

# **SENSIBILITE PYROELECTRIQUE DES GUIDES DIFFUSES TITANE DANS LE NIOBATE DE LITHIUM**

**Anne-Laure Pointel<sup>1,2</sup>, Jérôme Hauden<sup>2</sup>, Fabrice Devaux<sup>1</sup>, Clément Guyot<sup>2</sup>, Henri Porte<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Institut FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon, France*

<sup>2</sup> *iXblue Photonics, 3 rue Sophie Germain, 25000 Besançon, France*

[anne-laure.pointel@ixblue.com](mailto:anne-laure.pointel@ixblue.com)

## **RÉSUMÉ**

Nous étudions expérimentalement et par simulation l'influence de la réalisation de guides optiques diffusés titane sur la face Z+ et Z- du niobate de lithium. Ce travail vise une meilleure compréhension et une interprétation des différences de comportements vis-à-vis de la pyroélectricité entre ces deux orientations du cristal.

**MOTS-CLEFS :** *niobate de lithium ; pyroélectricité ; polarisation ; diffusion titane*

## **1. INTRODUCTION**

Le niobate de lithium est un des meilleurs candidats pour la réalisation de composants optiques intégrés, en particulier pour les modulateurs très large bande. Ce cristal ferroélectrique est apprécié en particulier pour ses forts coefficients électro-optiques et son potentiel pour la création de guides optiques avec de faibles pertes. La diffusion titane, pour la réalisation de guides optiques, est la plus connue et a été examinée sur substrats coupe X et coupe Z. Le niobate de lithium coupe Z est privilégié pour son efficacité électro-optique. Cependant, les composants réalisés sur coupe Z souffrent d'instabilités en présence de variation de température. Cet effet est lié à la pyroélectricité du cristal qui se traduit par la présence d'un champ électrique interne variable avec la température. Des mesures en température de guides droits réalisés par diffusion de titane montrent de fortes dégradations de la transmission optique. Une différence significative apparaît entre des guides diffusés sur la face Z+ ou Z-. La modélisation du champ pyroélectrique couplée à de la propagation guidée confirme cette différence de comportement en regard des variations de température.

## **2. MESURE DE LA TRANSMISSION OPTIQUE EN REGARD DE LA TEMPERATURE**

La fabrication des guides dans le niobate de lithium par diffusion titane consiste à déposer un ruban de titane sur le cristal puis à le diffuser à haute température. Cela crée un gradient de concentration de titane dans le niobate de lithium et par là même une augmentation locale de l'indice de réfraction. Afin de mettre en évidence l'influence de l'inversion de domaines ferroélectriques, des guides droits sont réalisés par diffusion titane sur du niobate de lithium coupe Z soit sur la face Z- (pas d'inversion) soit sur la face Z+ (inversion). Ces guides droits sont fibrés et placés dans une enceinte thermique afin de suivre l'évolution de la transmission optique en fonction de variations de température. La figure 1 compare l'évolution de la puissance optique à la sortie d'un guide diffusé sur la face Z+ et un autre réalisé sur la face Z-, en regard de variations de température de -10°C à +40°C. Une forte dégradation de la transmission optique est observée pour le guide réalisé sur la face Z+, typiquement jusqu'à 13dB. Le guide droit réalisé sur la face Z- n'est pas tout à fait immune à la variation de température. La pénalité mesurée est de 1.5dB.

