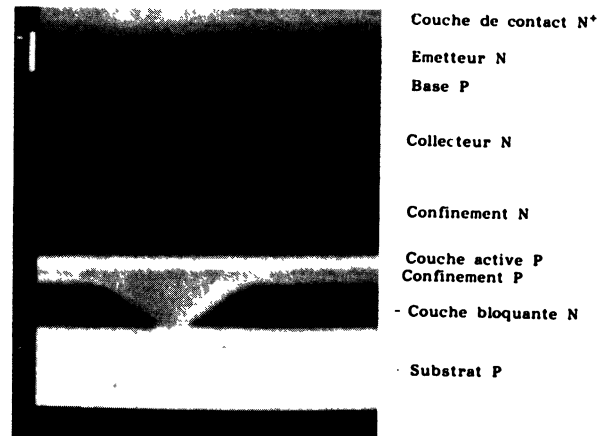


Fig. 2. — Vue en coupe de la structure BILAS au M.E.B.

[Scanning electronic microscopy of BILAS layers.]

### 3. Caractéristiques électriques et optiques.

Le fonctionnement des structures BILAS a été analysé au moyen du montage représenté sur la figure 3. Le dispositif est soumis d'une part à un flux lumineux pulsé et d'autre part à une tension de polarisation pulsée.

Notons tout d'abord qu'en l'absence d'excitation lumineuse aucun courant ne traverse le composant quelle que soit la forme de la tension de polarisation.

Le fonctionnement peut être décrit qualitativement par la séquence suivante (Fig. 4) :

- à l'instant t<sub>0</sub>, on applique une tension de polarisation de 4 V, sans excitation lumineuse : aucun courant ne traverse le composant ;

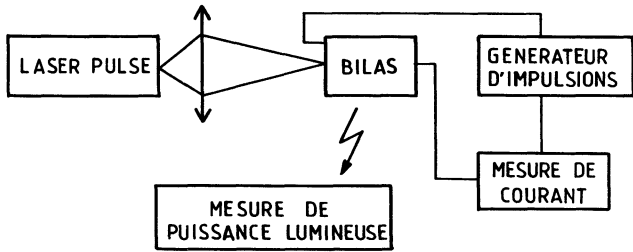


Fig. 3. — Schéma de mesure des caractéristiques du BILAS.

[Schematic electrical set up for characterization.]

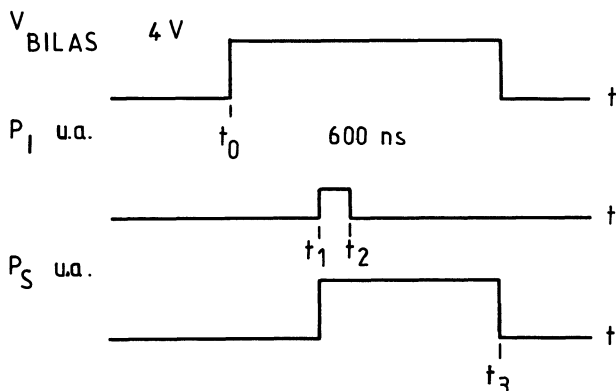


Fig. 4. — Représentation schématique du fonctionnement du BILAS en « thyristor optique ».

[Representation of the BILAS functioning as an « optical thyristor ».]

— à l'instant  $t_1$ , on excite le dispositif par une impulsion lumineuse : celui-ci est traversé par un courant qui dépend de l'amplitude de la tension de polarisation et émet une intensité lumineuse fonction du courant ;

— à l'instant  $t_2$ , l'excitation lumineuse est annulée ; le courant qui traverse le BILAS et l'intensité du rayonnement émis par celui-ci ne sont pas modifiés par rapport à l'état précédent ;

— à l'instant  $t_3$ , la tension de polarisation est annulée ; la structure BILAS cesse d'émettre.

