

# Hétéro-épitaxie de Nitrure de Gallium Semi-isolant peu disloqué sur substrat de saphir pour applications HEMTs AlGa<sub>x</sub>N/GaN

Mohamed Azize (Juin 2006)

## Résumé de thèse

Dans ce travail, il a été question de réaliser par épitaxie par phase vapeur à partir d'organo-métalliques de couches tampons de GaN peu disloquées et semi-isolantes sur substrat de saphir pour applications de transistors Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/GaN (HEMTs). Les techniques de croissance latérale («traitement Si/N» du saphir ou masque Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub> sur GaN) sont alors utilisées pour la réduction de la densité de dislocations. Dans ce type de procédé de croissance, l'épitaxie de GaN à haute température débute en mode 3D et l'aplanissement de la couche se fait en mode 2D. Ces techniques permettent d'atteindre, pour les films de GaN non intentionnellement dopé (nid) de nature conducteurs (de type n), des densités de dislocations (N<sub>dislo</sub>) dans la gamme de 5x10<sup>6</sup> cm<sup>-2</sup> à 5x10<sup>8</sup> cm<sup>-2</sup>. La compensation électrique de ces couches de GaN peu disloqué est assurée par le dopage au Fer (ferrocène). En effet, la forte modulation de dopage au Fer uniquement lors des premiers stades de la croissance permet d'obtenir la caractéristique semi-isolant. Des méthodes de nano-caractérisations permettent de mettre en évidence les modes de compensation du GaN par le dopage Fe. Les couches tampon de GaN:Fe de nature semi-isolante avec une faible densité de dislocations (10<sup>8</sup> cm<sup>-2</sup> < N<sub>dislo</sub> < 8x10<sup>8</sup> cm<sup>-2</sup>) sont utilisés pour la réalisation de transistors Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/GaN. Les propriétés des gaz 2D sont en moyenne meilleures que l'état de l'art : la mobilité est en moyenne de 2100 cm<sup>2</sup>/Vs pour une densité de porteurs n<sub>s</sub> ~ 8x10<sup>12</sup> cm<sup>-2</sup>. A travers cette étude de transistors sur des tremplins de GaN SI et peu disloqués (N<sub>dislo</sub> ~ 10<sup>8</sup> - 8x10<sup>8</sup> cm<sup>-2</sup>), nous confirmons que les dislocations ont une influence sur la mobilité du gaz 2D : cet effet est d'autant plus vrai dans un régime à faible n<sub>s</sub>. La réduction de la densité des dislocations dans nos films a ainsi provoqué un décalage du maximum de la courbe μ(n<sub>s</sub>) vers les faibles densités de porteurs avec une augmentation globale de la mobilité.

EPVOM, GaN, croissance latérale, faible densité de dislocations, dopage Fe,  
*Mots clés* : morphactant, semi-isolant, microscopie à force électrostatique, microscopie capacitive, HEMT AlGa<sub>x</sub>N/GaN.

## Less dislocated semi-insulating GaN layers grown on sapphire for AlGa<sub>x</sub>N/GaN HEMTs devices

In this work we have realised by metal organic vapour phase epitaxy, semi-insulating GaN templates grown on sapphire with very low dislocation densities for applications in Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/GaN HEMT structures. A lateral growth technique has been developed in order to reduce the dislocation density induced by the large thermal and lattice mismatch between the sapphire substrate and Al(Ga)N epilayers. In this process the high temperature epitaxy commences in a 3D growth mode, with the coalescence of the 3D islands leading to the formation of a 2D planar surface. Such growth techniques result in low dislocation densities in the range of 5x10<sup>6</sup> cm<sup>-2</sup> to 5x10<sup>8</sup> cm<sup>-2</sup>. Despite these properties the GaN layers remain intrinsically n-type due to residual impurities (O,Si) and nitrogen vacancies (VN). However, electrical compensation can be achieved in such layers using an iron doping technique (eg. Ferrocene). To get less dislocated semi-insulating GaN layers, only the first stage of epitaxy (3D growth mode) is doped by Fe. Nano-characterizations such as microscopy force electrostatique and scanning capacitance permit to localize in GaN:Fe layers where Fe doping is efficient.

The resulting low dislocation density, semi-insulating, GaN:Fe templates are then incorporated in HEMT structures. The 2D electron gas properties of these transistors is as high as 2100 cm<sup>2</sup>/Vs for carrier density of 8x10<sup>12</sup> cm<sup>-2</sup>, which exceeds that of the current state of the art HEMT devices in the Al(Ga)N system. Furthermore, we have studied the properties of a number of transistor devices with various SI templates of different dislocation density and observe that the influence of the dislocation density on the mobility is stronger in structures with lower carrier densities. Moreover, the maximum mobility taken from the standard μ(n<sub>s</sub>) characteristic shifts towards lower carrier densities, with the highest mobility obtained for the templates with a lower dislocation density.

*Keywords* : MOVPE, GaN, lateral growth, weak dislocation density, Fe doping, morphactant, semi-insulating, AlGa<sub>x</sub>N/GaN HEMT.