

Optimisation de la croissance épitaxiale d'hétérostructures dans la filière Nitrure de Gallium pour les applications aux transistors à effet de champ

Nicolas Baron (Septembre 2009)

Résumé de thèse

Des avancées significatives dans la synthèse des matériaux semiconducteurs à large bande interdite de la famille de GaN permettent aujourd'hui la réalisation de dispositifs optoélectroniques (diodes, lasers) mais aussi celle de dispositifs électroniques (transistor). L'absence de substrat natif GaN ou AlN a pour conséquence le recours à l'hétéroépitaxie sur des substrats de nature différente comme le silicium qui présente un grand intérêt de par son prix très compétitif, la taille des substrats disponibles et sa conductivité thermique. L'orientation (111) du silicium est préférée en raison d'une symétrie de surface hexagonale, compatible avec la phase wurzite du GaN. Néanmoins, les différences de paramètres de maille et de coefficients d'expansion thermique génèrent des défauts cristallins et des contraintes dans les matériaux élaborés qui peuvent, s'ils ne sont pas maîtrisés, dégrader les performances des dispositifs. Ce travail de thèse a porté sur la croissance par épitaxie par jets moléculaires (EJM) d'hétérostructures à base de GaN sur substrat Si(111) en vue de la réalisation de transistors à haute mobilité d'électrons (Al,Ga)N/GaN. Ce travail avait pour objectif l'identification des paramètres de croissance susceptibles d'avoir un impact notable sur la qualité structurale et électrique de la structure HEMT (High Electron Mobility Transistor), et notamment sur l'isolation électrique des couches tampon et le transport des électrons dans le canal. Nous montrerons l'impact notable de certains paramètres de la croissance sur la qualité structurale et électrique de la structure HEMT. Nous verrons comment la relaxation des contraintes est liée au dessin d'empilement des couches, à leurs conditions d'élaboration et à la densité de défauts.

Mots clés : GaN, HEMT, transistor, III-N, silicium, épitaxie, contraintes, déformations, dislocations

Optimization of the growth by ammonia source molecular beam epitaxy of (Al,Ga)N/GaN high electron mobility transistors on (111) oriented silicon substrate

Significant advances in the synthesis of wide band gap GaN-based semiconductors now allow the realization of optoelectronic devices (LEDs, lasers) but also electronic devices (transistors). Because of the lack of GaN or AlN native substrate, GaN-based devices are usually grown on silicon carbide (SiC), sapphire (Al₂O₃), or silicon substrates (Si). Silicon substrate presents a thermal conductivity close to the one of GaN and advantages in terms of availability, size and cost. The (111) orientation with a 6-fold symmetry is preferred for the GaN-based heterostructures on silicon substrate. The development of GaN-based devices on silicon mostly relies on the control of material quality, especially the management of the dislocation density and of the stress due to the thermal expansion coefficient mismatch between GaN and silicon. This work is dedicated to the study of the growth by ammonia source molecular beam epitaxy of Al_xGa_{1-x}N/GaN high electron mobility transistors (HEMT) on (111) oriented silicon substrates. The aim of this work was to identify critical growth parameters likely to affect the structural and electrical properties of the HEMT heterostructures, in particular the resistivity of buffer layers and the two-dimensional electron gas transport properties at the Al_xGa_{1-x}N/GaN interface. We show how the stress relaxation is correlated with the design of the epitaxial layers stack, their growth conditions and the density of the threading dislocations.

Keywords : GaN, HEMT, transistor, III-N, silicon, epitaxy, stress, strain, dislocations