

Analyse du Phénomène de Transport Electronique dans l'InAs et le GaAs par la méthode de Monte Carlo pour la conception d'un transistor PHEMT

L. AMER⁽¹⁾, C. SAYAH⁽¹⁾, B. BOUAZZA⁽¹⁾, A. GUEN-BOUAZZA⁽¹⁾,
N. E. CHABANE-SARI⁽¹⁾, C. GONTRAND⁽²⁾

Laboratoire de Matériaux et des Energies renouvelables
Université Abou –Bekr Belkaid B. P: 119 Tlemcen 13000 Algerie
2- Cegely – Bat 401- INSA de Lyon. Villeurbanne cedex - France
E-mail : lakamer@mail univ-tlemcen.dz
Tél. / Fax : 213.043.21.58. 89 & 90

Résumé : Le transistor à effet de champ (TEC) est un des composants majeurs utilisé dans les dispositifs électroniques, les premiers transistors (TEC) ont été réalisés en silicium, qui fonctionne avec des fréquences maximales de l'ordre de 1 à 3 Ghz.

Afin de disposer de composants pouvant fonctionner à des fréquences plus élevées, le silicium était remplacé par le GaAs. Il possède une mobilité électronique six fois plus élevée que le silicium. Les principaux dispositifs TECs en AsGA utilisés aux fréquences micro-ondes sont les MESFETs pour des applications ne dépassant pas les 30 Ghz, et les HEMTs pour des fréquences plus élevées (100-300 Ghz).

Dans le but d'obtenir des performances plus élevées en gain et en fréquence, nous avons effectué une étude électronique comparative entre le GaAs et l'InAs, du point de vue énergétique et dynamique, puis on a changé la couche non dopé du GaAs utilisé dans la réalisation d'un transistor HEMT par une couche de l'InAs.

Mots clés : Semiconducteurs III-V, structure de bande, transistors HEMT et PHEMT.

I- Introduction :

La multiplication des applications dans le domaine des télécommunications, de l'automobile, de la régulation du trafic, s'accompagne d'une utilisation de plus en plus intense du spectre hyperfréquence à des fréquences toujours plus élevées et d'une augmentation du débit de ces communications. Pour cela il faut améliorer les performances des dispositifs électroniques utilisés dans la réalisation des circuits intégrés[2].

Actuellement les transistors à effet champ (TEC) en GaAs sont les composants actifs les plus utilisés, ils se répartissent en deux catégories:

- Les MESFETs.
- les HEMTs.

Les MESFETs restent limités à des applications micro-ondes qui ne dépassent pas une fréquence de 30 Ghz. Pour des fréquences plus élevées, les composants à hétéro-jonction tels que les HEMTs présentent de meilleures performances[4].

Afin d'améliorer encore leurs performances et de pouvoir atteindre des fréquences beaucoup plus élevées, il est intéressant d'effectuer une étude microscopique comparative entre le GaAs et d'autres matériaux III-V. Dans notre cas on a choisi l'arséniure d'indium « InAs ».

II- Résultats :

Les grandeurs moyennes accessibles directement dans la simulation par la méthode de Monte Carlo sont : la vitesse de dérive et l'énergie.

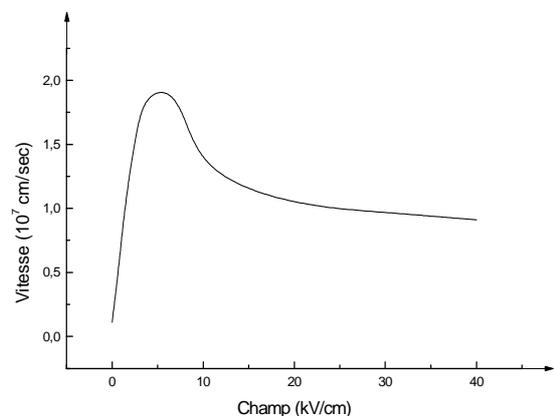


Figure .1. : profil de la vitesse en fonction du champ pour le GaAs.

