

Nanophotonique et semiconducteurs nitrures : optique non-linéaire et nouveaux microlasers

**T. Guillet¹, J. Sellés¹, Z. Lin¹, C. Brimont¹, G. Cassabois¹, B. Guizal¹, P. Valvin¹,
B. Gayral^{2,3}, M. Mexis⁴, F. Semond⁴, I. Roland⁵, Y. Zeng⁵, X. Checoury⁵, P. Boucaud⁵**

¹ *Laboratoire Charles Coulomb (L2C), UMR 5221 CNRS-Université de Montpellier,
Montpellier, F-France.*

² *Univ. Grenoble Alpes, INAC-SP2M, CEA-CNRS group*

"Nanophysique et Semiconducteurs", F-38000 Grenoble, France

³ *CEA, INAC-SP2M, CEA-CNRS group "Nanophysique et Semiconducteurs", F-38000
Grenoble, France*

⁴ *CRHEA-CNRS, Rue Bernard Grégory, F-06560 Valbonne, France*

⁵ *Institut d'Electronique Fondamentale, CNRS - Univ. Paris Sud 11, Bâtiment 220, F-91405
Orsay, France*

Adresse email de l'orateur : thierry.guillet@umontpellier.fr

Dans le domaine de la nano-photonique, les matériaux semiconducteurs nitrures (GaN, AlN) présentent un intérêt grandissant en raison de leurs spécificités, et de leur complémentarité avec les filières déjà établies. Ces matériaux présentent en effet une plage de transparence large, du moyen infra-rouge à l'ultra-violet ; ils présentent aussi des susceptibilités non-linéaires d'ordre 2 et 3 intéressantes ; des émetteurs efficaces jusqu'à température ambiante peuvent être intégrés dans les couches actives. Enfin, la filière nitrure de l'industrie des semiconducteurs se développe actuellement très rapidement.

Nous avons développé au cours des dernières années plusieurs facettes exploitant ces avantages de la nano-photonique GaN. La maîtrise des procédés spécifique à GaN/AlN a permis de réaliser des micro-résonateurs de haut facteur de qualité, atteignant dans l'ultra-violet $Q=7000$ dans des microdisques [1] et $Q=4400$ dans des cavités à cristaux photoniques membranaires [2], et $Q=34000$ dans l'infra-rouge [3]. Ces résonateurs sont désormais intégrés dans des circuits photoniques complexes [3]. Ces structures sont de plus réalisées à partir de couches GaN/AlN sur substrat de silicium, de faible coût, ce qui ouvre des perspectives riches de couplage avec la photonique silicium.

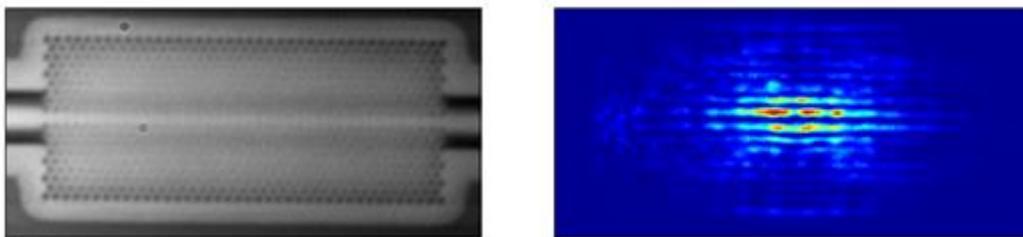


Figure 1 : (à gauche) image de microscopie du cristal photonique suspendu GaN/AlN/air/Si. L'image est enregistrée avec la même camera qui mesure le signal de second harmonique. (à droite) Motif du signal de second harmonique, en fausses couleurs (depuis le bleu jusqu'au rouge).

Nous présentons ici deux démonstrations récentes et originales. D'une part, nous avons exploité le confinement de la lumière dans une cavité photonique membranaire pour exalter la génération de seconde harmonique (SHG). La structure est constituée d'un guide d'accès membranaire GaN/AlN de 345nm d'épaisseur, se terminant de manière effilée pour optimiser le couplage de la lumière via une fibre lentillée. Un cristal photonique est inséré au centre du

guide d'onde, avec un mode de cavité à 1577nm ($Q=25000$). Lorsque le laser continu d'injection est résonant avec ce mode, une émission de seconde harmonique est observée depuis la surface par un objectif de microscope couplé à un capteur CCD (figure 1). Il est intéressant d'observer que cette image possède une résolution comparable à la distance entre trous du cristal photonique. En particulier, la forme en X de l'image de second harmonique a permis d'identifier le processus non-linéaire d'ordre 2 le plus efficace pour générer la SHG, par comparaison avec des simulations FDTD. La perspective de ce travail est d'étendre vers le bleu/l'UV la plage spectrale de SHG, et de mieux profiter de la géométrie membranaire pour récolter la SHG.

