

# Nanophotonique à base de nitrures intégrée sur silicium

SiNPHONi propose une approche innovante, qui contourne les difficultés liées à la gravure des matériaux Al(Ga)N, afin de réaliser des nanocavités photoniques dans l'UV de faible volume et de haut facteur de qualité, le tout intégré sur silicium.

**Objectifs:**

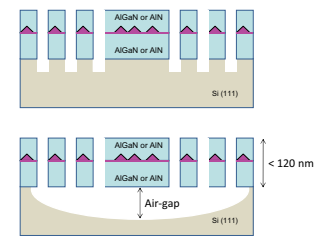
- fabriquer et étudier des nanocavités nitrures à cristaux photoniques 2D intégrées sur substrat silicium
- démontrer le potentiel des boîtes quantiques GaN pour fabriquer des émetteurs de lumière efficaces et étendre davantage vers l'UV la gamme d'émission des nitrures
- combiner efficacement les cristaux photoniques et les boîtes quantiques GaN pour fabriquer des composants optoélectroniques innovants intégrés sur silicium.

**Originalité du projet:**

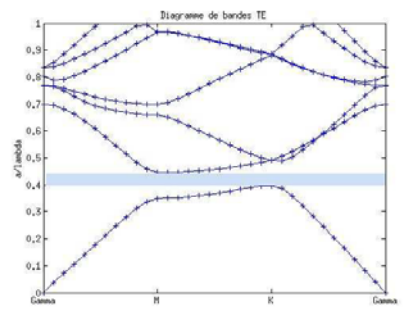
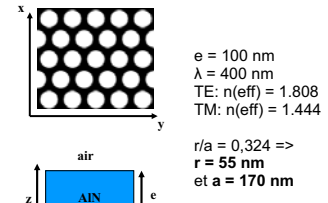
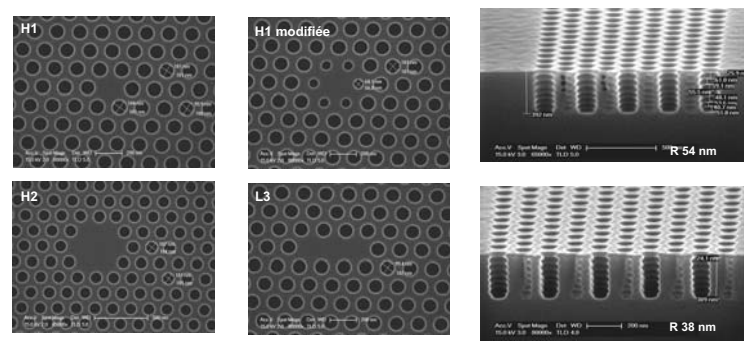
- Le projet repose sur un procédé de fabrication original faisant l'objet d'un brevet (Fr 2008/50335) : un cristal photonique est gravé dans un substrat de silicium, puis une croissance épitaxiale conforme de matériaux nitrures contenant des QDs est réalisée sur le cristal photonique en silicium et finalement la membrane est libérée par gravure sélective.

**Verrous scientifiques / techniques:**

- Maîtriser la fabrication des motifs aux dimensions nanométriques proches des limites technologiques actuelles dans le silicium
- Maîtriser la croissance épitaxiale conforme des matériaux Al(Ga)N sur les substrats nanostructurés de silicium
- Fabriquer des cristaux photoniques à base de matériaux Al(Ga)N possédant des facteurs de qualité élevés
- Fabriquer des émetteurs de lumières (boîtes quantiques) insensibles aux défauts et très efficaces à température ambiante
- Démontrer un nanolaser sur silicium émettant dans l'UV et fonctionnant à bas seuil



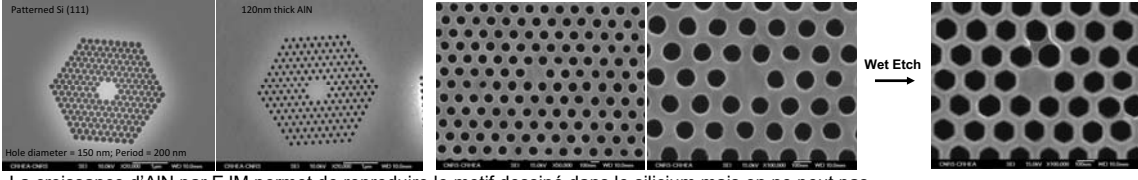
**Fabrication de structures photoniques dans le silicium pour l'UV**



Optimisation du procédé de lithographie électronique et de gravure ICP afin de définir des trous de dimensions nanométriques parfaitement circulaires et homogènes.

