

# ETUDE DE LA MORPHOLOGIE DE COUCHES MINCES DE B GaN EPITAXIEES PAR MOVPE SUR SUBSTRAT TEMPLATE ALN

M. Bouchaour<sup>(1,\*)</sup>, N. Maloufi<sup>(2)</sup> et N-E. Chabane Sari<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables (URMER) – Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, BP 119 Tlemcen, Algérie.

<sup>(2)</sup>Laboratoire d'Etude des Textures et Application aux Matériaux UMR CNRS 7078 Ile du Saulcy 57045 METZ cedex 1, France.

(Reçu le 19 Mars 2015 ; accepté le 24 Juin 2015 ; publié en ligne le 09 Juillet 2015)

## RESUME :

Une nouvelle classe de matériaux à base de GaN est apparue ces dernières années. La réalisation de sources optiques compactes à base de ces alliages pouvant émettre dans la gamme des courtes longueurs d'onde (bleu et UV) ouvre la voie vers de nombreuses applications. Cependant l'épitaxie de ces matériaux est rendue difficile à cause du désaccord paramétrique entre les couches déposées et les substrats existants. L'incorporation de bore dans GaN permet de réduire le désaccord entre le nouvel alliage obtenu B GaN et le pseudo-substrat d'AlN. Les propriétés de ces matériaux dépendent fortement de la qualité des couches déposées. Aussi, ce travail présente une étude de la morphologie d'échantillons de B GaN de différentes compositions de bore fabriqués par MOVPE. Cette étude morphologique est réalisée via la microscopie à force atomique (AFM) et la microscopie électronique à balayage (MEB). Elle montre une évolution de l'état de surface en fonction de la composition de bore.

**MOTS- CLES :** B GaN, morphologie, AFM, MEB, MOVPE

## I. INTRODUCTION

Les nitrures d'éléments III présentent une structure de bande directe et une gamme étendue d'énergies de bande interdite permettant de réaliser des émetteurs de lumière couvrant tout le domaine du visible jusqu'à l'ultraviolet (fig.1) [1]. Depuis une dizaine d'années GaN, AlN, InN et leurs alliages sont à la base de fabrication de diodes électroluminescentes ou lasers bleues-violet et UV [2]. Elles interviennent dans de nombreuses applications civiles telles que le stockage optique à haute densité, les analyses médicales, la purification de l'eau, le traitement des surfaces, la nano lithographie ainsi que dans les applications photovoltaïques [3]. De plus, les diodes bleues et blanches sont au cœur de vastes enjeux industriels et économiques dans les secteurs de l'affichage et de l'éclairage conventionnel.

Il faut également souligner le fait que les alliages AlGaN présentent l'avantage de bonnes stabilités chimique et à haute température. Cependant, leur croissance est rendue difficile par le manque de substrats en accord de maille. Une nouvelle classe d'alliages à base de B GaN est apparue [4,5].

Effectivement, l'incorporation de bore dans le binaire GaN permet de réduire le désaccord de maille entre la couche déposée et les substrats AlN et SiC (figure 1). L'étude de B GaN constitue une étape préliminaire avant l'abord des quaternaires BAlGaN [6]. Nous avons utilisé pour l'élaboration de B GaN la technique d'« épitaxie en phase vapeur aux organométalliques » (MOVPE). Les propriétés de ces matériaux étant fortement dépendantes de la qualité des couches déposées, une étude systématique de la morphologie est réalisée. Nous présentons dans cet article les résultats obtenus pour différentes concentrations de bore de l'alliage B GaN. La morphologie des couches a été caractérisée à l'aide de deux techniques complémentaires : MEB et AFM.

<sup>(\*)</sup> Auteur correspondant, bouchaour.m@gmail.com

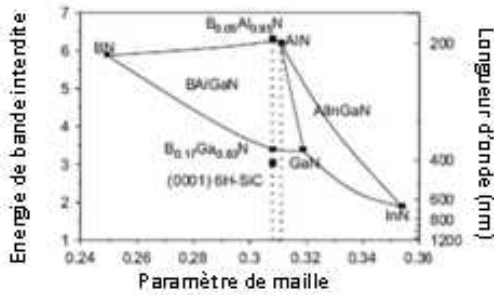


Figure 1 : Diagramme de l'énergie interdite en fonction du paramètre de maille pour les alliages (B)AlGaIn

## II. PROCEDURE EXPERIMENTALE

La croissance épitaxiale par MOVPE a été réalisée dans le réacteur en forme de « T » [7] en utilisant l'azote (N<sub>2</sub>) comme gaz porteur et le TEB (Triéthylbore), le triméthylgallium (TMGa) et l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) respectivement comme précurseurs du bore, du gallium et de l'azote. L'alliage de BGaN est déposé sur un pseudo-substrat d'AlN (600nm) (AlN/saphir). La croissance des couches de BGaN est réalisée à 1050°C sous une pression de 100 Torr. Quatre échantillons de différentes compositions de bore ont été réalisés : 0.3, 1.34, 1.57 et 1.75% correspondant respectivement aux rapports TEB/III : 0.5, 2, 3 et 4%. L'épaisseur de la couche déposée est de 650nm. La morphologie [8] de la surface est caractérisée par microscopie électronique à balayage (MEB) et par microscopie à force atomique en mode contact (AFM).