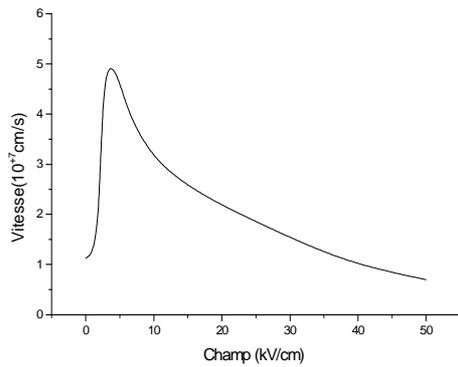


Figure .2. : profil de la vitesse en fonction du champ pour l'InAs.

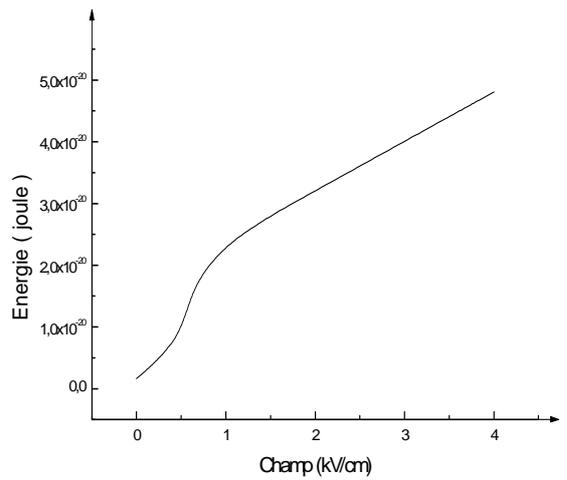


Figure .5. : profil de l'énergie en fonction du champ pour le GaAs.

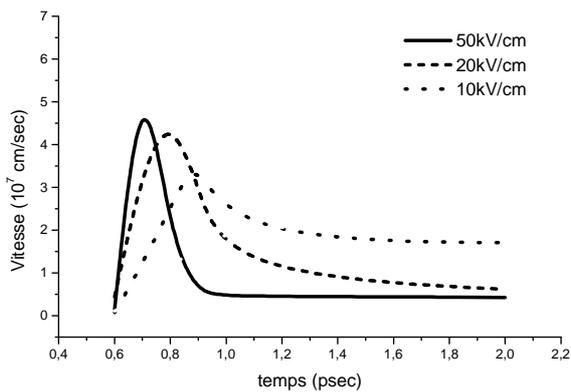


Figure .3. : Vitesse en fonction du temps pour le GaAs.

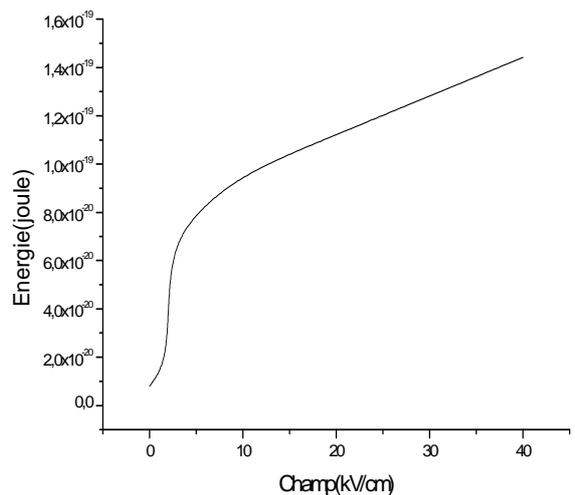


Figure .6. : profil de l'énergie en fonction du champ pour l'InAs.

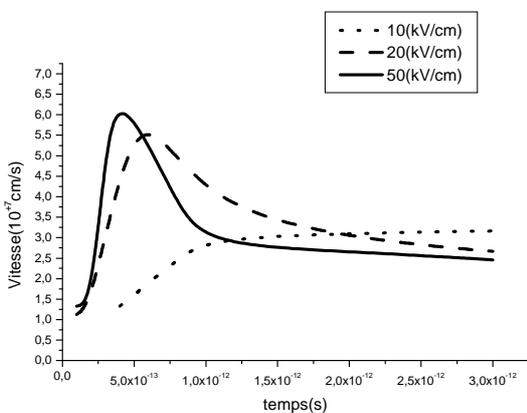


Figure .4. : Vitesse en fonction du temps pour le InAs.

