



HAL
open science

ETUDE DES GUIDES A FORT CONFINEMENT ET FAIBLES PERTES SUR NIOBATE DE LITHIUM FABRIQUES PAR ECHANGE PROTONIQUE SOUS VIDE POUSSE

Alicia Petronela Rambu, Alin Marian Apetrei, Florent Doutre, Hervé
Tronche, Marc de Micheli, Sorin Tascu

► **To cite this version:**

Alicia Petronela Rambu, Alin Marian Apetrei, Florent Doutre, Hervé Tronche, Marc de Micheli, et al.. ETUDE DES GUIDES A FORT CONFINEMENT ET FAIBLES PERTES SUR NIOBATE DE LITHIUM FABRIQUES PAR ECHANGE PROTONIQUE SOUS VIDE POUSSE. OPTIQUE 2018, Jul 2018, Toulouse, France. hal-01784884

HAL Id: hal-01784884

<https://hal.science/hal-01784884>

Submitted on 3 May 2018

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.

ETUDE DES GUIDES A FORT CONFINEMENT ET FAIBLES PERTES SUR NIOBATE DE LITHIUM FABRIQUES PAR ECHANGE PROTONIQUE SOUS VIDE POUSSE.

**Alicia Petronela Rambu¹, Alin Marian Apetrei¹, Florent Doutre², Hervé Tronche²,
Marc de Micheli² et Sorin Tascu¹**

¹ *Research Center on Advanced Materials and Technologies, Sciences Department, Alexandru Ioan
Cuza University of Iasi, Blvd. Carol I, no. 11, 700506 Iasi, Romania*

² *Institut de Physique de Nice, Université Côte d'Azur – CNRS, UMR 7010,
Avenue Joseph Vallot, 06100, Nice, France*
marc.de-micheli@unice.fr

RÉSUMÉ

Dans ce papier nous montrons comment l'échange protonique sous vide poussé (High Vacuum Proton Exchange : HiVacPE) permet de fabriquer sur LiNbO₃, des guides présentant un fort confinement et de faibles pertes à la propagation en vue de réaliser des circuits optiques intégrés compacts et efficaces.

MOTS-CLEFS : *niobate de lithium, guides d'onde, échange protonique, contraintes*

L'échange protonique est maintenant une technique reconnue pour la fabrication de guides sur LiNbO₃. Elle se décline suivant plusieurs variantes Annealed Proton Exchange (APE) [1,2,3], Reverse Proton Exchange (RPE) [4] et Soft Proton Exchange (SPE) [5, 6, 7, 8]. Toutes ces variantes permettent de fabriquer des guides d'onde ayant de faibles pertes à la propagation et des performances électro-optiques et non linéaires préservées mais en se limitant à des contrastes d'indice faibles, $\Delta n_e=0,02$ pour APE et RPE [4] et $\Delta n_e=0,03$ pour SPE [5]. Il est également possible d'obtenir par échange protonique PE [9] des variations d'indice $\Delta n_e=0,12$ à $\lambda=633$ nm, mais dans ce cas le coefficient non linéaire $\chi^{(2)}$ est totalement détruit [10]. Récemment, il a été obtenu par High Index Soft Proton Exchange (HISoPE) des guides avec $\Delta n_e=0,1$ et des non linéarités intactes, mais dans ce cas les contraintes liées aux variations de paramètre de maille provoquent des pertes à la propagation importantes (≥ 5 dB/cm) [11]. Les processus SPE et HISoPE imposent d'utiliser un container scellé pour réaliser l'échange dans un bain d'acide benzoïque (AB) fondu à une température de l'ordre de 300°C et contenant une proportion ρ de benzoate de lithium (BL). Ici, nous montrons l'intérêt de réduire au maximum les traces d'eau dans le container en y faisant un vide poussé ($< 4 \times 10^{-5}$ mbar). Outre le fait que cette technique modifie la valeur du seuil de transition HISoPE-SPE, elle permet d'obtenir des guides présentant des caractéristiques inaccessibles avec les autres techniques.

