



Couches minces de niobate de lithium épitaxiées pour les applications de photonique intégrée

Rahma Moalla, Marina Raevskaia, William Maudez, Thanh Bui, Antoine Bernard, Stephan Guy, Alban Gassenq, Romain Bachelet, Christelle Monat, Sébastien Cueff, et al.

► To cite this version:

Rahma Moalla, Marina Raevskaia, William Maudez, Thanh Bui, Antoine Bernard, et al.. Couches minces de niobate de lithium épitaxiées pour les applications de photonique intégrée. 40èmes Journées Nationales d'Optique Guidée - JNOG 2023, Jul 2023, Lyon, France. hal-04246034

HAL Id: hal-04246034

<https://hal.science/hal-04246034>

Submitted on 17 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Couches minces de niobate de lithium épitaxiées pour les applications de photonique intégrée

Rahma MOALLA^{1,2}, Marina RAEVSKAIA¹, William MAUDEZ², Thanh BUI^{2,3}, Antoine BERNARD⁴, Stephan GUY⁴, Alban GASSENQ⁴, Romain BACHELET¹, Christelle MONAT¹, Sebastien CUEFF¹, Bruno MASENELLI¹, Estelle WAGNER², Giacomo BENVENUTI² and Christian GRILLET¹

¹ Institut des Nanotechnologies de Lyon INL - Univ Lyon, CNRS, ECL, INSA Lyon, UCBL, CPE, UMR5270, 36 av Guy de Collongue, 69134 Ecully Cedex, France

² 3D-Oxides, Technoparc, 01630 Saint-Genis Pouilly, France

³ IEMN- Site de Valenciennes - CNRS UMR 8520, Univ Polytechnique Hauts de France (UPHF), 59300 Famars, France

⁴ Institut Lumière Matière, UMR5306 - UCBL – CNRS, 10 rue Ada Byron, 69622 Villeurbanne CEDEX, France

Rahma.moalla@ec-lyon.fr

RESUME

Des couches minces de niobate de lithium pur de très bonne qualité cristalline sont obtenues par CBVD sur substrat de saphir. Ces couches montrent leur performance à guider la lumière par la technique M-line. Des guides d'ondes sont donc fabriqués afin de pouvoir mesurer les pertes optiques et étudier les propriétés d'optiques non linéaire du LiNbO₃.

MOTS-CLEFS : niobate de lithium, épitaxie, guide d'onde, optique intégrée

1. INTRODUCTION

Le niobate de lithium (LiNbO₃) [1] est un matériau qui présente d'excellentes propriétés ferroélectrique, électro-optiques, acoustiques, optiques non linéaires et bien d'autres [2-4]. En conséquence, obtenir des films épitaxiés est hautement souhaité pour les dispositifs optiques et acoustiques. Suite au grand succès de la technique d'amincissement de cristaux massifs, le développement des techniques de dépôt de LiNbO₃ est resté limité. Cependant, une approche basée sur la croissance épitaxiale directe de films minces de LiNbO₃ offrirait de nombreux avantages tels que l'intégration photonique ou acoustique directe dans des dispositifs et hétérojonctions complexes, ainsi que le contrôle des propriétés par dopage et ingénierie de la contrainte.

2. COUCHES MINCES DE NIOBATE DE LITHIUM

La fabrication de couches minces de LiNbO₃ épitaxiées est un défi technique crucial pour obtenir des performances optiques optimales. Les propriétés optiques du LiNbO₃ sont généralement étroitement liées à sa structure cristalline. Dans ce projet la CBVD [5] (Chemical Beam Vapour Deposition) est utilisée pour la croissance des couches de LiNbO₃ sur saphir. Cette technique offre la possibilité d'un contrôle rigoureux des flux de Nb et de Li. Après optimisation des conditions de dépôt, des couches de très bonne qualité cristallines sont obtenues. Des mesures Raman et de diffraction des Rayons X montrent que la croissance

de couches minces de LiNbO_3 pur est réussie. Les couches de LiNbO_3 sont orientées selon l'axe (001) (figure 1 a) avec une faible mosaïcité de $0,04^\circ$ (encart figure 1a), et sont monocristallins épitaxiés sur Al_2O_3 sans présence de domaine jumelés (figure 1b). Le saphir et le LiNbO_3 ont une structure cristalline trigonale et montrent tous les deux une triple symétrie. L'absence d'une symétrie sextuple (domaines de rotation à 60°) sur le LiNbO_3 indique qu'il n'y a pas de jumelage. Ces couches minces ont donc un fort potentiel d'application dans les plates-formes photoniques non linéaires.