Simulations confirmant l'ouverture d'une bande interdite photonique en TE qui s'étend de 386 à 425 nm (3.21 à 2.92 eV) en choisissant une période de 170 nm et un rayon de 55 nm

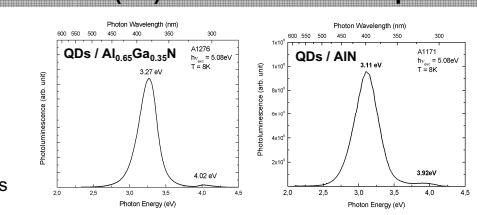
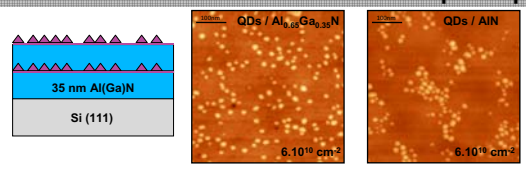
**Croissance épitaxiale conforme d'Al(Ga)N sur les structures photoniques en silicium**



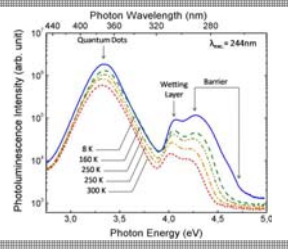
Une étape de gravure humide post-croissance permet de restaurer le diamètre initial des trous. Suite à la gravure, et en relation avec la structure cristalline de l'AlN, les trous circulaires deviennent hexagonaux avec des flancs lisses et légèrement inclinés (plans cristallographiques).

La croissance d'AlN par EJM permet de reproduire le motif dessiné dans le silicium mais on ne peut pas totalement éviter une croissance latérale qui conduit à une réduction du diamètre des trous.

**Croissance de boîtes quantiques GaN/Al(Ga)N sur des couches épitaxiales ultra-minces d'AlN sur silicium**



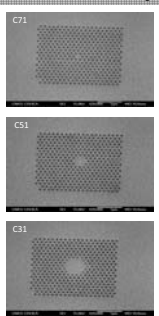
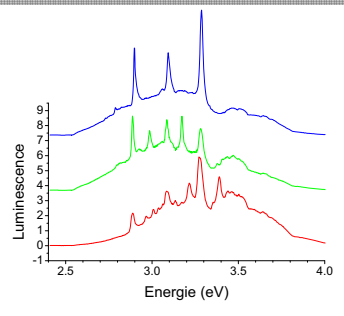
Les propriétés optiques de ces QDs de GaN, que ce soit sur AlN ou AlGaIn, sont tout à fait remarquables avec notamment une forte luminescence jusqu'à température ambiante.



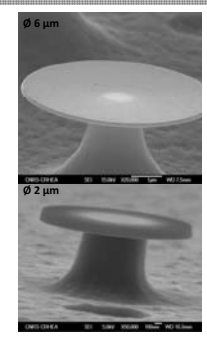
Optimisation de la croissance épitaxiale pour fabriquer des QDs GaN malgré la proximité de l'hétéro-interface Al(Ga)N/silicium. On peut atteindre une densité de quelques  $10^{11} \text{ cm}^{-2}$ .

S. Sergent et al., Appl. Phys. Express 2 (2009) 051003

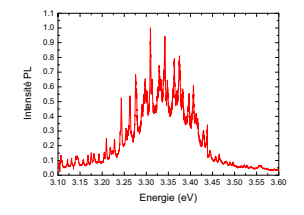
**Etude des premières nanocavités à base d'Al(Ga)N intégrées sur silicium**



Malgré la qualité très moyenne des premiers échantillons étudiés (cavités H1, H2, H3, ... trous irréguliers et flancs rugueux car la gravure humide post-croissance qui permet de lisser les flancs n'a pas été appliquée sur ces premiers échantillons), des expériences de micro-photoluminescence mettent clairement en évidence des modes (Q=100 à 200). Certains modes, les plus intenses, se retrouvent sur toutes les cavités et sont identifiés comme étant des modes lents. Des modes de cavités apparaissent et leur nombre augmente lorsque l'on agrandi les dimensions de la cavité.



Plus simple à fabriquer et plus simple à étudier, la fabrication de microdisques est aussi envisagée. Des modes de galeries avec un Q de 2000 ont été observés.



**Conclusions à T0+10:**

Les verrous scientifiques et technologiques initialement identifiés sont résolus ou sont en passe de l'être. Nous savons fabriquer des structures photoniques dans le silicium avec des dimensions caractéristiques compatibles avec l'UV. La croissance épitaxiale d'Al(Ga)N conforme combinée à une étape de gravure humide post-croissance permet de répliquer les structures dessinées dans le silicium. Nous savons fabriquer des émetteurs robustes de photons UV (QDs GaN) proches de l'interface avec le silicium ce qui permet de fabriquer des membranes monomodes. Enfin, l'observation de modes de cavités, de modes lents et de modes de galeries dans des nanocavités non optimisées est de bonne augure pour la suite du projet.

Contact : Fabrice SEMOND, CNRS-CRHEA, rue Bernard Grégory, 06560 Valbonne ; e-mail : [fs@crhea.cnrs.fr](mailto:fs@crhea.cnrs.fr), tél. 06 09 76 85 87