

Intégration planaire de fonctions photoniques non-linéaires dans des composants en niobate de lithium en couche mince.

Lieu de la thèse : LAAS-CNRS, Toulouse

Encadrants de thèse : O. Gauthier-Lafaye et S. Calvez, contact : scalvez@laas.fr

Le niobate de lithium (Lithium Niobate, LN) cristallin est un matériau émergent pour la photonique intégrée. L'intérêt discriminant de ce matériau vient de ses propriétés non linéaires du second ordre qui sont à la base des modulateurs et autres convertisseurs de fréquences utilisables sur toute la bande de transparence du matériau (0,4 μm - 5 μm). Par ailleurs, les guides d'ondes LN sont connus pour leurs faibles pertes de propagation ce qui en fait une plateforme de choix pour la fabrication de dispositifs photoniques intégrés pour des applications d'information classique et quantique [1, 2]. Ce matériau a vu son intérêt renforcé avec l'avènement des films minces de LN. En effet, ces films représentent une rupture technologique à plus d'un titre. Tout d'abord, ils offrent des réponses à la demande grandissante en bande passante pour les télécommunications et ouvrent également la voie à un traitement non linéaire de signaux à basse puissance comme requis pour le domaine du quantique. Ainsi, des composants optiques aux performances décuplées à base de films LN sur isolant (LNOI, Lithium Niobate On Insulator) ont été démontrés récemment pour la réalisation de sources quantiques, de convertisseurs de fréquences au rendement record ou encore de modulateurs très large bande et à très faible tension de commande [3, 4, 5]. La métrologie n'est pas en reste avec des applications en optique comme la génération de peignes de fréquence [6] ou de supercontinuum [7]. Par ailleurs, cet intérêt est décuplé en raison du potentiel du LNOI pour le développement de circuits photoniques fortement intégrés [8, 9] sur plateforme silicium. Cette filière offre donc des perspectives sans précédent en termes d'évolutivité et de performances grâce à une densification des composants comme démontrée jusqu'à présent sur silicium.

La thèse proposée s'intéresse à l'utilisation de la filière LNOI pour la réalisation de composants d'optique non-linéaire intégrée pour les applications d'optique quantique principalement. Il s'agira de travailler sur trois volets essentiels à la démonstration et l'établissement de ces composants. Un premier volet recouvre la modélisation et la conception des systèmes de couplage optique depuis les fibres optiques vers les guides d'onde, ainsi que l'optimisation des résonateurs et circuits optiques permettant l'exaltation des effets non-linéaires recherchés. Un second volet est le développement et l'établissement de procédés technologiques fiables, performants et reproductibles de micro-fabrication de ces composants. Ce volet sera traité avec l'appui de la salle blanche du LAAS, une des 5 grandes centrales technologiques du réseau académique RENATECH, et s'appuiera sur les résultats antérieurs déjà obtenus par l'équipe. Enfin, un dernier volet adressera la caractérisation des performances des composants réalisés.

Les travaux de thèse seront réalisés au LAAS-CNRS dans l'équipe [Photonique](#), et s'inscrivent dans le cadre d'un projet collaboratif d'ampleur national NanoFILN réunissant les efforts de 5 laboratoires sur la thématique de la fabrication et la réalisation de circuits photoniques en LNOI.

- [1] O. Alibart, V. D'Auria, M. D. Micheli, F. Doutré, F. Kaiser, L. Labonté, T. Lunghi, É. Picholle and S. Tanzilli, "Quantum Photonics at Telecom Wavelengths Based on Lithium Niobate Waveguides," *Journal of Optics*, vol. 18, p. 104001, 2016; <https://doi.org/10.1088/20408978/18/10/104001>.
- [2] M. Galan, V. Sorger, P. Juodawlkis, W. Loh, C. Sorace-Agaskar, A. E. Jones, K. Balram and al., "Roadmap on Integrated Quantum Photonics," *Journal of Physics: Photonics*, 2021; <https://doi.org/10.1088/2515-7647/ac1ef4>.

