

PhD Title: “De la nano hétéroépitaxie aux microLEDs à base de GaN”

PhD Supervisor: Jesús Zúñiga-Pérez (CRHEA, UCA-CNRS)

tel : 0493954309 e-mail: jzp@crhea.cnrs.fr

PhD Supervisor: Guy Feuillet (CEA-LETI)

tel : 0493954309 e-mail: guy.feUILlet@cea.fr

Laboratory: CRHEA and CEA-LETI

. La croissance hétéro-épitaxiale consiste à faire croître une couche d'un matériau donné sur un substrat de propriétés cristallographiques différentes. Ceci est mis en œuvre lorsque les substrats « natifs » n'existent pas, sont de taille trop petites ou sont de coût prohibitif. C'est effectivement le cas de GaN : l'hétéroépitaxie est alors opérée sur des substrats Si ou saphir. Mais de nombreux défauts sont créés par hétéroépitaxie, notamment des dislocations qui, si en trop grand nombre, sont dommageables pour la qualité des dispositifs optiques ou électroniques.

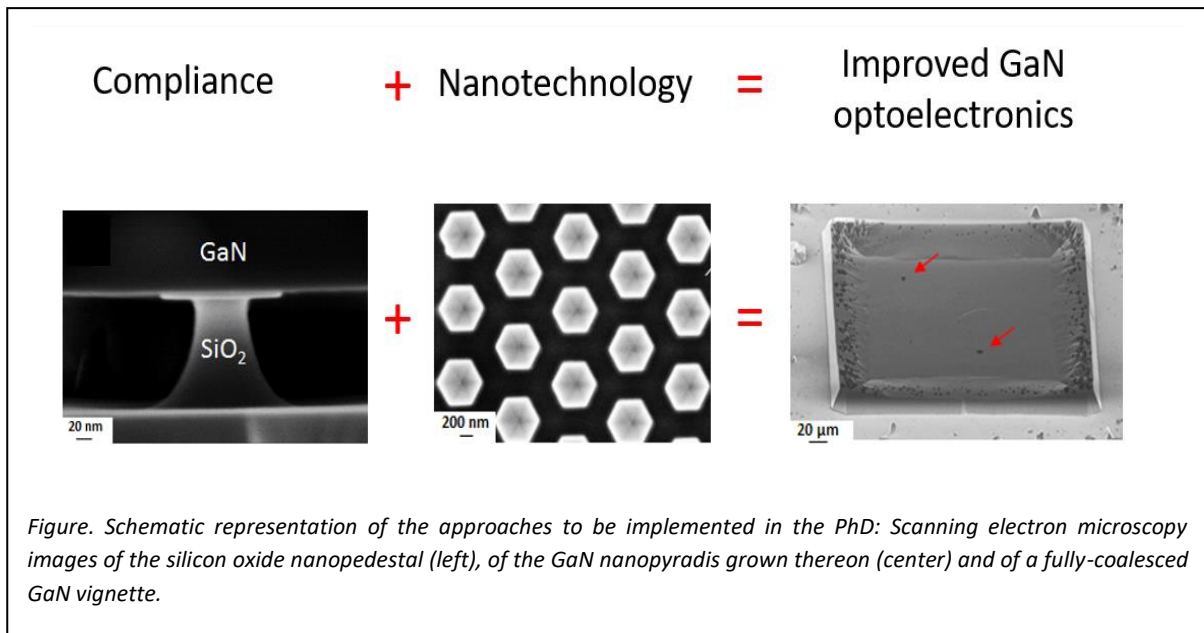
Nous proposons une méthode originale pour réduire la densité de ces défauts dans les couches de GaN hétéro-épitaxiées sur Si. Cette méthode repose sur deux principes : celui de la croissance localisée à des échelles nanométriques et celui de compliance par lequel les contraintes liées aux différences cristallines entre couche et substrat sont partagées entre couche et substrat ou même transférées intégralement dans le substrat.

La croissance nano-localisée permet de réduire notablement la surface d'interaction entre couche et substrat et donc de créer moins de défauts. Dans GaN, les modes de croissance, 2D ou 3D, peuvent être contrôlés précisément ; l'utilisation de conditions de croissance 3D, mais en mode localisé, permet de courber les dislocations dans le plan de croissance stoppant ainsi leur propagation. Ce type de méthodes donne de bons résultats, mais leur limite réside en ce que la croissance (nano) localisée conduit à la création de défauts de coalescence : lorsque les germes issus des centres de nucléation adjacents se rencontrent, des (sous) joints de grains et les dislocations associées se forment pour accommoder les désorientations entre les grains qui ont coalescé. C'est ce problème que l'on se propose de traiter.