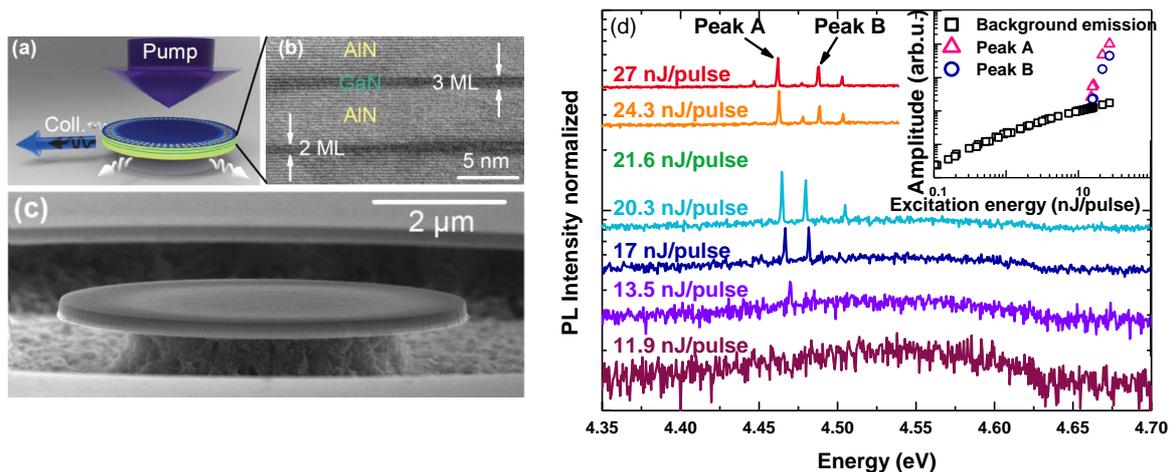


Figure 2 : 1 (a) Schéma de l'échantillon ; image de microscopie électronique à balayage (c) et en transmission (b) du microdisque et de sa couche active.
(c) Spectre d'émission en fonction de la puissance. Le seuil laser est de 13nJ/pulse.

D'autre part, nous avons réalisé un laser à microdisques fonctionnant sous pompage optique impulsionnel dans une plage spectrale jusqu'ici inexplorée pour des micro-résonateurs : il émet à 275nm, dans l'UV-C, grâce à une couche active à base de puits quantiques GaN/AlN de 2.8 monocouches d'épaisseur nominale sur substrat silicium (figure 2). Seules des couches actives beaucoup plus complexes avaient à ce jour permis d'atteindre une émission laser à ces longueurs d'ondes dans des lasers-rubans ; celles-ci étaient de plus incompatibles avec une intégration en circuit photonique ou en microlaser. Le choix de puits quantiques sans alliages ternaires permet ici d'atteindre une bonne efficacité quantique à 300K, malgré une forte densité de dislocations ($7 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-2}$). Le facteur beta de ce microlaser a été estimé à $3,5 \cdot 10^{-4}$, toujours à 300K, ce qui est dans la plage basse des valeurs atteintes pour des microlasers émettant dans l'infra-rouge.

[1] M. Mexis *et al.*, *High quality factor nitride-based optical cavities: Microdisks with embedded GaN/Al(Ga)N quantum dots*, Opt. Lett. **36**, 2203 (2011).

[2] D. Sam-Giao *et al.*, *High quality factor AlN nanocavities embedded in a photonic crystal waveguide*, Appl. Phys. Lett. **100**, 191104 (2012).

[3] I. Roland *et al.*, *Near-infrared gallium nitride two-dimensional photonic crystal platform on silicon*, Appl. Phys. Lett. **105**, 011104 (2014).

[4] Y. Zeng *et al.*, "Resonant second harmonic generation in a gallium nitride two-dimensional photonic crystal on silicon", Appl. Phys. Lett. **106**, 081105 (2015)

[5] J. Sellés *et al.*, *Deep-UV nitride-on-silicon microdisk lasers*, submitted