Pour les forts taux de BL ($\rho > 2,5\%$), les guides présentent des caractéristiques cristallines similaires aux guides SPE mais la variation d'indice peut atteindre $\Delta n_e=0,04$ et les guides canaux avoir des pertes à la propagation de 0,16dB/cm, ce qui permet d'espérer des rendements de conversion non linéaires sensiblement plus importants.

Pour les taux de BL légèrement inférieurs à 2,5%, on observe un comportement radicalement différent suivant que l'on utilise des substrats X \perp ou Z \perp . Les substrats X \perp présentent une transition abrupte entre la phase α et les phases κ (fig. 1b) correspondant à une variation très rapide de la forme du profil d'indice de gradient à step (fig. 2b) et d'une destruction du coefficient non linéaire dans les phases κ . Sur les substrats Z \perp au contraire, on observe une transition progressive. Quand les couches κ apparaissent, on voit que les guides présentent toutes les valeurs du paramètre de maille entre celui du substrat et celui de la couche κ présentant la déformation maximale (fig. 1a). Cela s'accompagne d'une stratification des couches guidantes avec une variation progressive des profils d'indice (fig. 2a) et de la possibilité d'avoir une variation d'indice de l'ordre de 0,1 avec un

coefficient non linéaire préservé. Ces couches sont favorables à la fabrication de "fils photoniques", et nous travaillons à la mise au point d'un procédé permettant d'éviter les contraintes latérales et les pertes à la propagation qu'elles engendrent par conversion TE-TM.

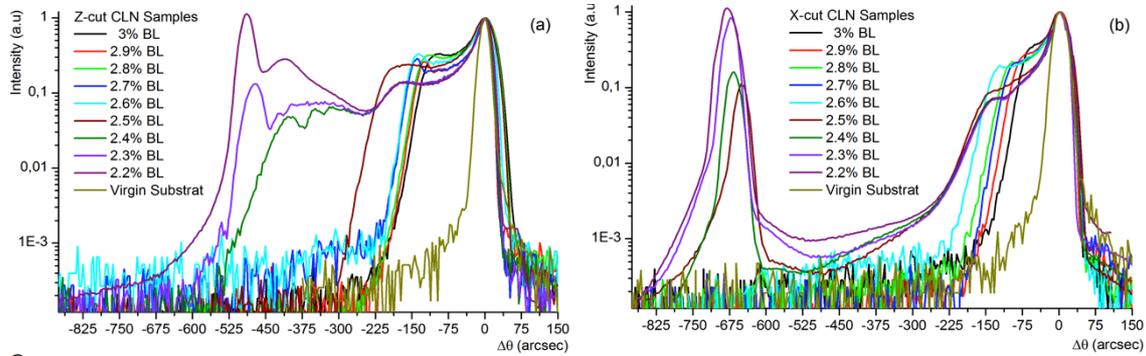


Fig. 1 : Diagramme de diffraction X des guides réalisés par HiVacPE sur des substrats de LiNbO_3 utilisant a) les plans cristallins 00.12 sur les substrats $Z \perp$; b) les plans 220 sur les substrats $X \perp$.