Les résultats expérimentaux présentés ici correspondent à une fonction optique nouvelle que l'on peut qualifier de « monostable optique ». En effet, une impulsion lumineuse est nécessaire pour déclencher l'émission de la structure BILAS, mais celle-ci ne peut être arrêtée qu'en annulant la tension de polarisation.

On peut aussi voir dans ce fonctionnement l'analogie optique du fonctionnement d'un thyristor.

Ce type de comportement a également été mis en évidence récemment par C. F. Schaus *et al.* [7].

De façon quantitative, on peut définir ce fonctionnement par trois caractéristiques :

— la courbe  $P_s(I)$  de la diode laser qui est obtenue en faisant varier la tension de polarisation

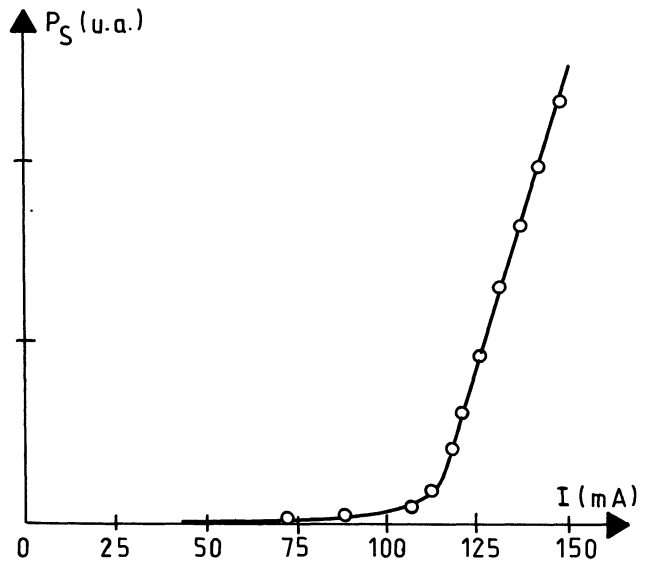


Fig. 5. — Caractéristique  $P_s(I)$  de la diode laser.

[ $P_s(I)$  laser diode characteristic.]

appliquée à la structure BILAS en régime déclenché par une impulsion lumineuse (Fig. 5).  $P_s$  représente la puissance lumineuse émise par la diode laser et  $I$  l'intensité du courant qui la traverse ;

— la courbe  $P_s(V_{BILAS})$  de la structure BILAS (Fig. 6),  $V_{BILAS}$  représente la tension supportée par la structure ;

— les caractéristiques de déclenchement de la structure BILAS (Fig. 7).

$P_i$  et  $I_{BILAS}$  désignent respectivement la puissance lumineuse incidente et le courant traversant le dispositif.

Ces courbes représentent les différents couples intensité d'excitation-tension de polarisation qu'il est nécessaire d'appliquer pour qu'apparaisse le

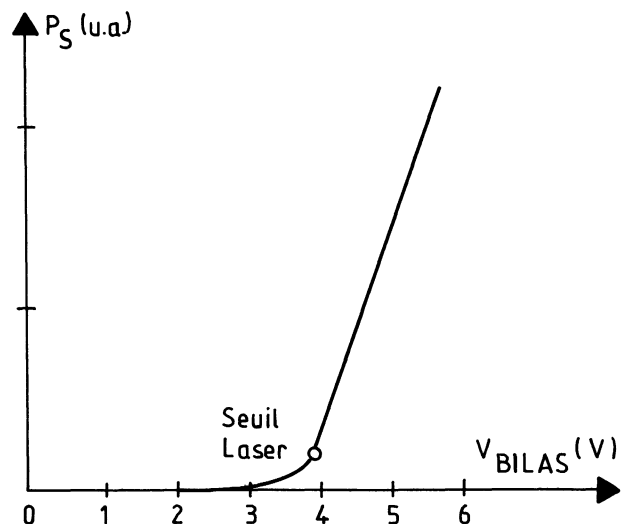


Fig. 6. — Caractéristique  $P_s(V_{BILAS})$ .

