



## Modes Hybrides dans les Fils Quantiques Réalisés sur Niobate de Lithium en Coupe X

Oleksandr Stepanenko, Emmanuel Quillier, Hervé Tronche, Pascal Baldi, Pierre Aschieri, Sarah Benchabane, Jérôme Bourderionnet, Marc de Micheli

### ► To cite this version:

Oleksandr Stepanenko, Emmanuel Quillier, Hervé Tronche, Pascal Baldi, Pierre Aschieri, et al.. Modes Hybrides dans les Fils Quantiques Réalisés sur Niobate de Lithium en Coupe X. JNOG 2012, Jul 2012, Lyon, France. hal-00849627

**HAL Id: hal-00849627**

**<https://hal.science/hal-00849627>**

Submitted on 31 Jul 2013

**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.

# MODES HYBRIDES DANS LES FILS QUANTIQUES RÉALISÉS SUR NIOBATE DE LITHIUM EN COUPE X.

Oleksandr Stepanenko<sup>1</sup>, Emmanuel Quillier<sup>1</sup>, Hervé Tronche<sup>1</sup>, Pascal Baldi<sup>1</sup>, Pierre Aschiéri<sup>1</sup>, Sarah Benchabane<sup>2</sup>, Jerome Bourderionnet<sup>3</sup> and Marc De Micheli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LPMC, Université de Nice Sophia Antipolis, Parc Valrose 06108 Nice Cedex2,

<sup>2</sup>FEMTO ST, Université de Franche-Comté, 32 Avenue de l'Observatoire, 25044 Besançon Cedex,

<sup>3</sup>Thales Research & Technology, 1 avenue Augustin Fresnel, 91767 Palaiseau Cedex

[marc.de-micheli@unice.fr](mailto:marc.de-micheli@unice.fr)

## RÉSUMÉ

Dans ce papier, nous nous concentrerons sur l'influence des contraintes induites dans le cristal par le processus de fabrication des fils quantiques. Ces tensions sont responsables d'un couplage fort entre les polarisations qui confère une nature hybride aux modes se propageant et qui doit être prise en considération dans la conception des dispositifs.

**MOTS-CLEFS :** *Fils Quantiques, Optique Intégrée, Niobate de Lithium, Modes Hybrides*

## 1. INTRODUCTION

Durant les 10 dernières années, des percées importantes ont été faites dans le contrôle de la propagation des ondes lumineuses en jouant sur la nano-structuration périodique des matériaux pour réaliser des cristaux photoniques. Parmi les composants à base de cristaux photoniques qui ont été réalisés, on peut noter des modulateurs électro-optiques compacts et très efficaces [1,2], mais le potentiel important reposant sur l'intégration de ces micro- et nano-structures dans un matériau actif comme le niobate de lithium reste encore à démontrer. C'est ce que nous tentons de faire en utilisant le phénomène de « lumière lente » associé aux cristaux photoniques pour réaliser des modulateurs large bande, ultra-compacts et à faible tension de commande.

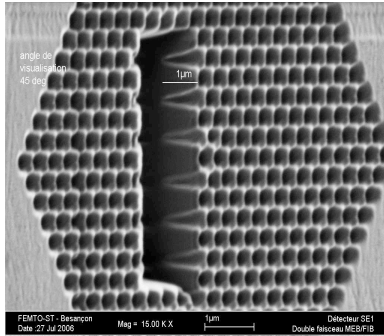
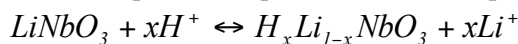


Fig. 1. Image au MEB d'un réseau de trous de 300nm de diamètre et de 1,5μm de profondeur, réalisés par FIB (FEMTO, Besançon) dans du niobate de lithium coupe X.

Le premier obstacle rencontré dans cette tâche et la difficulté à graver profondément le LiNbO<sub>3</sub> à l'échelle sub-micronique. La technique FIB, qui est aujourd'hui celle qui permet d'atteindre les facteurs de forme les plus élevés, ne permet pas de dépasser les 1,5μm de profondeur pour des trous de 300nm de diamètre (fig. 1). Pour réaliser un modulateur efficace utilisant un tel cristal photonique il faut donc disposer d'un guide confinant la lumière dans une profondeur inférieure à celle des trous.