Pour pallier ce problème, nous mettons en œuvre des procédés, dits de compliance, originaux. Si la croissance est faite sur des plots gravés dans un substrat et que les plots sur lesquels est reprise la croissance localisée peuvent eux-mêmes se déformer, la désorientation entre les germes adjacents sera majoritairement (ou totalement) transférée aux plots sous-jacents lors de la coalescence. Plutôt que de créer des joints de grains la coalescence résultera alors en un parfait alignement des grains les uns par rapport aux autres, et donc à une minimisation de l'énergie du système.

Nous avons appliqué ces principes à la croissance de GaN sur des substrats du type Si. Nous utilisons des substrats SOI (Si On Insulator), pour lesquels une couche fine de Si (typiquement 15 à 50nm) repose sur un oxyde (BOX pour Buried OXide), elle-même sur un substrat massif de Si. Une fine couche de GaN y est déposée. Cet empilement est gravé sous forme d'un réseau de nanoplots (typiquement 200 nm). La croissance est reprise d'abord en mode 3D sur les plots, suivie de la coalescence des cristallites issues de nanoplots adjacents. Nos premières caractérisations montrent

une très nette réduction de la densité de défauts et une quasi annulation des contraintes dans les couches.



Dans ce contexte, la thèse que nous proposons se fixe deux objectifs principaux:

1 - la modélisation des phénomènes en jeu. Des modèles existent qui prennent en compte les énergies de joints de grains en fonction de la désorientation entre les grains pour expliquer la rotation de grains adjacents à la coalescence, qu'il faudra adapter spécifiquement au matériau GaN. Nous appliquerons de tels modèles pour obtenir une expression du couple appliqué pour mettre les grains en coïncidence cristalline, ce couple étant transféré au plot sous-jacent. De là, des modélisations analytiques et par éléments finis permettront d'évaluer les cinétiques de déformations des plots de SiO₂ par fluage. Ces modélisations seront alors un outil de dimensionnement pour les tailles de plots, les épaisseurs de SiO₂, et les distances entre plots. Elles devront également permettre d'anticiper le comportement en fracture de ces plots.

2 – l'épitaxie de couches de GaN par Epitaxie en Phase Vapeur aux Organo-Métalliques (MOVPE). Dans un premier temps, il s'agira de réaliser des couches de GaN sur des réseaux de plots selon le dimensionnement déterminé par la modélisation. Il s'agira également d'évaluer les contraintes et la densité de défauts en mettant en œuvre les caractérisations structurales et optiques adéquates (diffraction X, microscopie électronique, luminescence et cathodoluminescence). Le procédé de croissance sera appliquée également à des couches d'alliages ternaires InGa_xN, dont on sait que l'incorporation d'indium est fonction de la contrainte. L'absence de contraintes permet d'incorporer davantage d'indium et donc de faciliter l'obtention d'émission à plus grande longueur d'onde, ouvrant la voie à la réalisation de LEDs dans le domaine du rouge à base de ces matériaux nitrures.

La thèse que nous proposons s'inscrit dans le cadre d'un projet de ressourcement Carnot du Laboratoire des Matériaux pour la Photonique au CEA / LETI à Grenoble. Ce projet collaboratif fait intervenir le CNRS / CRHEA à Sophia Antipolis pour la partie épitaxie, le CNRS / LTM à Grenoble pour les aspects structuration des substrats et le LETI pour la caractérisation, la modélisation et la réalisation des LEDs.

Le (la) candidat(e) recherché(e) devra être attiré par la physique des matériaux et par la manipulation de concepts novateurs en physique du solide. Il sera également très intéressé par les aspects expérimentaux de la physique et les applications qui en découlent. Il est important également d'avoir des facilités de communication, le travail se situant à cheval sur deux laboratoires et dans le cadre d'un projet fortement collaboratif.

PhD Title: “From nanoheteroepitaxy to GaN-based micro-LEDs”

PhD Supervisor: Jesús Zúñiga-Pérez (CRHEA, UCA-CNRS)

