



**HAL**  
open science

# PHOTOTRANSISTORS BIPOLAIRES A HETEROJUNCTION InP/InGaAs A GUIDE D'ONDE

Vincent Magnin, Jerome van de Castele, Joseph Harari, Jean-Philippe Gouy,  
Jean-Pierre Vilcot, Sophie Maricot, Paul-Alain Rolland, Didier Decoster

► **To cite this version:**

Vincent Magnin, Jerome van de Castele, Joseph Harari, Jean-Philippe Gouy, Jean-Pierre Vilcot, et al.. PHOTOTRANSISTORS BIPOLAIRES A HETEROJUNCTION InP/InGaAs A GUIDE D'ONDE. Journées Nationales Micro-Ondes (JNM'97), May 1997, Saint-malo, France. hal-04458097

**HAL Id: hal-04458097**

**<https://hal.science/hal-04458097>**

Submitted on 15 Feb 2024

**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.

# PHOTOTRANSISTORS BIPOLAIRES A HETEROJONCTION InP/InGaAs A GUIDE D'ONDE

V. MAGNIN, J. VAN DE CASTEELE, J. HARARI, J.P. GOUY, J.P. VILCOT, S. MARICOT, P.-A.  
ROLLAND et D. DECOSTER.

Institut d'Electronique et de Microélectronique du Nord  
Avenue Poincaré, B.P. 69, 59652 Villeneuve d'Ascq Cedex  
opto@iemnserv.iemn.univ-lille1.fr

Dans l'avenir sont susceptibles de voir se développer des systèmes utilisant la transmission de signaux hyperfréquences ou millimétriques par voie optique. Pour cela, il est nécessaire de disposer de photodétecteurs ultra-rapides, et le phototransistor à éclairage par la tranche peut être l'un des composants répondant à cette demande. En particulier, la structure guide d'onde peut permettre, comme pour les PIN-guides, un fonctionnement en gamme millimétrique avec un rendement quantique élevé. Le phototransistor a en plus l'avantage de bénéficier d'un gain interne, sous faible tension, et a un bruit a priori plus faible que celui dû à un mécanisme d'avalanche. En outre, la fonction transistor peut permettre l'utilisation de ce composant pour la conception de circuits hyperfréquences (oscillateurs, amplificateurs) commandés optiquement. C'est pourquoi nous présentons dans cette communication l'étude et la réalisation technologique de phototransistors bipolaires à hétérojonction éclairés par la tranche.

## 1 Modélisation optique :

La *méthode des faisceaux propagés* en 2D ou 3D (figures 1 et 2) permet de simuler la propagation de la lumière injectée dans le guide d'onde. Nous pouvons ainsi évaluer le rendement quantique du composant, étudier l'influence des conditions d'éclairage (diamètre de la fibre, angle d'injection, alignement...) et optimiser la structure épitaxiale du point de vue du confinement optique. Ce type de simulation nous permet également de calculer le taux de génération optique moyen utilisé dans le modèle hydrodynamique 1D utilisé pour la modélisation électrique du composant.

Notre modélisation montre que l'utilisation d'une fibre lentillée permet d'atteindre un rendement quantique externe de 43% au lieu de 13% avec une fibre monomode non-lentillée. Nous avons également mis en évidence la sensibilité du dispositif au positionnement de la fibre devant le guide d'onde.

Enfin nous montrons qu'une couche de GaInAsP dopée n placée sous le collecteur permet d'améliorer le confinement optique. Son épaisseur optimale est de 0,7  $\mu\text{m}$ . Le rendement quantique externe passe alors de 13% à 21% pour une fibre monomode et de 43% à 63% pour une fibre lentillée.

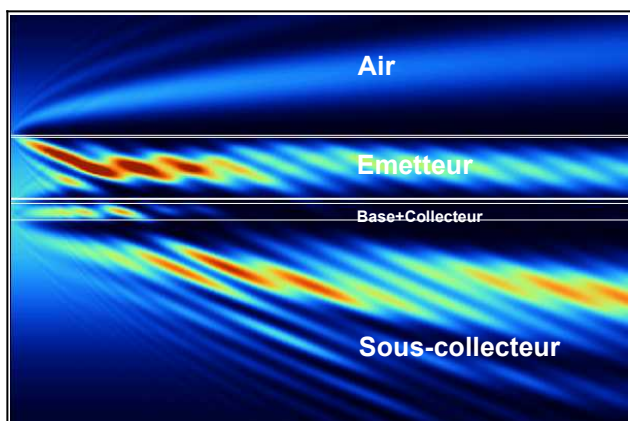


Figure 1: Simulation 2D de la propagation de la lumière dans un phototransistor à guide d'onde ( $\lambda=1,55 \mu\text{m}$ ).

