

Analyse de défauts lacunaires linéaires créés par implantation d'hélium dans GaN

Frédéric Pailloux^{a,1}, Laurent Pizzagalli^a, Erwan Oliviero^{a,b}, Guillaume Lucas^a,
Jean-François Barbot^a

^a Laboratoire de Métallurgie Physique, UMR6630 CNRS/Université de Poitiers, Bd M. & P. Curie,
86962 Futuroscope-Chasseneuil, France

^b Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse, Bât 108, 91405 Orsay Campus, France

Résumé – Cette étude porte sur l'analyse des défauts générés par implantation ionique d'He dans du nitrure de gallium. Les défauts produits sont analysés par microscopie électronique en transmission à haute résolution ; les micrographies obtenues sont comparées à des simulations d'images obtenues à partir de structures modèles.

1. Introduction

Peu de travaux ont pour l'heure été consacrés à l'étude des défauts induits par irradiation/implantation dans le nitrure de gallium (GaN). Or l'implantation ionique est un procédé couramment utilisé pour modifier localement les propriétés des matériaux dans les dispositifs à base de semi-conducteurs : création d'une couche isolante, modification locale du dopage, découpe de couche mince par « smart-cut » (procédé fortement envisagé pour le GaN et directement lié à notre étude). Par ailleurs le GaN est exclusivement produit par épitaxie de films minces sur différents types de substrat (Si, AlN, SiC, Al₂O₃) ; la microstructure du film mince étant fortement influencée par le désaccord paramétrique film/substrat. Une des solutions permettant de réduire ce désaccord paramétrique consiste à faire croître au préalable une ou plusieurs couches tampons. Récemment, il a été proposé d'utiliser les cavités créées par implantation d'hélium (plus particulièrement, le champ de déformation qu'elles induisent) comme vecteurs permettant de diminuer le désaccord paramétrique dans des couches de SiGe [1]. En outre, Alquier *et al.* [2] ont étudié les interactions entre des nano-cavités créées par implantation d'hélium et les dislocations d'épitaxie dans des hétérostructures à base de GaN. Notre étude s'inscrit dans ce contexte et vise à déterminer la nature des défauts créés par implantation d'hélium à forte dose dans GaN.

2. Résultats

Un film mince de GaN épitaxié par MOCVD sur un substrat de saphir a été soumis à une implantation d'ions He⁺ d'une énergie de 50 keV et à une température de 750°C afin d'éviter les phénomènes d'amorphisation. La forte quantité d'ions implantée, 10¹⁷ He.cm⁻², correspond à une valeur d'endommagement maximale de 5,5 dpa (déplacement par atome) et à une concentration maximale de 6,5.10²¹ He.cm⁻³. Les coupes transverses, préparées par amincissement mécanique (tripode) jusqu'à une épaisseur d'environ 7µm suivi d'un amincissement ionique dans un PIPS (Ar, 2.5keV), ont été caractérisés par microscopie électronique en transmission conventionnelle et haute résolution (HRTEM). Ces observations confirment le fait qu'aucune transition amorphe ne s'est produite. Seule une couche endommagée, d'environ 200nm d'épaisseur, centrée sur le profil d'implantation des ions He (fig. 1) est observée. Cette bande est constituée dans sa partie supérieure (proche de la surface) de bulles sphériques dont le diamètre n'excède pas 2 nm. Plus en profondeur (à niveau du pic d'He, R_p), des bulles de même taille sont organisées en chapelets de plusieurs dizaines de nanomètres de long (éventuellement en plaquettes). Ces chaînes de bulles sont localisées dans les plans de base de la structure wurtzite (0001) et sont corrélées à la présence de dislocations. Par ailleurs les observations montrent des défauts linéaires (1D) situés en arrière de cette bande fortement endommagée (fig. 2) : ces défauts, repartis dans un domaine relativement étroit (<50 nm) sont de taille et de forme relativement homogènes (15 nm de long et 1 nm de diamètre). Le contraste (frange de Fresnel) de ces défauts présente le même comportement en défocalisation que celui des bulles ; ceci indique qu'ils sont de même nature : lacunaire. Dans cette même zone de l'échantillon, on observe également une assez grande quantité de boucles de nature interstitielle. Afin de préciser la nature et la structure atomique des défauts lacunaires décrits ci-dessus, les micrographies HRTEM ont été comparées à des images simulées à partir de structures modèles. Ces dernières ont été obtenues selon une procédure en deux étapes : une cavité cylindrique est initialement créée dans un cristal massif de GaN, puis le système est relaxé par simulations atomistiques, les interactions atomiques étant décrites par un potentiel de type Stillinger-Weber. Les simulations d'image ont été effectuées selon une approche "multislice" avec le logiciel EMS. Ces simulations, obtenues pour différentes défocalisations, ont alors été comparées aux séries focales expérimentales. La faible ressemblance entre les images simulées et les clichés expérimentaux ne permet malheureusement pas de conclure quant à la nature précise de ces défauts linéaires.