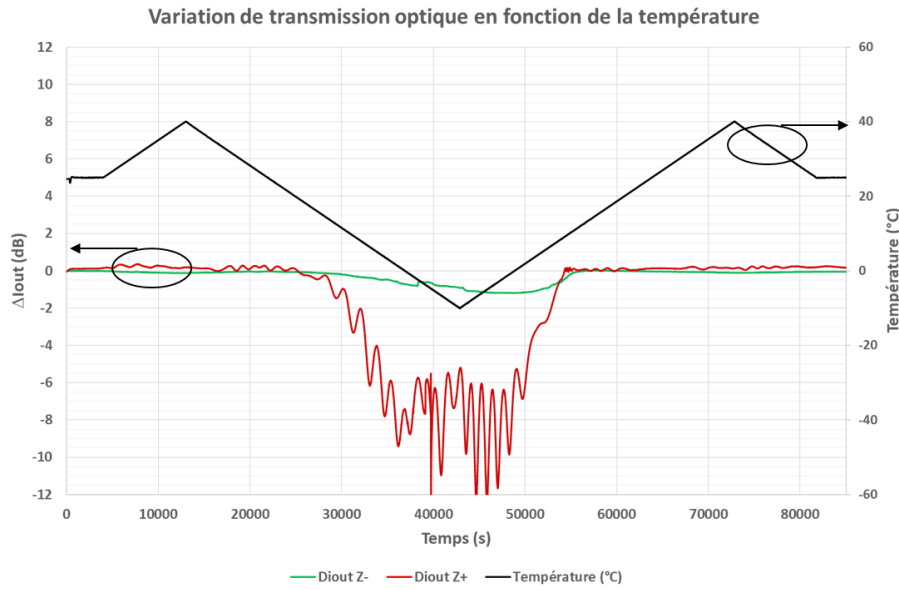


Fig. 1 : Transmission optique de guides droits diffusés titane sur niobate de lithium lors d'une variation de température +40/-10°C. Guide diffusé sur Z+ en rouge et guide diffusé sur Z- en vert.

On attribue ce phénomène à la pyroélectricité du niobate de lithium dont la polarisation spontanée est modifiée lors de variations de température. Ces fluctuations de polarisation induisent l'apparition d'un champ pyroélectrique, qui par effet électro-optique, provoque des variations de l'indice de réfraction du guide et du substrat. Ces modifications des conditions de guidage provoquent des altérations de la transmission optique.

### 3. INVERSION DE DOMAINE FERROELECTRIQUE ET CONSEQUENCES

Contrairement à une diffusion titane en face Z-, il a été montré que la polarisation spontanée du niobate de lithium s'inverse lors d'une diffusion à la surface Z+ [1][2][3]. La figure 2 montre des images enregistrées sous microscope de la face de sortie des composants fabriqués (face cristallographique Y). On voit dans le cas d'une diffusion en face Z+ l'apparition d'un domaine ferroélectrique inversé de forme triangulaire dans la zone où a eu lieu la diffusion [4]. Comparativement, aucune inversion de domaine n'a pu être observée dans le cas des diffusions sur la face Z-.

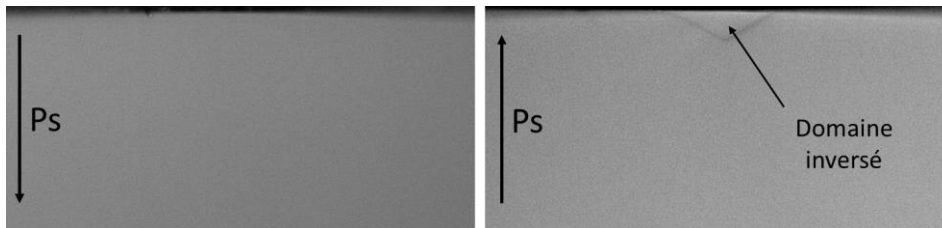


Fig. 2 : Images microscope de la face Y du niobate de lithium après diffusion titane sur la face Z- à gauche et sur la face Z+ à droite. Mise en évidence de l'inversion de domaine pour le guide diffusé sur Z+.

A l'aide d'un logiciel de simulation multi physiques, on peut simuler le comportement du cristal selon son orientation. Ainsi l'absence de domaine inversé dans le cas d'une diffusion sur la face Z- conduit à un champ pyroélectrique uniforme suivant l'axe Z. Dans le cas Z+, on met en évidence des concentrations de champs non uniformes, cf. Figure 3. La répartition du champ pyroélectrique est fortement "accidentée". Ces inhomogénéités du champ, par effet électrooptique induisent des déformations drastiques du profil d'indice cf. Figure 4.