## III. RESULTATS ET DISCUSSION

Nous avons d'abord caractérisé par MEB et AFM la surface du pseudo-substrat d'AlN sur lequel les couches de BGaN ont été déposées. La figure 2 présente une image AFM de la surface d'AlN. La rugosité RMS déduite de ces mesures, est de l'ordre du nanomètre.

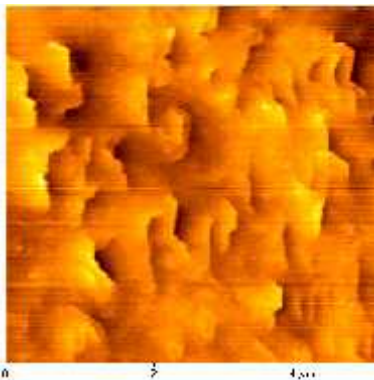


Figure 2: Image AFM du pseudo-substrat d'AlN

Nous avons observé, dans un deuxième temps, les couches de BGaN par MEB. La figure (3) présente

les images MEB du BGaN/AlN pour les différentes compositions de bore. Elles montrent la présence de grains dont les dimensions latérales diminuent quand l'incorporation de bore augmente. D'autre part, l'observation des surfaces d'échantillons avec de forts grossissements est rendue d'autant plus difficile que le pourcentage de bore augmente. Ceci peut s'expliquer par le phénomène de charges de surfaces. Les mesures électriques effectuées sur ces échantillons confirment ces observations : à savoir que la résistivité des couches augmente lorsque le pourcentage de bore dans l'alliage augmente. Ces observations montrent la présence d'une seule phase de BGaN (en corroboration avec les résultats de la diffraction X). Quand on augmente le taux de bore en phase gazeuse (TEB/III), il ya présence de cristallites de taille plus importante jusqu'à couvrir la totalité de la surface.

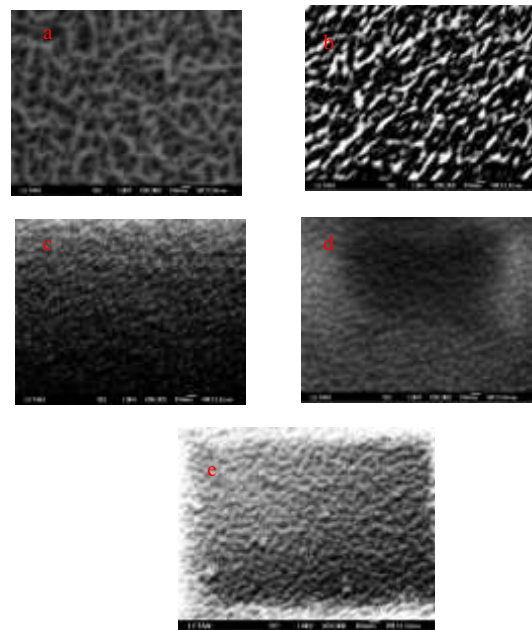


Figure 3: Images MEB des échantillons de BGaN/AlN avec différentes compositions de bore  
a- 0% ; b- 0,3% ; c- 1,34% ; d-1,57% ; e-1,75%

L'épaisseur des couches de BGaN déduite des observations MEB sur la tranche est de 665nm confirmant les résultats obtenus par réflectométrie in situ (figure 4).



Figure 4: Vue sur la tranche de BGaN/AlN; épaisseur estimée ~665nm

Nous avons également examiné la surface des couches épitaxiées de BGaN par AFM. En effet, l'incorporation de bore modifie la surface de l'échantillon. Elle joue aussi bien sur la distribution des îlots que sur leur taille comme le montre la figure 5. La rugosité RMS pour les différentes couches de BGaN est présentée sur la figure 6. Ainsi, plus la composition de bore augmente, plus la rugosité de la couche diminue. Elle varie de 25 nm pour 0% de bore à 5nm pour une composition de 1.75%. Soulignons le fait que le désaccord de maille entre la couche et le substrat diminue quand la concentration de bore dans l'alliage augmente. Les paramètres « c » de maille de GaN et d'AlN sont respectivement égaux à 0.5185 nm et 0.4982 nm. Le désaccord de maille entre BGaN et AlN déduit des mesures de diffraction X est 4.02% le long de l'axe c. En effet, lors de l'ajout de bore dans le matériau, il y a substitution d'atomes, un atome de gallium est remplacé par un atome de bore. L'atome de bore B occupe un volume beaucoup plus faible ( $V_{\text{bore}} = 4,39.10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$ ) qu'un atome de gallium Ga ( $V_{\text{gallium}} = 11,80.10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$ ). Plus le taux d'incorporation en bore dans le système cristallin est importante plus la maille aura un volume faible. Les résultats précédents nous donnent quelques pistes quant au mode de croissance de BGaN sur AlN. Aussi des caractérisations complémentaires sont en cours de réalisation afin de déterminer le rôle du bore dans le mode de croissance et sur la morphologie.