C'est pour cela que nous avons développé une nouvelle technique d'échange protonique, le processus HISoPE qui permet de réaliser des guides présentant un fort confinement tout en préservant les propriétés nonlinéaires et électro-optiques du cristal. En effet, parmi les techniques utilisées pour fabriquer des guides d'onde sur niobate de lithium, l'échange protonique (PE), connu depuis les années 80 [3] et l'une des plus facile à combiner avec d'autres processus de structuration. Il consiste à plonger le cristal dans un bain d'acide fondu pour obtenir un remplacement partiel des ions Li<sup>+</sup> par des protons, suivant l'équation :



Le taux de remplacement  $x$  et la profondeur affectée par l'échange peuvent être ajustés en choisissant la température et la durée de l'échange ainsi que l'acidité du bain qui dépend de l'acide

utilisé où du pourcentage de sel de lithium dissout dans l'acide. Dans notre cas, nous utilisons un mélange d'acide benzoïque (AB) et de benzoate de Lithium (BL) et l'acidité du bain est donnée par le rapport  $c$  défini par :  $c = \frac{BL}{BL + AB}$ . Quand  $c$  est faible, le taux de substitution est important ainsi

que la variation d'indice extraordinaire ( $\delta n_e \approx 0.12$  @  $\lambda = 0.663 \mu m$ ) créant le guide d'onde pour la polarisation correspondante. Jusqu'à présent cette propriété qui permettait d'espérer réaliser des composants très compacts, n'a pas pu être utilisée car cette modification importante de l'indice s'accompagnait toujours de profondes modifications de la structure cristalline<sup>[4]</sup> et d'une sévère réduction des propriétés électro-optiques et non linéaires<sup>[5,6,7,8,9]</sup>.

## 2. FABRICATION ET CARACTÉRISATION DES FILS QUANTIQUES

Récemment, nous avons mis au point un nouveau processus de fabrication, le processus HISoPE (High Index Soft Proton Exchange) qui permet d'obtenir des guides d'ondes présentant un profil à saut d'indice d'amplitude importante et donc des modes optiques fortement confinés sans que les propriétés non linéaire et électro-optiques soient affectées<sup>[10]</sup>. En utilisant un masque de silice présentant des ouvertures de 1 à 2  $\mu m$  il a été possible de réaliser des guides monomodes à 1,5  $\mu m$  et présentant une extension transverse de l'ordre de la longueur d'onde (fig.2) ce qui justifie l'appellation de fils quantiques.

Largeur du masque $\mu m$	pertes dB/cm
1,0	3,4 – 3,8
1,5	4,3 – 4,5
2,0	4,3 – 4,4

Tableau 1 : Pertes à la propagation en fonction de la largeur du fil quantique.

Les pertes à la propagation de ces guides de 2,4 cm de long ont été calculées en mesurant avec un laser accordable, le contraste des franges de la cavité Fabry-Perot formée en polissant les faces d'entrée et de sortie de l'échantillon perpendiculairement aux guides. Les résultats détaillés sont présentés dans le tableau 1.

L'observation du champ lointain à travers l'extrémité polie de l'échantillon (Fig.3) a par ailleurs permis de montrer que les modes supportés par ces fils quantiques présentaient un caractère hybride assez prononcé.

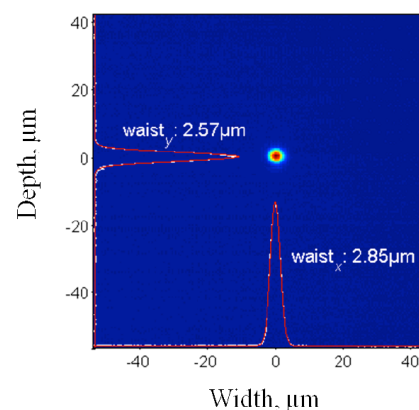
En effet, sur les substrats coupe X, les modifications de la maille cristalline dues à l'échange protonique peuvent induire, via le tenseur élasto-optique et la combinaison du tenseur piézo-électrique et du tenseur électro-optique, l'apparition dans l'ellipsoïde des indices de termes non diagonaux<sup>[11]</sup>. Ceux-ci sont responsables du couplage entre les polarisations. On ne peut donc plus considérer que le mode du fil quantique est quasi TE, mais on doit tenir compte d'une composante TE qui voit l'indice extraordinaire du cristal et d'une composante TM qui voit l'indice ordinaire.

La biréfringence du  $LiNbO_3$  étant négative et valant de l'ordre de 0,08 dans le visible, l'indice ordinaire du substrat est compris entre l'indice extraordinaire du substrat et l'indice extraordinaire du guide HISoPE. Pour les modes guidés on doit donc envisager deux possibilités :

soit l'indice effectif ( $n_{eff}$ ) est supérieur à l'indice ordinaire ( $n_o$ ) et les deux composantes du mode hybride sont guidées

soit l'indice effectif est inférieur à l'indice ordinaire et seule la composante extraordinaire du mode hybride est guidée tandis que la composante ordinaire rayonne dans le substrat avec un angle  $\theta$  donné par l'équation  $n_{eff} = n_o \cos \theta$ .