Les figures .1, 2, 3, et 4 illustrent les résultats obtenus par la simulation de Monte Carlo concernant l'arséniure d'indium (InAs) et des résultats obtenus par la même méthode concernant l'arséniure de gallium (GaAs), on a comparé pour les deux matériaux, l'évolution de la vitesse et de l'énergie en fonction du champ dans le régime stationnaire ainsi que l'évolution de la vitesse en fonction du temps dans le régime transitoire.

On peut remarquer que, dans les figures .1. et .2. donnant la vitesse en fonction du champ, le champ de seuil est de 5 (kV/cm) pour le GaAs alors qu'il est égal à 2.5 (kV/cm) pour l' InAs.

Le porteur existant dans le matériau InAs n'a besoin que de la moitié du champ électrique appliqué sur le GaAs pour avoir une vitesse de pic supérieur à celle atteinte dans le cas du GaAs.

Alors que dans les deux courbes .3. et .4. où l'on a présenté la vitesse en fonction du temps pour différent champ, on a pu remarquer un phénomène très important pour les deux matériaux (l'InAs et le GaAs) : c'est le phénomène de survitesse.

Ce dernier se présente mieux dans le cas de l'InAs par rapport au GaAs.

Cela est dû à la faible masse des porteurs dans la vallée centrale et par conséquent la mobilité élevée.

Pour l'InAs $m_T^* = 0.022m_0$ alors que pour le

GaAs $m_T^* = 0.063m_0$.

Cela est dû aussi aux distances énergétiques qui séparent les vallées latérales de la vallée centrale, qui sont plus grandes que les distances énergétiques pour le GaAs, est qui donnent l'espace nécessaire pour que les porteurs puissent atteindre une vitesse de dérive importante, qui dépend fortement de l'énergie gagnée par le porteur ainsi que le champ appliqué sur ce dernier.

GaAs : $\Delta E_{TL} = 0.33 \text{ eV}$

InAs : $\Delta E_{TL} = 0.87 \text{ eV}$

La seconde comparaison concerne l'évolution de l'énergie en fonction du temps (figure 5 et 6).

Pour bien expliquer la différence entre ces figures, on procède à une interpolation de la partie supérieure des deux courbes, c'est à dire là où ces dernières commencent à changer d'allure. Nous avons constaté que l'arséniure

d'indium possède une pente $\frac{d\varepsilon}{dE}$ supérieure que celle du GaAs.

C'est à dire que dans les mêmes conditions extérieures (champ électrique appliqué, température, etc...) l'énergie transportée par le porteur dans l'InAs est plus grande que celle transportée par un autre porteur dans le cas du GaAs.

III- Les transistors HEMTs Pseudomorphique :

Afin d'avoir des performances plus élevées en gain et en fréquence le GaAs est remplacé par l'InAs dans la structure de l'hétéro-interface, c'est un matériau possédant un gap étroit (canal) et une mobilité plus élevée que le GaAs[5].

En effet, lors du contact du GaAs à l'InAs, la variation de la constante de maille est inférieure à 7 % alors que le gap de la structure de bande augmente de 74 %

AsGa : $E_{\text{gap}} = 1.43 \text{ eV}$ / $E_{\text{gap}} = 0.36 \text{ eV}$ (à T=300K)

