

# Résumé

Ingénierie des défauts cristallins pour l'obtention de GaN semi-polaire hétéroépitaxié de haute qualité en vue d'applications optoélectroniques :

Les matériaux semi-conducteurs III-N sont à l'origine d'une véritable révolution technologique. Qui aujourd'hui n'a pas entendu parler ou n'a pas utilisé des dispositifs optoélectroniques composés de diodes électroluminescentes ou lasers de différentes couleurs ?

Malgré l'effervescence autour de ces sources lumineuses (bleu notamment), leurs performances dans le vert et l'ultraviolet demeurent limitées. La principale raison à cela est l'orientation cristalline (0001)<sub>III-N</sub> (dite polaire) selon laquelle ces matériaux sont généralement épitaxiés et qui induit de forts effets de polarisation. Ces effets peuvent cependant être fortement atténués par l'utilisation d'orientations de croissance dite semi-polaires. Malheureusement, les films de GaN semi-polaires hétéroépitaxiés présentent des densités de défauts très importantes ce qui freine très fortement leur utilisation.

L'enjeu de cette thèse de doctorat est de réaliser des films de GaN semi-polaire (11-22) de haute qualité cristalline sur un substrat de saphir en utilisant la technique d'épitaxie en phase vapeur aux organométalliques. La réduction de la densité de défaut étant l'objectif majeur, différentes méthodes d'ingénieries de défauts s'appuyant sur la structuration de la surface des substrats et sur la croissance sélective du GaN, ont été développées. En parallèle, des études combinant cathodoluminescence et microscopie électronique à transmission ont permis de mettre en évidence les défauts structuraux générés lors de l'hétéroépitaxie, mais surtout d'en comprendre le comportement afin d'être en mesure de les annihiler. Grâce à une ingénierie fine et à l'optimisation des procédés de croissance, les densités de défauts obtenues ont permis d'établir l'état de l'art actuel du GaN semi-polaire hétéroépitaxié.

La reproductibilité de ces résultats a rendu possible la fabrication de pseudo-substrats 2 pouces de GaN semi-polaire (11-22)<sub>GaN</sub> de haute qualité, constituant ainsi une plateforme idéale aux futurs dispositifs optoélectroniques semi-polaires.

Par la suite, dans le but d'améliorer les performances des diodes électroluminescentes vertes, une étude préliminaire dédiée à l'optimisation de leur zone active, et plus précisément aux puits quantiques semi-polaires InGaN / GaN, a été menée.

D'autre part, au cours de cette thèse, le développement de substrats autosupportés de GaN semi-polaires, ainsi que la confection de cristaux 3D de grande taille (200 µm de largeur) dont la qualité cristalline est comparable aux cristaux de GaN massifs ont été démontrés. Ces deux approches représentent aujourd'hui de nouvelles voies à explorer pour s'approcher encore plus de la situation idéale que serait l'homoépitaxie.

## **Mots-clefs :**

Semi-conducteurs III-V, nitrure de gallium, semi-polaire, épitaxie, EPVOM, cathodoluminescence, croissance sélective, diode électroluminescente.



# Abstract

Defect engineering applied to the development of high quality heteroepitaxial semipolar GaN for optoelectronic applications:

Nitride based materials are the source of disruptive technologies. Nowadays, everyone has heard of or used optoelectronic devices made of light emitting diodes or laser diodes of different colors.

Despite the technological turmoil generated by these light sources (blue in particular), their efficiency for green or ultraviolet emission is still limited. For these applications, the main issue to address is related to strong polarization effects due to the (0001)<sub>III-N</sub> crystal growth orientation (polar orientation). Nevertheless these effects can be drastically decreased using semipolar growth orientations. Unfortunately semipolar heteroepitaxial films contain very high defect densities which hamper their adoption for the time being.

The aim of this doctoral thesis is to achieve semipolar (11-22) GaN of high crystal quality on sapphire substrate by metalorganic chemical vapor deposition. Defect reduction being the main objective, several defect engineering methods based on sapphire substrate patterning and GaN selective area growth have been developed. In parallel, studies combining characterization techniques such as cathodoluminescence and transmission electron microscopy have highlighted the structural defects generated during heteroepitaxial growth, and most importantly have provided an insight into how they behave in order to lead to their annihilation. Thanks to refined engineering processes and growth condition optimizations, the remaining defect densities have been reduced to a level that establishes the current state of the art in semipolar heteroepitaxial GaN.

The reproducibility of these results has enabled the achievement of high quality 2 inches semipolar (11-22) GaN templates, thus forming an ideal platform for the growth of the forthcoming semipolar optoelectronic devices.

With this in mind, in order to improve green light emitting diodes efficiency, a preliminary study dedicated to the optimization of their active region, and more precisely of the semipolar InGaN/ GaN quantum wells, has been conducted.

Finally, the development of semipolar GaN freestanding substrate has been performed, and beyond, the realization of large size (200  $\mu\text{m}$  wide) crystals with a structural quality similar to that of bulk GaN has been successfully demonstrated. These last two approaches pave the way to quasi-homoepitaxial growth of semipolar structures.

## **Keywords:**

III-V semiconductors, gallium nitride, semipolar, epitaxy, MOCVD, cathodoluminescence, selective area growth, light emitting diode.