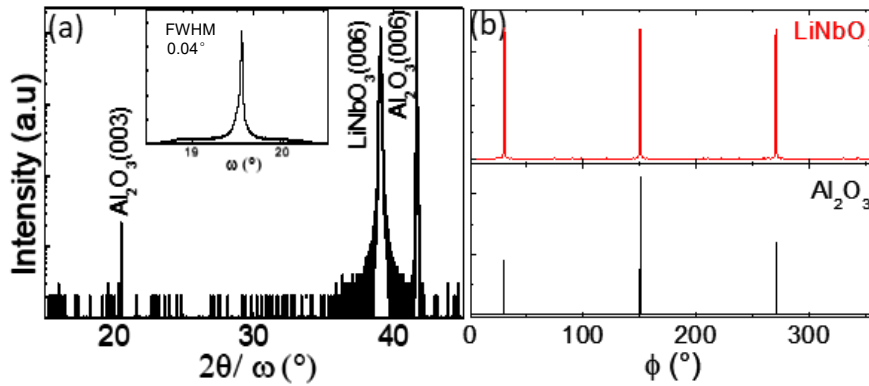


Figure 1 : Diagramme de diffraction des rayons X : a) Scan $2\theta/\omega$. Une rocking curve sur $\text{LiNbO}_3(006)$ dans l'encart montrant une mosaïcité de 0.04° . b) ϕ scan autour de la réflexion asymétrique (012) sur LiNbO_3 et Al_2O_3

3. MESURES M-LINE

Des mesures M-line ont été effectuées sur des couches de LiNbO_3 sur Al_2O_3 à l'aide d'un prisme coupleur en TiO_2 à haut indice de réfraction de 2,66 et d'une source de lumière polarisée à 543 nm. La lumière est couplée dans la couche mince avec un prisme placé sur le dessus de la couche.

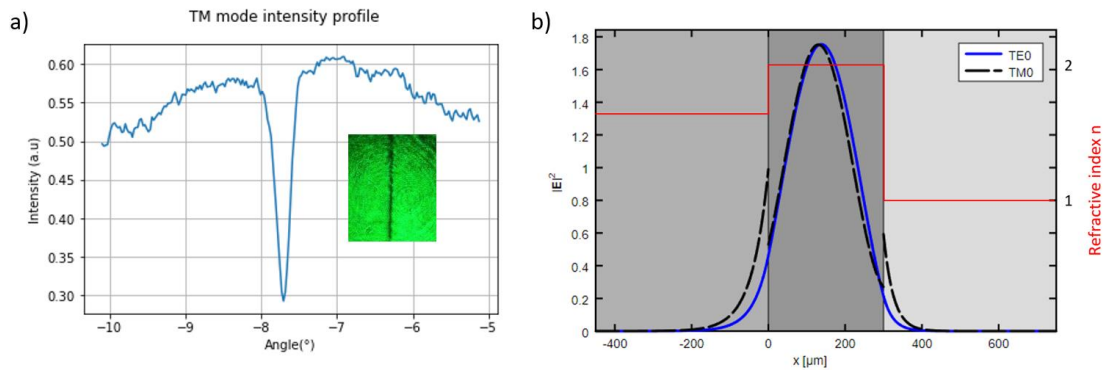


Figure 2 : a) Motif avec le profil d'intensité extrait d'un mode guidé TM dans un film mince de LiNbO_3 sur Al_2O_3 mesuré par la méthode M-ligne avec le b) champ électromagnétique calculé correspondant et l'indice de réfraction pour le mode mesuré.

La Figure 2a montre un exemple de profil d'intensité lumineuse transversale magnétique (TM) récupéré par la caméra (extraite de l'image mesurée dans l'encart de la Figure), avec θ représentant l'angle entre le faisceau d'entrée et la normale au plan d'insertion du prisme. La Figure 2b présente les modes TE et TM simulés à l'aide du solveur SIO sur un substrat de saphir (indice de réfraction de 1,77), correspondant à la mesure présentée dans la Figure 2a. En utilisant l'épaisseur déterminée par les coupes transversales FE-SEM, un

indice de réfraction de $2,28 \pm 0,03$ est calculé en bon accord avec la littérature [6]. Ces résultats montrent que les films minces de LiNbO_3 sont capables de propager la lumière et que des expériences optiques supplémentaires peuvent être réalisées.