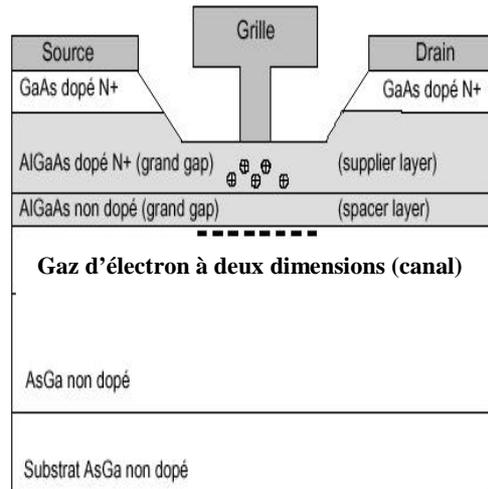


Figure .7. : Vue en coupe d'un transistor HEMT

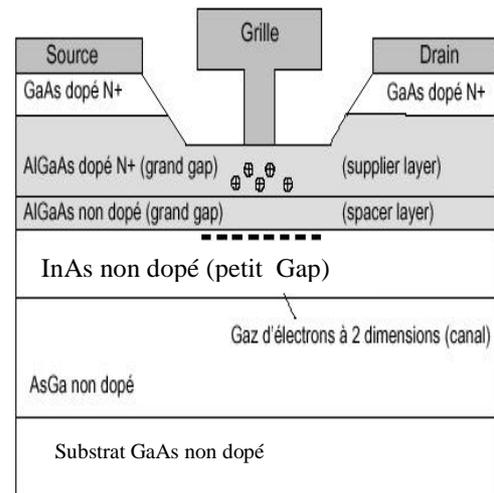


Figure .8. : Vue en coupe d'un transistor PHEMT

La structure du transistor PHEMT est présentée dans la figure.8. La couche de l'InAs est déposée sur une couche de GaAs. La structure cristalline de l'InAs ne possède pas les mêmes dimensions que celle du GaAs, elle est donc contrainte à s'accorder à celle du GaAs, cette couche dont la structure cristalline est déformée est appelée couche pseudomorphique [5].

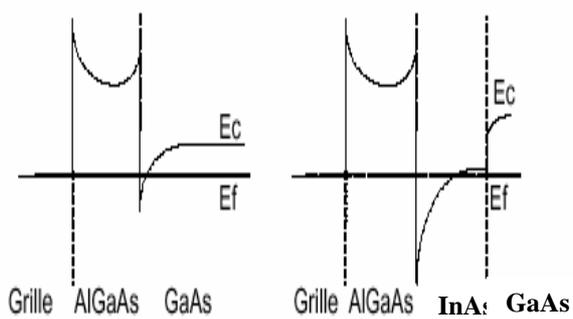


Figure .9. : Comparaison de la structure de bande des transistors HEMT et PHEMT

La largeur de bande interdite de L'InAs étant plus petite que celle du GaAs, elle permet d'obtenir un puit de potentiel plus important que dans le cas des transistors HEMT, ainsi un plus grand nombre d'électrons peut diffuser dans le canal et engendre un courant de canal plus important pour des tensions de polarisations très faibles [3].

V- Conclusion :

Nous avons présenté des résultats obtenus par la méthode de Monte Carlo concernant les deux matériaux semiconducteurs : InAs et GaAs relatifs à la vitesse et l'énergie et on a remarqué que lors du contact entre l'InAs et le GaAs se produit une couche dont la structure cristalline est déformée. Ce mécanisme conduit à la réalisation d'un certain type de transistors permettant de commander des courants importants à l'aide des tensions faibles, c'est le cas des transistors pseudomorphiques (PHEMTs).

Donc il est intéressant d'effectuer des études comparables à celle ci pour différents matériaux dans le but d'augmenter les fréquences d'utilisation des différents dispositifs électroniques.

Références :

[1] –H. Mattieu « Physiques des semiconducteurs et des composants électroniques ». Masson, 1990, ISBN.2-225-82200-x.

[2] – J. Portilla. Rubin « Modélisation électrique des transistors à effet de champ pour la CAO des circuits micro-ondes linéaires et non linéaires ». Thèse de doctorat de l'université de limoges n° d'ordre 11-94.

[3] –J. P Teyssier « Caractérisation en impulsion des transistors micro-ondes, application à la modélisation non linéaire pour les CAO des circuits ». Thèse de doctorat de l'université de limoges, n° d'ordre1-94.

[4] – J. P. Viand «Modélisation non linéaire des transistors micro-ondes. Application à la conception d'amplification de puissance en technologie MMIC». Thèse de doctorat de l'université de limoges n° d'ordre 16-96.

[5] – R. CASTANE., J. P. Duchemin, M. Gloanec, C. H. Rumelherd. « Circuits intégrés en arséniure de gallium ». Masson et cent- ENST, Paris, 1989.