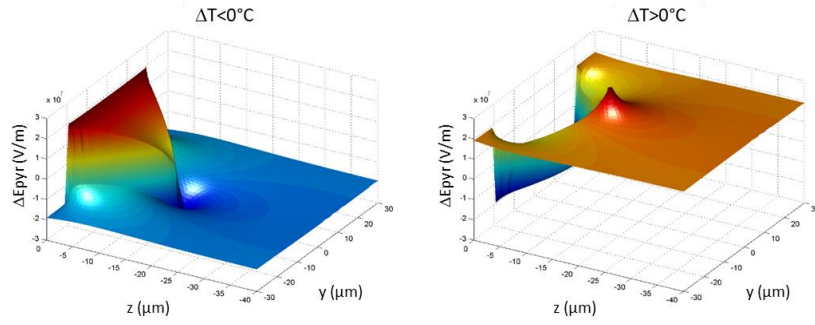


Fig. 3 : Modélisation du champ pyroélectrique apparaissant lors d'une variation de température pour un guide diffusé titane à la surface Z+ du niobate de lithium, négative à gauche ( $\Delta T = -60^\circ\text{C}$ ), positive à droite ( $\Delta T = +60^\circ\text{C}$ ).

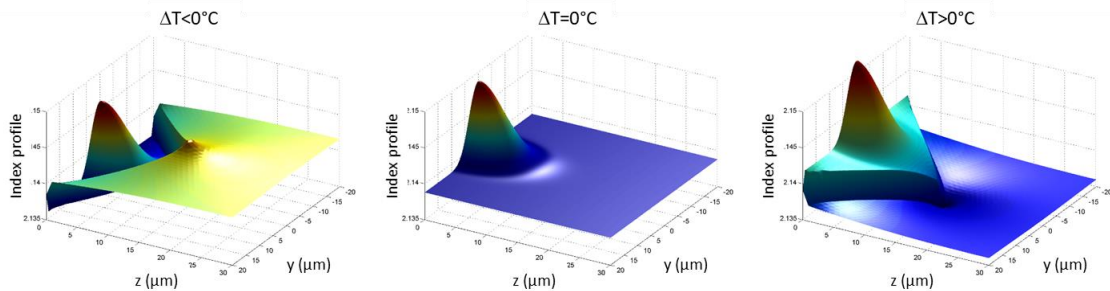


Fig. 4 : Modélisation du profil d'indice d'un guide droit réalisé par diffusion titane sur la face Z+ du niobate de lithium lors d'une variation de température négative à gauche ( $\Delta T = -60^\circ\text{C}$ ), nulle au centre ( $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ ) et positive à droite ( $\Delta T = +60^\circ\text{C}$ ).

Pour une variation de température positive, le profil d'indice du guide augmente par rapport au substrat. Le mode optique a tendance à se confiner. Dans le cas d'une variation de température négative, on assiste à une dépression d'indice, entraînant des pertes de propagation, une désadaptation avec le mode de la fibre, voir des couplages sur des modes de substrat.

## CONCLUSION

L'utilisation de la face Z du niobate de lithium pour la réalisation de guides diffusés titane influence les performances optiques lors de variation de température. Les simulations confirment que l'utilisation de la face Z- du niobate de lithium pour la réalisation de la diffusion titane permet de diminuer la sensibilité à l'effet pyroélectrique. L'inversion de domaine avec la diffusion titane sur la face Z+ entraîne une déformation du profil d'indice lors de variation de température. La modélisation développée permet de montrer la différence entre la diffusion titane sur la face Z+ ou Z- du niobate de lithium et confirme les observations expérimentales.

## RÉFÉRENCES

- [1] S. Miyazawa, "Ferroelectric domain inversion in Ti-diffused  $\text{LiNbO}_3$  optical waveguides", J. Appl. Phys., vol. 50, pp.4599-4603, 1979.
- [2] S. Thaniyavarn, T. Findakly, D. Booher, and J. Moen, "Domain inversion effects in Ti- $\text{LiNbO}_3$  integrated optical devices", Appl. Phys. Lett., vol. 46, pp. 933-935, 1985.
- [3] E.J. Lim, M.M. Fejer, R.L. Byer, "Second harmonic generation of green light in periodically poled planar lithium niobate waveguide", Electron. Lett. 25, pp. 174-175, 1989.
- [4] J. Webjorn, S. Siala, D. W. Nam, R. G. Waarts, R. J. Lang, "Visible laser sources based on frequency doubling in nonlinear waveguides", IEEE J. Quantum Elec., vol. 33, no. 10, 1997.