tel : 0493954309 e-mail: jzp@crhea.cnrs.fr

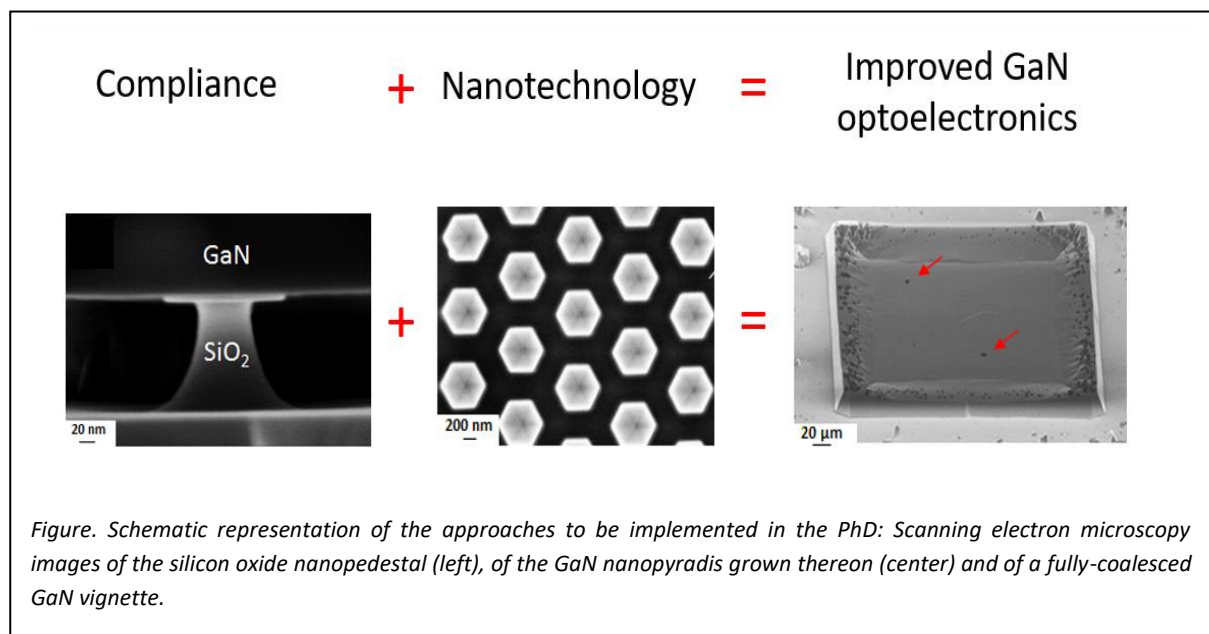
PhD Supervisor: Guy Feuillet (CEA-LETI)

tel : 0493954309 e-mail: guy.feuillet@cea.fr

Laboratory: CRHEA and CEA-LETI

Heteroepitaxy consists in growing a given crystal on top of a substrate that differs either in chemical and/or physical properties. This approach is most often followed whenever bulk crystals of the desired material do not exist or are too expensive or still too small. This is the case for **GaN**, which is the second semiconductor in terms of business share just after silicon. The need for heteroepitaxy comes along a number of difficulties, mostly related to the presence of structural defects, which degrade the efficiency and lifetime of the fabricated devices (e.g. lasers or LEDs).

In this PhD we will tackle this problem thanks to an original growth approach merging the phenomenon of **compliance**, by which strain is shared between film and substrate rather than by the film alone, and the **selective area growth on nanometric surfaces** (see Figure 1). Even though by themselves these two solutions can already reduce the defect density, they exhibit an inherent limitation due to the formation of new defects, mainly threading dislocations, at the coalescence boundary between independent crystalline grains. To overcome this difficulty, encountered generally in thin film growth, we have recently introduced the growth of GaN on nanometric pedestals fabricated in an SOI (i.e. silicon-on-insulator) substrate. Indeed, at growth temperature the substrate should behave as a « fluid », which should then be able to accommodate the inherent misorientation of grains by rotating around the pedestal axis, thereby minimizing the total system energy.



In this context, the objective of the PhD will be double:

1st. To **simulate**, thanks to **numerical modelling**, the mechanical behavior of the nanometric GaN/SOI columns at growth temperature and to calculate the energy required to induce the rotations necessary to prevent dislocation formation at the grain boundaries.

2nd. To **fabricate**, by combining nanoimprint lithography and metalorganic vapour phase epitaxy, coalesced **GaN** thin films on top of the patterned substrates and characterize the overall structural quality gain. This last aspect will be assessed through a number of structural and optical characterization techniques, such as high-resolution XRD, cathodoluminescence and electron microscopy. Subsequently, this growth approach will be extended to InGaN thin films, which will open the door towards the fabrication of red LEDs based on nitride materials, a technological brick missing in current industry and of enormous economic impact.

The PhD will be carried out in the context of a Carnot project coordinated by CEA/LETI, in Grenoble, and bringing together the GaN growth knowhow of CRHEA-CNRS, in Valbonne, the nanoimprint lithography capabilities of LTM-CNRS, in Grenoble, and the fabrication and characterization means at CEA/LETI. Thus, the candidate will need to be attracted by materials science, condensed matter physics as well as by nanotechnology in general. Furthermore, the project being shared among three different laboratories, the candidate will be asked to display good communication and team-working skills.