¹ Auteur à contacter : frederic.pailloux@univ-poitiers.fr – Tel : 01 02 03 04 05

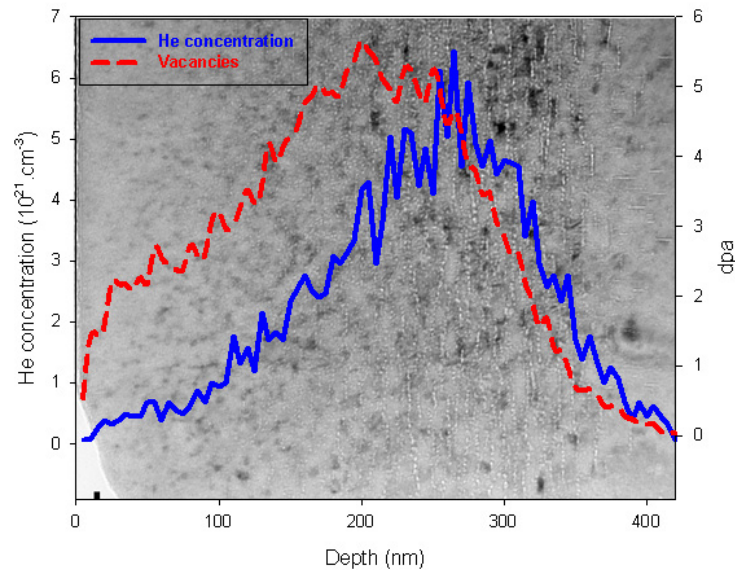


Figure 1. Vue transverse de la zone endommagée par l'implantation d'He à laquelle sont superposés les profils d'He et d'endommagement. Cette image montre l'organisation des bulles dans les plans de base de la structure wurtzite.

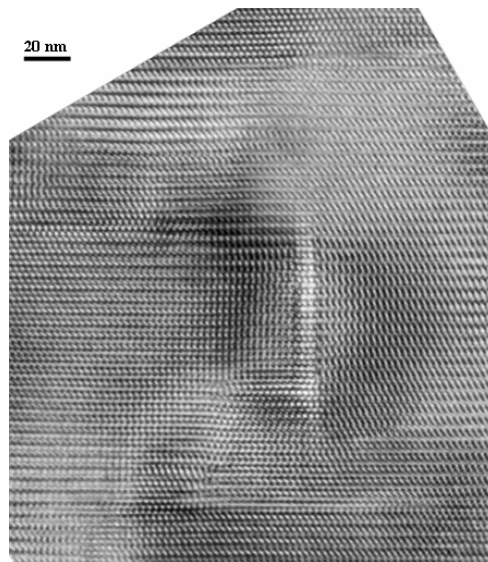


Figure 2. Micrographie HR d'un défaut lacunaire linéaire. L'image montre un champ de déformation entourant le défaut. Cette image présente également plusieurs boucles de dislocations de nature interstitielle.

3. Discussion

Bien que les simulations menées jusqu'à maintenant ne permettent pas de conclure sur la structure précise de ces défauts linéaires lacunaires, les micrographies montrent clairement que ces défauts génèrent autour d'eux un fort champ de déformation. Or les structures lacunaires relaxées par simulation atomistique montrent de très faibles déplacements atomiques (en accord avec les constantes élastiques de GaN). Ces résultats suggèrent que ces défauts sont plus complexes que de simples arrangements de lacunes et qu'ils contiennent certainement un gaz sous pression. Nos travaux actuels visent à déterminer la nature du gaz (He ou N) qui pourrait se trouver dans ces défauts.

4. Références

- [1] Hollander B., Lenk S.T., Mantl S., Trinkhaus H., Kirch D., Luysberg M., Hackbarth T., Herzog H.J., Fichtner P.F.P., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **175-177** (2001), 357 ; M.J. Morschbacher, D.L. da Silva, P.F.P. Fichtner, E. Oliviero, M. Behar, F.C. Zawislak, B. Hollander, M. Luysberg, S. Mantl, R. Loo, M. Caymax, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **219** (2004), 458
- [2] Alquier D., Bongiorno C., Roccaforte F., Raineri V., *Appl. Phys. Lett.* **86** (2005), 211911