[ $P_s(V_{BILAS})$  characteristic.]

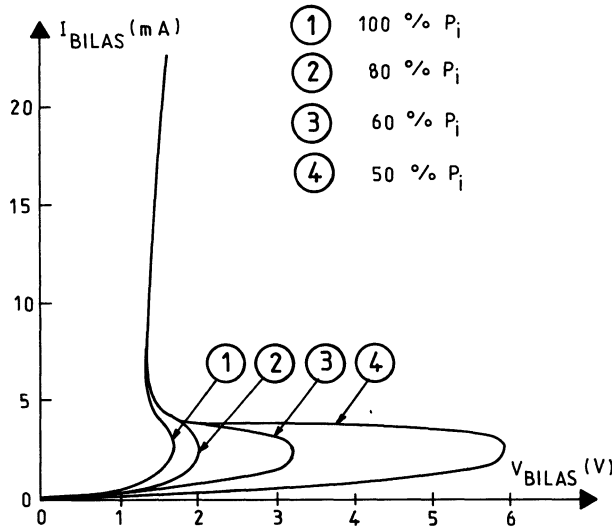


Fig. 7. — Caractéristique de déclenchement de la structure BILAS.

[Optical switching of the BILAS.]

régime de « fonctionnement déclenché » ; le courant traversant la structure ne dépend alors que des caractéristiques du circuit extérieur.

4. Analyse du fonctionnement.

Le fonctionnement en « monostable optique » peut être expliqué par un couplage optique entre le phototransistor et la diode laser suivant le schéma porté sur la figure 8.

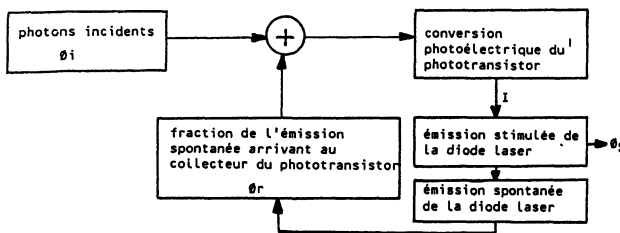


Fig. 8. — Réaction optique diode laser-phototransistor dans le BILAS.

[Optical interaction between laser and phototransistor.]

Le flux de photons incidents absorbé dans la région de charge d'espace du collecteur du phototransistor crée un courant qui est de nouveau transformé en photons en traversant la diode laser. Une fraction de la composante d'émission spontanée du rayonnement de celle-ci est émise en direction du collecteur du phototransistor. Ce flux de photons vient donc s'ajouter au flux de photons incidents. Si son intensité est suffisante, elle peut conduire à un autofonctionnement du composant : d'où la

séquence du fonctionnement en monostable optique : déclenchement par le flux incident, auto-émission du composant lorsque cesse le flux incident, arrêt de l'émission par annulation de la tension de polarisation.

Ce couplage peut être décrit par les relations suivantes. Soit  $\phi_i$  le nombre de photons incidents/seconde et  $\phi_r$  le nombre de photons/seconde en retour de la diode laser absorbés dans la zone de charge d'espace de collecteur du phototransistor.

Le courant qui traverse la structure BILAS est donc égal à

$$I = qh_{FE} \eta_T (\phi_i + \phi_r) \tag{4.1}$$

où  $h_{FE}$  est le gain en courant en montage émetteur commun et  $\eta_T$  le rendement primaire du phototransistor.

$\phi_r$  est relié au rendement de la diode laser et au courant qui traverse la structure par la relation :

$$\phi_r = \eta_r \frac{I}{q} \tag{4.2}$$

$\eta_r$  étant le rendement de la diode laser fonctionnant en diode électroluminescente vue du collecteur du phototransistor. Dans ces conditions, le courant s'écrit :

$$I = \frac{qh_{FE} \phi_i}{1 - \eta_r h_{FE}} \tag{4.3}$$

Cette relation analogue à la condition de déclenchement d'un thyristor peut expliquer les courbes de déclenchement du BILAS comme suit :

— à très faible niveau d'excitation, le courant du phototransistor est faible et donc le gain  $h_{FE}$  faible ; la relation

$$\eta_r h_{FE} < 1$$

est satisfaite et la structure BILAS fonctionne en amplificateur ;

— au fur et à mesure que le niveau d'excitation croît, le courant et le gain  $h_{FE}$  croissent jusqu'à

$$\eta_r h_{FE} = 1 \tag{4.4}$$

et la structure BILAS commute alors en fonctionnement monostable.