- [3] J. Zhao et al., «High quality entangled photon pair generation in periodically poled thin-film lithium niobate waveguides,» *Physical review letters*, vol. 124, p. 163603, 2020; <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.124.163603>.
- [4] J. Lu et al., «Periodically poled thin-film lithium niobate microring resonators with a secondharmonic generation efficiency of 250,000%/W,» *Optica*, vol. 6, pp. 1455-1460, 2019; <https://doi.org/10.1364/OPTICA.6.001455>.
- [5] M. Zhang, C. Wang, P. Kharel, D. Zhu et M. Loncar, «Integrated lithium niobate electrooptic modulators:when performance meets scalability,» *Optica*, vol. 8, pp. 652-667, 2021; <https://doi.org/10.1364/OPTICA.415762>.
- [6] C. Wang. et al., «Monolithic lithium niobate photonic circuits for Kerr frequency comb generation and modulation,» *Nature Communications*, vol. 10, p. 978, 2019.
- [7] M. Yu. et al., «Coherent two-octave-spanning supercontinuum generation in lithiumniobate waveguides,» *Optics letters*, vol. 44, pp. 1222-1225, 2019.
- [8] S. Saravi, T. Pertsch and F. Setzpfandt, "Lithium Niobate on Insulator: An Emerging Platform for Integrated Quantum Photonics," *Advanced Optical Materials*, vol. 9, p. 2100789, 2021; <https://doi.org/10.1002/adom.202100789>.
- [9] Y. Qi et Y. Li, «Integrated lithium niobate photonics,» *Nanophotonics*, vol. 9, pp. 12871320, 2020; <https://doi.org/10.1515/nanoph-2020-0013>.

[NanoFILN](#) a pour objectif de mettre en place une filière technologique nationale amont (réseau RENATECH et CEA), pour les composants en optique intégrée de nouvelle génération basés sur l'utilisation de films minces de LiNbO_3 . Deux démonstrateurs exploitent les propriétés remarquables du LiNbO_3 . Le premier utilise l'effet électro-optique (modulateur/switch) tandis que le deuxième se base sur l'effet non-linéaire (générateur de photons jumeaux). Nous nous concentrons sur l'intégration de fonctions multiples sur puce monolithique et l'hybridation sur silicium. L'accès simultané à trois méthodes complémentaires d'élaboration des films minces (100 nm – quelques μm) de LiNbO_3 : la découpe ionique, le report, l'amincissement et l'épitaxie, est unique au niveau mondial. Les deux applications cibles concernent le domaine de l'optique quantique et des télécoms, mais il est évident que le savoir-faire développé sera aisément transposable à d'autres domaines (analyse environnementale, traitement du signal, ...)

Activités

- Conception de composants d'optique non linéaire
- Micro-fabrication de composants et circuits photoniques sur LNOI
- Présentation des résultats aux réunions de projet, dans des articles de revue et dans des conférences.
- Caractérisation de structures photoniques (d'optique guidée)

Compétences attendues

- Titulaire d'un diplôme de d'ingénieur ou d'un Master en photonique, ou en optique, ou en physique appliquée ou encore en électronique. - Solides connaissances sur les composants photonique
- Un savoir-faire ou une formation en technologie micro-électronique en salle blanche serait un plus
- Bonnes aptitudes de communication orale et écrite (français et anglais nécessaires) pour présenter les travaux durant des réunions de projet, des congrès et rédiger des articles dans des revues scientifiques.

- Forte motivation requise pour s'impliquer dans son projet, curiosité, et autonomie pour s'adapter aux contraintes de la recherche et développer des compétences en photonique dans le domaine des composants.
- Aptitude à travailler en équipe

Les candidatures devront inclure un CV détaillé ; au moins deux références (personnes susceptibles d'être contactées) ; une lettre de motivation d'une page ;

Contexte de travail

Ce doctorat porte sur la conception, la fabrication et la caractérisation de composants photoniques non-linéaires et s'appuie essentiellement sur les compétences en conception et en technologie de l'équipe Photonique du LAAS-CNRS. Il se déroulera dans le cadre du projet NanoFiLN du PEPR Microélectronique avec comme partenaires académiques les Laboratoires FEMTO-ST de Besançon, le CEA-LETI à Grenoble, le C2N à Paris et INPHYNI à Nice.

Contraintes et risques

Le travail se déroulant pour partie dans un environnement de salle blanche, le (la) candidat(e) recevra dès son arrivée au laboratoire une formation complète sur la sécurité et le travail avec en salle blanche ainsi que sur le travail avec des sources laser pour pouvoir assurer la partie caractérisation.