# Abstract

**Liquid-Metal Fabrication of Ultrathin Ga2O3 and GaN for Hybrid Integrated Photonics**

2D materials have emerged as promising candidates for enhancing silicon photonics. With their atomically thin structure, high carrier mobility, and strong light-matter interaction, 2D materials offer the potential for efficient light emission, modulation, and sensing in silicon photonics. Their compatibility with silicon processing techniques and ability to integrate into existing silicon photonic platforms make them attractive for achieving compact, high-performance, and energy-efficient photonic devices.In this context, we introduced ultrathin Ga2O3 and GaN synthesized using the liquid metal chemistry technique. Our approach primarily exploits the LMC technique, which allows for easier integration of 2D materials onto photonic devices compared to traditional top-down and bottom-up methods. Our fabrication process involves a two-step procedure: liquid metal-based printing of Ga2O3, followed by plasma-enhanced nitridation reaction. This two-step process enables control over the composition of the resulting nm-thick GaOxNy layer and the eventual achievement of stoichiometric GaN. The structural properties and elemental composition of these 2D materials are characterized using AFM, TEM, XPS, and Raman spectroscopy.Our fabrication process grants access to a range of GaOxNy compounds with distinct optical properties, which can be tailored between those of Ga2O3 and GaN, as demonstrated by ellipsometry measurements and comparison with DFT simulations. Additionally, we successfully demonstrated the integration of these materials into a MZI and performed linear measurements before and after nitridation. Our findings expand the knowledge of ultra-thin gallium compounds, which have been poorly studied, and represent an essential step toward integrating such 2D materials into photonic chips. This work offers new opportunities to improve the performance of hybrid optoelectronic devices.

Keywords: 2D materials, Liquid metal chemistry, Gallium Nitride, Refractive index, MZI, GaOxNy

# Résumé

**Investigation of ultra-thin Gallium compound layers fabricated by liquid metal chemistry for hybrid integrated photonics**

Les matériaux 2D sont apparus comme des candidats prometteurs pour l'amélioration de la photonique du silicium. Avec leur structure atomiquement fine, leur mobilité élevée des porteurs et leur forte interaction lumière-matière, les matériaux 2D offrent la possibilité d'une émission, d'une modulation et d'une détection efficaces de la lumière dans la photonique du silicium. Leur compatibilité avec les techniques de traitement du silicium et leur capacité à s'intégrer dans les plates-formes photoniques au silicium existantes les rendent attrayants pour la réalisation de dispositifs photoniques compacts, à haute performance et à faible consommation d'énergie. Notre approche exploite principalement la technique LMC, qui permet une intégration plus facile des matériaux 2D sur les dispositifs photoniques par rapport aux méthodes traditionnelles descendantes et ascendantes. Notre processus de fabrication comporte deux étapes : l'impression de Ga2O3 à base de métal liquide, suivie d'une réaction de nitruration améliorée par plasma. Ce processus en deux étapes permet de contrôler la composition de la couche de GaOxNy de quelques millimètres d'épaisseur qui en résulte et d'obtenir finalement du GaN stœchiométrique. Les propriétés structurelles et la composition élémentaire de ces matériaux 2D sont caractérisées par AFM, TEM, XPS et spectroscopie Raman. Notre processus de fabrication donne accès à une gamme de composés GaOxNy avec des propriétés optiques distinctes, qui peuvent être adaptées entre celles de Ga2O3 et GaN, comme le démontrent les mesures ellipsométriques et la comparaison avec les simulations DFT. En outre, nous avons démontré avec succès l'intégration de ces matériaux dans un MZI et effectué des mesures linéaires avant et après nitruration. Nos résultats élargissent les connaissances sur les composés ultraminces de gallium, qui ont été peu étudiés, et représentent une étape essentielle vers l'intégration de ces matériaux 2D dans les puces photoniques. Ce travail offre de nouvelles possibilités d'améliorer les performances des dispositifs optoélectroniques hybrides.

Mots-clés : Matériaux 2D, Chimie des métaux liquides, Nitrure de gallium, Indice de réfraction, MZI, GaOxNy