De plus, si l'on suppose que le gain  $h_{FE}$  est compris entre  $10^2$  et  $10^4$  la condition (4.4) conduit à un rendement  $\eta_r$  compris entre  $10^{-4}$  et  $10^{-2}$ , valeurs qui sont nettement inférieures aux valeurs mesurées des diodes électroluminescentes. Comme en tout état de cause, les positions relatives de la diode laser et du phototransistor de la structure BILAS conduisent à un rendement  $\eta_r$  supérieur à celui d'une diode électroluminescente, les paramètres de la structure BILAS correspondent donc à des valeurs de  $h_{FE}$  et  $\eta_r$  compatibles avec la relation (4.4).

Le couplage optique phototransistor/diode laser fournit ainsi une interprétation cohérente du fonctionnement « monostable optique » de la structure BILAS.

### 5. Conclusion.

La faisabilité d'un circuit optoélectronique intégré, phototransistor-diode laser, dans le cadre d'une

filère d'intégration verticale à partir de la technique d'E.P.L. a été démontrée.

Le comportement des structures réalisées a permis de mettre en évidence le couplage optique entre les deux composants.

Ce couplage a conduit à une fonction de « monostable optique » ou « thyristor optique ».

Nous remercions le C.N.E.T. pour son soutien contractuel concernant ces travaux.

### Bibliographie

- [1] SASAKI, A., YANO, H., FUGITA, S., *IEEE Trans. Electron Dev.* **ED 32** (1985).
- [2] CHEN, T. R., UTAKA, K., ZHUANG, Y. N., LIU, Y. Y., YARIV, A., California Institute of Technology (Pasadena, California 91125, USA). Tenth IEEE International Semiconducteur laser conference, 14-17 octobre 1986, Kanazawa, Japon.
- [3] BENEKING, H., *Electron. Device Lett.* **ED 2** (1981) 99-100.
- [4] BAR-CHAIM, N., HARDER, Ch., KATZ, J., MARGALIT, S., YARIV, A., URY, I., *Appl. Phys. Lett.* **40** (1982) 556-557.
- [5] BENEKING, H., *IEEE Trans. Electron Dev.* **ED-28** (1981) 404-407.
- [6] BENEKING, H., GROTE, N., ROTH, W., SVILANS, Mn., *Electron. Lett.* **16** (1980) 602-603.
- [7] SCHAUS, Cf., SHEALY, Jr., NAJJAR, F. E., EASTMAN, L. F., *Electron. Lett.* **22** (1986) 454.
- [8] CAZARRE, A., Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université Paul-Sabatier, Toulouse, 1984.
- [9] NACER, S., Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, n° 3125, Université Paul-Sabatier, Toulouse, 1985.
- [10] SASAKI, A., MATSUDA, K. I., KIMURA, Y., FUJITA, S., *IEEE Trans. Electron. Dev.* **ED-29** (1982).
- [11] CAZARRE, A., TASSELLI, J., MARTY, A., BAILBE, J. P., REY, G., *Electron. Lett.* **21** (1985).
- [12] LIDA, S., ITO, K., *J. Electrochem. Soc.* **118** (1971) 768.
- [13] LOZES-DUPUY, SAINT-CRICO, VASSILIEFF, G., VASSILIEFF, L., BENSOUSSAN, Modélisation du courant de seuil de diode laser à guidage par l'indice. Publication soumise à la *Revue Phys. Appl.* (1987).