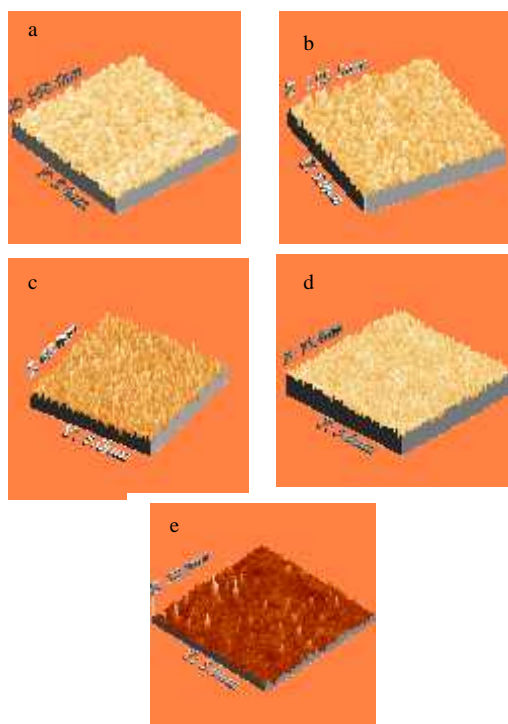


Figure 5: Images AFM en représentation 3D pour le ratio TEB/III ; a- 0%, b-0,5%, c-2%, d-3%, e-4%

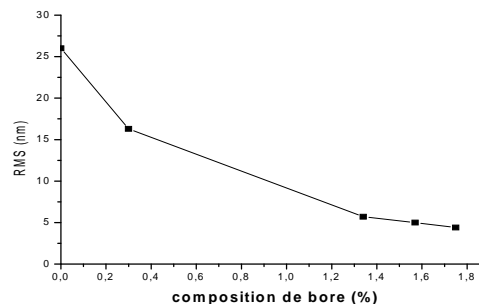


Figure 6: Variation de la rugosité RMS en fonction de la composition de bore

#### IV. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons présenté la caractérisation par MEB et AFM de la morphologie de BGaN pour différentes compositions de bore. Nous avons analysé dans un premier temps la surface du pseudo-substrat d'AlN qui présente une faible rugosité de surface. Les observations MEB nous ont permis de déduire que plus la concentration de bore de l'alliage augmente plus la taille des grains devient petite. Aussi, quand l'incorporation de bore augmente, la résistivité des couches de BGaN augmente. L'étude AFM confirme les observations obtenues par MEB ; plus l'incorporation de bore est importante plus la rugosité de la surface des échantillons diminue. Ces résultats contribuent à l'optimisation des conditions de croissance pour l'obtention de couches de bonne qualité cristalline et morphologie de surface.

#### Remerciements :

Nos remerciements à Mrs. A. Ougazzaden et S. Gautier de l'UMI 2958 Georgia Tech-CNRS.

- [1] S. Gautier, C. Sartel, S. Ould-Saad, J. Martin, A. Sirenko, A. Ougazzaden, *J. Crystal Growth* **298**, 428 (2007).
- [2] S. Nakamura, *Jpn. J. Appl. Phys.* **30**, L1705 (1991).
- [3] Y. El Gmili, G. Orsal, K. Pantzas, T. Moudakir, S. Sundaram, G. Patriarche, J. Hester, A. Ahaitouf, J.P. Salvestrini and A. Ougazzaden, *Acta Materialia* 6587 (2013).
- [4] S. Sakai, Y. Ueta, Y. Terauchi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **32**, 4413 (1993).
- [5] M. Kurimoto *et al.*, *J. Crystal Growth* **221**, 378 (2000).

- [6] A. Ougazzaden, S. Gautier, T. Aggerstam, J. Martin, M. Bouchaour, T. Baghdadli, S. Ould Saad, S. Lourdudoss, N. Maloufi, Z. Djebbour and F. Jomard; Proceedings of SPIE Volume 6479 : Quantum Sensing and Nanophotonic Devices (2007).
- [7] A. Mircea, A. ougazzaden and R. mellet, Prog. Crystal Growth and Charact. **19**, 39 (1989).
- [8] M. Bouchaour, thèse de doctorat, 2015.