4. FABRICATION DE GUIDES D'ONDE

Pour la réalisation de guides d'onde en LiNbO_3 , nous explorons l'approche « striploading » qui permet un confinement de la lumière dans la couche de LiNbO_3 à l'aide d'une bande étroite d'un matériau « load » transparent et relativement facile à structurer. Des guides d'onde en résine photo-réticulable Epoclad2© loaded LiNbO_3 sont réalisés par la lithographie laser sur la surface $\text{LiNbO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$. Des guides de différentes longueurs et largeurs sont fabriqués pour mesurer les pertes (figure 3). Des mesures de pertes sont en cours de réalisation. Une deuxième approche basée sur la gravure directe du LiNbO_3 [7] est en cours d'élaboration.

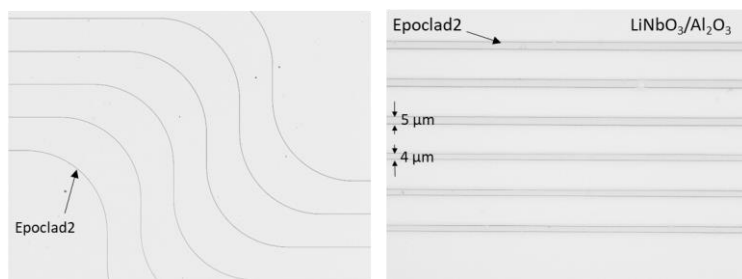


Figure 3 : Guide d'onde en Epoclad2 réalisées par lithographie laser sur $\text{LiNbO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$

CONCLUSION

Dans ce travail, des couches minces de niobate de lithium, d'environ 300 nm d'épaisseur, ont été déposées sur substrat de saphir (001) par CBVD. Les conditions de croissance ont été optimisées pour obtenir des films épitaxiés de haute qualité. Le couplage M-line montre un fort potentiel d'application dans les plateformes photoniques non linéaires. Des réalisations préliminaires de guides structurés sur notre LiNbO_3 épitaxié pour guider la lumière en « strip-loading » sont présentées.

RÉFÉRENCES

- [1] B. Zivasatienraj, M.B. Tellekamp, W.A. Doolittle, Epitaxy of LiNbO_3 : Historical Challenges and Recent Success. *Crystals* 2021, 11, 397
- [2] G. Chen, N. Li, J.D. Ng, H-L. Lin, Y. Zhou, Y.H. Fu, L. Y. T. Lee, Y. Yu, A.Q. Liu, A.J. Danner, Advances in lithium niobate photonics: development status and perspectives, *Adv. Photon.* 2022, 4(3) 034003
- [3] A. Boes, L. Chang, C. Langrock, M. Yu, M. Zhang, Q. Lin, M. Loncar, M. Fejer, J. Bowers, A. Mitchell, Lithium niobate photonics:unlocking the electromagnetic spectrum, *Science* 2023, 379, 40
- [4] R. Lu, Y. Yang, S. Link, S. Gong, Low-Loss 5-GHz First-Order Antisymmetric Mode Acoustic Delay Lines in Thin-Film Lithium Niobate, *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 2021, 69, 541–550
- [5] Ali Dabirian, Scott Harada, Yury Kuzminykh, Silviu Cosmin Sandu, Estelle Wagner, Giacomo Benvenuti, Pierre Brodard, Simon Rushworth, Paul Mural, and Patrik Hoffmann, Combinatorial Chemical Beam Epitaxy of Lithium Niobate Thin Films on Sapphire, *Journal of The Electro. Society*, 158 (2) 72-76, 2011
- [6] D.E. Zelmon, D.L. Small, D. Jundt, Infrared corrected Sellmeier coefficients for congruently grown lithium niobate and 5 mol. % magnesium oxide-doped lithium niobate, *J. Opt. Soc. Am. B*, 14 (1997) 3319–3322.
- [7] Kozlov, A., Moskalev, D., Salgaeva, U., Bulatova, A., Krishtop, V., Volyntsev, A., Syuy, A. Reactive Ion Etching of X-Cut LiNbO_3 in an ICP/TCP System for the Fabrication of an Optical Ridge Waveguide. *Appl. Sci.* 2023, 13, 2097