

MICROLASERS BLEUS INTÉGRÉS SUR SILICIUM

F. Tabataba-Vakili ^{1,2,*}, L. Doyennette ³, C. Brimont ³, T. Guillet ³, S. Renneson ⁴, B. Damilano ⁴, E. Frayssinet ⁴, J.-Y. Duboz ⁴, X. Checoury ¹, S. Sauvage ¹, M. El Kurdi ¹, F. Semond ⁴, B. Gayral ², and P. Boucaud ^{4,*}

¹ Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay, F-91120 Palaiseau, France

² Univ. Grenoble Alpes, CEA, INAC-Pheliqs, 38000 Grenoble, France

³ Laboratoire Charles Coulomb (L2C), Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France

⁴ Université Côte d'Azur, CRHEA-CNRS, F-06560 Valbonne, France

farsane.tabataba-vakili@u-psud.fr, philippe.boucaud@crhea.cnrs.fr

RÉSUMÉ

Les semi-conducteurs nitrures de groupe III ouvrent un nouveau domaine pour la nanophotonique sur silicium. La plateforme III-N sur Si peut être exploitée dans l'infrarouge, dans l'UV et dans le bleu avec des émetteurs intégrés. Nous démontrons des lasers à microdisque intégrés dans un circuit photonique dans la gamme spectrale bleue.

MOTS-CLEFS : microdisque, circuit photonique sur silicium, nitrure de groupe III

1. INTRODUCTION

La nanophotonique avec des nitrures de groupe III sur silicium est devenue un domaine de forte intérêt. Les nitrures sont transparents du proche infra-rouge (IR) jusqu'à l'ultra-violet (UV). On peut intégrer sur puce des émetteurs actifs comme des microlasers ce qui n'est pas possible dans d'autres plateformes nanophotoniques. Des applications potentielles pour ces circuits photoniques actifs sont des biocapteurs [1] et la communication avec la lumière visible (LiFi) [2], par exemple. De nombreux travaux ont été rapportés sur des résonateurs à microdisque nitrure et des lasers individuels avec des facteurs de qualité importants [3, 4, 5]. En parallèle, de nombreux travaux portent actuellement sur des circuits photoniques passifs avec le nitrure d'aluminium (AlN) sur le dioxyde de silicium (SiO₂) [6, 7]. Ici nous combinons des émetteurs actifs à base de microrésonateurs à puits quantiques avec un circuit photonique dans la gamme spectrale bleue. Les puits quantiques sont localement gravés pour éviter la réabsorption de la lumière dans les guides d'onde suspendus. Un autre enjeu technologique est lié aux distances de moins de 100 nm pour avoir un couplage important entre le disque et le guide dans le bleu.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'échantillon investigué a été épitaxié sur un substrat de silicium (111) par épitaxie par jets moléculaire (MBE). Il contient des couches de 100 nm AlN, 300 nm de nitrure de gallium (GaN) et 10 puits quantiques de nitrure d'indium et gallium (InGaN) avec une émission vers 415 nm.

On a fabriqué des microdisques avec des diamètres de 3 et 5 μm avec des guides et des réseaux de couplage à la fin du guide. Les écarts entre disque et guide sont de 80 à 120 nm et l'angle du guide autour du disque est entre 0 et 90°. La Fig. 1 montre des images en microscope électronique à balayage (MEB) d'un dispositif. La fabrication se fait en trois étapes de lithographie e-beam avec la résine UVIII et un masque dur de SiO₂ par dépôt chimique en phase vapeur activé par plasma (PECVD). Le SiO₂ est gravé par gravure ionique réactive (RIE) et le nitrure de groupe III est gravé avec un plasma à couplage inductif (ICP) avec des gaz Cl₂ et BCl₃. Dans la première étape on définit les disques et les guides et on grave jusqu'au Si. Dans la deuxième étape on enlève les puits quantiques du guide pour éviter une réabsorption de l'émission. Les réseaux sont fabriqués dans la troisième étape. A la fin du process les disques sont sous-gravés et les guides sont suspendus par une gravure XeF₂ (représenté dans la Fig. 1 (d)).