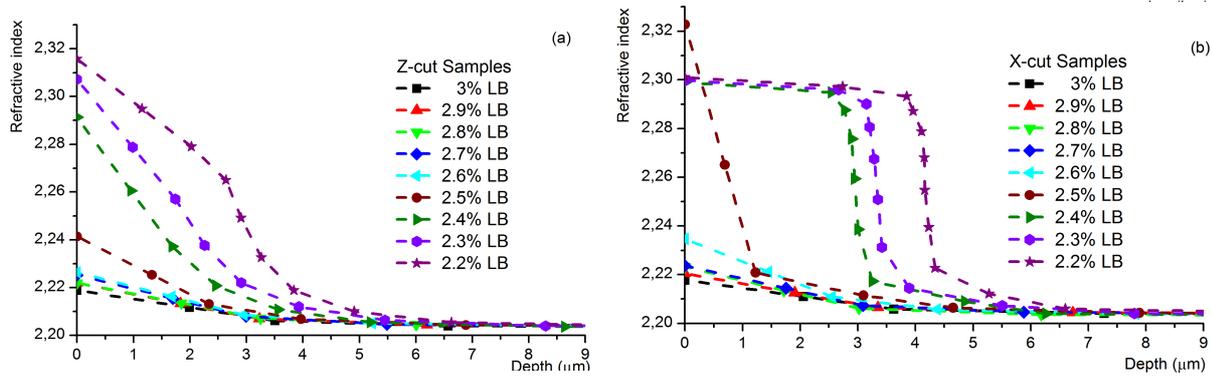


Fig. 2. Profil d'indice extraordinaire à $\lambda=633$ nm des guides plans HiVacPE sur substrats (a) $Z \perp$ et (b) $X \perp$ obtenus en utilisant différentes proportions de BL à 300°C pour 72 heures.

RÉFÉRENCES

- [1] M. H. Chou, *et al.*, "Efficient wide-band and tunable midspan spectral inverter using cascaded nonlinearities in LiNbO_3 waveguide," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, no. 1, pp. 82-84, 2000.
- [2] M. Asobe, *et al.*, "Multiple quasi-phase-matched device using continuous phase modulation of $\chi(2)$ grating and its application to variable wavelength conversion," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 41, no. 12, pp. 1540-1547, 2005.
- [3] I. Brener, *et al.*, "160 Gbit/s wavelength shifting and phase conjugation using periodically poled LiNbO_3 waveguide parametric converter," *Electron Lett.*, vol. 36, no. 21, pp. 1788-1790, 2000.
- [4] K. Parameswaran, *et al.*, "Highly efficient second-harmonic generation in buried waveguides formed by annealed and reverse proton exchange in periodically poled lithium niobate," *Opt. Lett.*, vol. 27, pp. 179-181, 2002.
- [5] L. Chanvillard, *et al.*, "Soft proton exchange on PPLN: A simple waveguide fabrication process for highly efficient non-linear interactions" *Appl. Phys. Lett.* vol. 76, no. 9, pp. 1089-1091, 2000.
- [6] Y. N. Korkishko, *et al.*, "Characterization of alpha-phase soft proton-exchanged LiNbO_3 optical waveguides" *J. Opt. Soc. Amer. A, Opt. Image Sci.*, vol. 18, no. 5, pp. 1186-1191, 2001.
- [7] D. Castaldini, *et al.*, "High performance mode adapters based on segmented SPE: LiNbO_3 waveguides" *Optics Express*, Vol. 17, No. 20, pp 17868-17873, 2009.
- [8] D. Castaldini, *et al.*, "Soft Proton Exchange tapers for low insertion loss LiNbO_3 devices" *Journal of Lightwave Technology*, vol.25, No 6, pp 1588-1593, 2007.
- [9] J. L. Jackel, C. E. Rice, J. J. Veselka, "Proton exchange for high-index waveguides in LiNbO_3 " *Appl. Phys. Lett.*, vol. 41, pp. 607-608, 1982.
- [10] F. Laurell, M. G. Roelofs, H. Hsiung, "Loss of optical nonlinearity in proton-exchanged LiNbO_3 waveguides" *Appl. Phys. Lett.*, vol. 60, no. 3, pp. 301-303, 1992.
- [11] O. Stepanenko, *et al.*, "Crystallographic and Optical Properties of Z-Cut High Index Soft Proton Exchange (HISoPE) LiNbO_3 Waveguides" *Journal of Lightwave Technology* Vol. 34, Issue 9, pp. 2206-2212, 2016