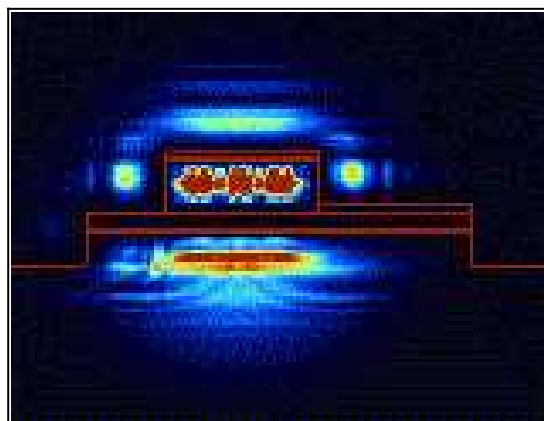


Figure 2: Simulation 3D de la propagation de la lumière dans un phototransistor à guide d'onde ( $\lambda=1,55 \mu\text{m}$ ).

## 2 Modélisation électrique:

Un modèle hydrodynamique 1D, mis au point au laboratoire pour l'étude des TBH sur GaAs [1], a été adapté à l'étude des phototransistors InP/InGaAs de type guide d'onde. La base peut être commandée en tension ou en courant par l'intermédiaire d'un circuit de base. Nous pouvons ainsi comprendre les phénomènes physiques à l'intérieur du composant, calculer les caractéristiques statiques et dynamiques et optimiser la structure épitaxiale au point de vue du transport électronique.

Ce modèle nous a en particulier permis de vérifier que l'introduction d'une couche de GaInAsP dopée n sous le collecteur ne dégrade pas les caractéristiques dynamiques du composant. D'autre part nous montrons qu'il est possible d'augmenter sensiblement la fréquence de gain optique unité en diminuant l'épaisseur de la base.

## 3 Réalisation technologique et résultats expérimentaux:

Nous avons réalisé un phototransistor à deux terminaisons (sans contact de base) éclairé par la tranche. Nous avons montré pour la première fois ses possibilités de mélange [2]. En effet, l'existence de non-linéarités au sein de ces composants permet de mélanger deux signaux optiques modulés en amplitude, et de récupérer le signal électrique qui résulte du battent entre les deux signaux de modulation.

En modifiant l'épitaxie (basée sur une structure de British Telecom), nous avons alors réalisé un phototransistor à trois terminaisons éclairé par la tranche [3,4]. Il s'agit là d'une première réalisation au niveau mondial. Nous présenterons la réalisation technologique de ce composant. Les mesures réalisées permettent d'estimer la fréquence de gain optique unité  $f_t$  à 40 GHz. Nous présenterons également les résultats de mélange d'un signal optique micro-onde et d'un signal électrique micro-onde appliqué à la base.

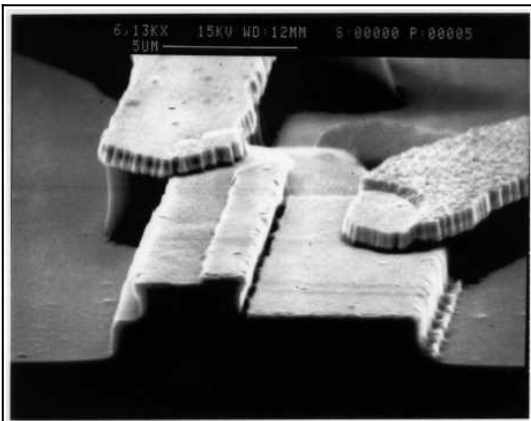


Figure 3: Photographie au microscope électronique d'un phototransistor à 3 terminaisons en fin de procédé.

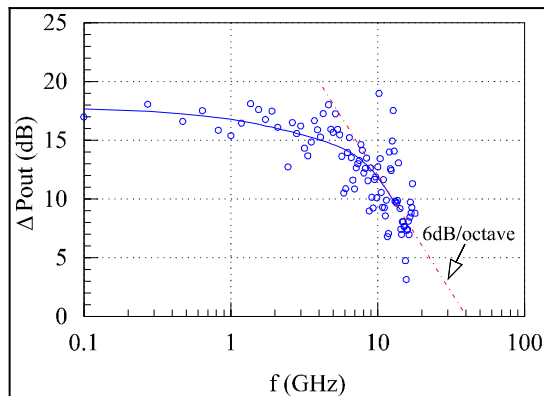


Figure 4: Evolution du gain dynamique du phototransistor à 3 terminaisons. Détermination d'une fréquence de gain unité de 40 GHz.

Remerciements: Cette étude a été en partie soutenue par la DRET, contrat n°94.160.

### Références :

- [1] A. Tachafine, « Contribution à l'étude des transistors bipolaires à hétérojonction pour la réalisation d'amplificateurs monolithiques de forte puissance en bande X », *thèse de doctorat soutenue à l'Université des Sciences et Technologies de Lille le 10 mars 1994*.
- [2] J. Van de Castele, J.P. Vilcot, J.P. Gouy, F. Mollot et D. Decoster, « Electro-optical mixing in an edge-coupled GaInAs/InP heterojunction phototransistor », *Electronics Letters*, 23 mai 1996, Vol. 32, n°11, pages 1030-1032.
- [3] J. Van de Castele « Etude et réalisation de transducteurs opto-hyperfréquences sur matériaux III-V », *Thèse de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, 2 Octobre 1996*.
- [4] J. Van de Castele, J.P. Vilcot, J.P. Gouy et D. Decoster, « Three-Terminal Edge-coupled GaInAs/InP Heterojunction phototransistor », *SOTAPOCS 96, San Antonio, Texas*.