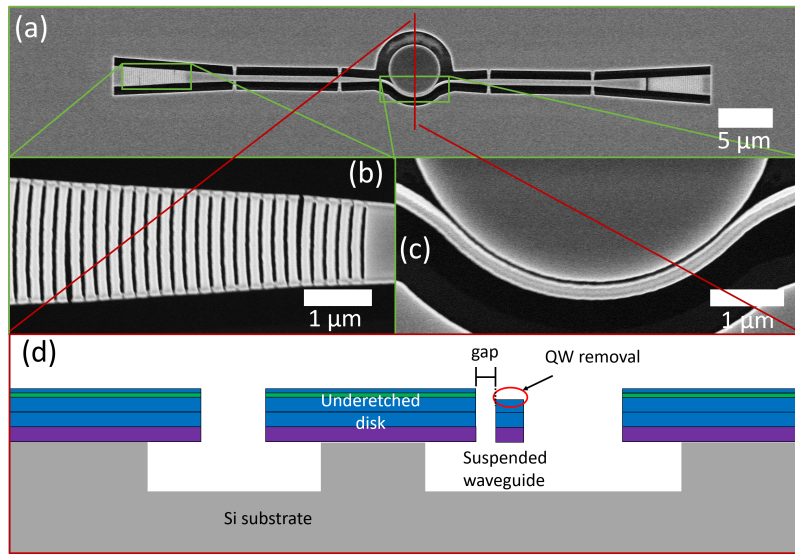


FIGURE 1 : (a) Images MEB des dispositifs, (b) zoom du réseau et (c) du disque et guide, (d) sketch du vue par la côté.

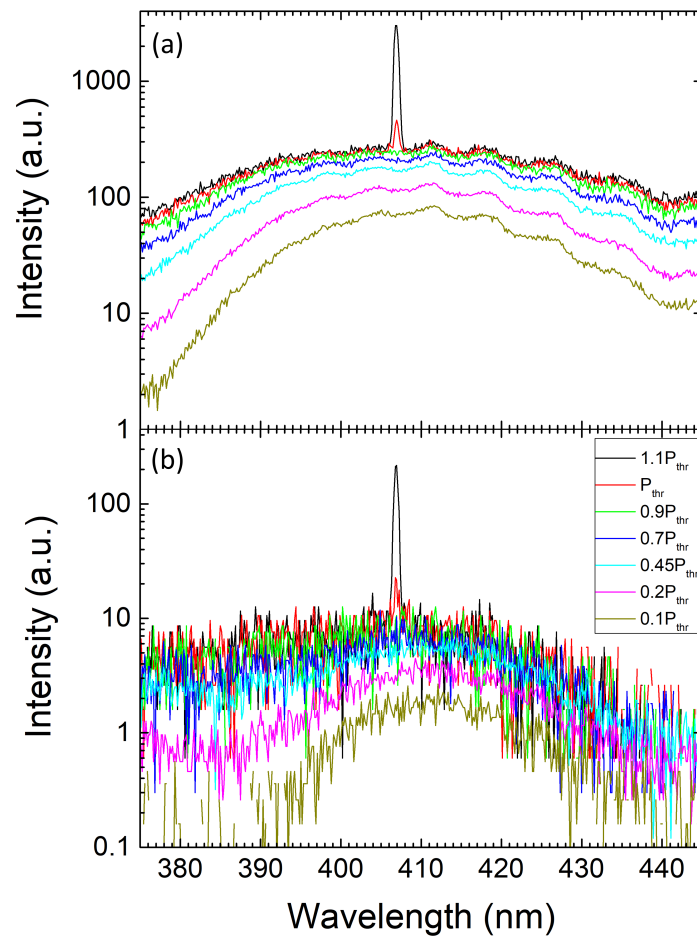


FIGURE 2 : Des spectres d'effet laser sur pompage optique pulsé. (a) mesuré sur le disque et (b) à la fin du guide.

En pompage optique continu, on observe des modes de galeries avec des facteurs de qualité plus grand que 2000 [8]. En pompage pulsé les disques de $3\ \mu\text{m}$ avec des guides droits et des écarts de 120 nm lasent avec un seuil de $15\ \text{mJ}/\text{cm}^2$ (voit Fig. 2). Les spectres de la Fig. 2 (a) sont mesurés du dessus du disque et dans la Fig. 2 (b) à la fin du guide. Ces courbes sont la première démonstration d'un microlaser bleu intégré dans un circuit photonique avec des nitrures de groupe III sur silicium [8].

CONCLUSION

On a fabriqué des microdisques avec des guides et réseaux de couplage en utilisant les nitrures de groupe III sur silicium. On a observé des importants facteurs de qualité de 2000 en pompage optique continu et on a démontré l'effet laser pour des disques de $3\ \mu\text{m}$ avec des guides droits et des écarts microdisque-guide de 120 nm. C'est la première démonstration d'un microlaser intégré dans un circuit photonique dans le bleu.

RÉFÉRENCES

- [1] X. Lia and X. Liu, "Group III nitride nanomaterials for biosensing," *Nanoscale*, vol. 9, p. 7320, 2017.
- [2] M. S. Islam, R. X. Ferreira, X. He, E. Xie, S. Videv, S. Viola, S. Watson, N. Bamiedakis, R. V. Penty, I. H. White, A. E. Kelly, E. Gu, H. Haas, and M. D. Dawson, "Towards 10 Gb/s orthogonal frequency division multiplexing-based visible light communication using a GaN violet micro-LED," *Photonics Research*, vol. 5, pp. A35–A43, 2017.
- [3] A. C. Tamboli, E. D. Haberer, R. Sharma, K. H. Lee, S. Nakamura, and E. L. Hu, "Room-temperature continuous-wave lasing in gan/ingan microdisks," *Nature Photonics*, vol. 1, pp. 61–64, 2007.
- [4] D. Simeonov, E. Felton, A. Altoukhov, A. Castiglia, J.-F. Carlin, R. Butté, and N. Grandjean, "High quality nitride based microdisks obtained via selective wet etching of alinn sacrificial layers," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 92, p. 171102, 2008.
- [5] I. Rousseau, G. Callsen, G. Jacopin, J.-F. Carlin, R. Butté, and N. Grandjean, "Optical absorption and oxygen passivation of surface states in iii-nitride photonic devices," *J. Appl. Phys.*, vol. 123, p. 113103, 2018.
- [6] X. Liu, A. W. Bruch, Z. Gong, J. Lu, J. B. Surya, L. Zhang, J. Wang, J. Yan, and H. X. Tang, "Ultra-high-Q UV microring resonators based on single-crystalline AlN platform," *Optica*, vol. 5, pp. 1279–1282, 2018.
- [7] T.-J. Lu, M. Fanto, H. Choi, P. Thomas, J. Steidle, S. Mouradian, W. Kong, D. Zhu, H. Moon, K. Berggren, J. Kim, M. Soltani, S. Preble, and D. Englund, "Aluminum nitride integrated photonics platform for the ultraviolet to visible spectrum," *Opt. Express*, vol. 26, pp. 11 147–11 160, 2018.
- [8] F. Tabataba-Vakili, L. Doyennette, C. Brimont, T. Guillet, S. Rennesson, E. Frayssinet, B. Damilano, J.-Y. Duboz, F. Semond, I. Roland, M. ElKurdi, X. Checoury, S. Sauvage, B. Gayral, and P. Boucaud, "Blue microlasers integrated on a photonic platform on silicon," *ACS Photonics*, vol. 5, pp. 3643–3648, 2018.