Fig. 2 : Observation en champ proche du mode d'un fil quantique @  $\lambda = 1.5 \mu m$



Dans le dernier cas les pertes à la propagation peuvent être très importantes et dépendent de l'intensité du couplage [12]. Une part importante des 4dB/cm que nous avons mesurée est sans doute due à ce mécanisme.

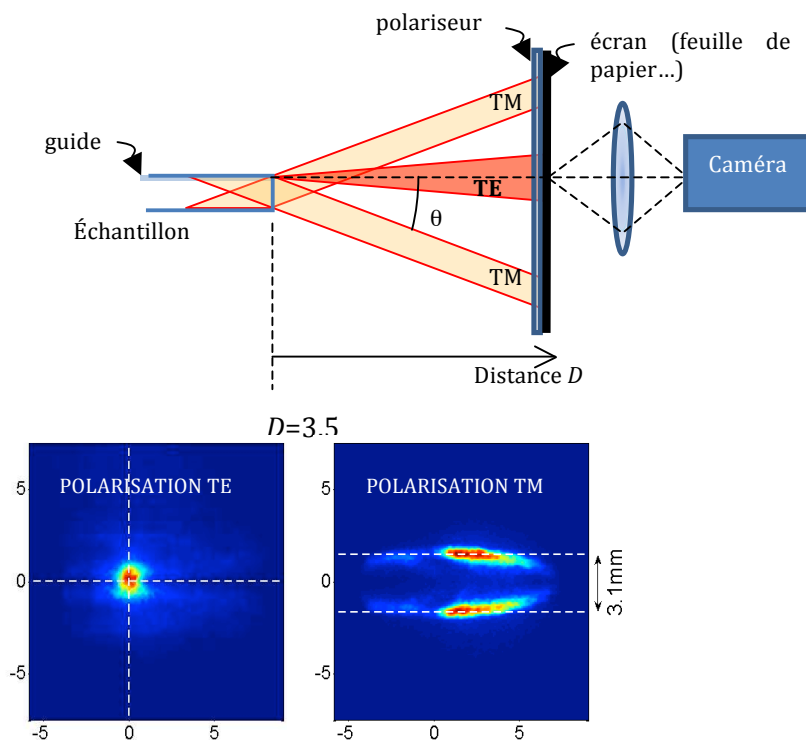


Fig. 3 Schéma du dispositif d'observation du champ lointain des fils quantiques. Sur l'écran on peut observer une tache centrale qui correspond à la composante extraordinaire (TE) du mode qui est parfaitement guidée et deux taches ordinaires (TM) qui correspondent à la composante du mode qui rayonne dans le substrat avec un angle de  $19,5^\circ$ . Le dédoublement de la tache TM est dû à la réflexion sur la face inférieure du substrat. La dissymétrie qui est observée suivant l'axe optique n'est pas expliquée à ce jour.

## CONCLUSIONS

En utilisant le processus de fabrication HISoPE, nous avons pu réaliser des fils quantiques sur  $\text{LiNbO}_3$  coupe X, présentant des pertes à la propagation de 4dB/cm. Ces pertes sont en partie dues à la nature hybride des modes supportés par le fil quantique. Nous travaillons actuellement à évaluer cette proportion et à la mise au point d'une stratégie de réduction de ces pertes. Les résultats seront présentés à la conférence.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ANR (projet: ANR-09-NANO-004-01 phoXcry) et le réseau CNRS CMDO+ pour le financement de ces recherches .

## REFERENCES

- <sup>1</sup> A. V. Akimov *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **101**, 033902 (2008)
- <sup>2</sup> M. Schmidt *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **87**, 121110 (2005)
- <sup>3</sup> J. L. Jackel *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **41**, 607–608 (1982)
- <sup>4</sup> Yu. N. Korkishko *et al.*, *Appl. Opt.* **35**, 7056 (1996).
- <sup>5</sup> M.J. Li *et al.*, *J. Quant. Elect.* **26**, 1384 (1990)
- <sup>6</sup> K. EL Hadi *et al.*, *Special Issue of J. Opt. Soc. Am. B*, **14**, 3197,(1997)
- <sup>7</sup> P. Baldi *et al.*, *Special Issue of Optical Engineering in Integrated Optics* **37** (1998)
- <sup>8</sup> L. Chanvillard *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* Vol. **76**, 1089 (2000)
- <sup>9</sup> A. Mendez *et al.*, *Appl. Phys. B* **73**, 485 (2001)
- <sup>10</sup> O. Stepanenko *et al.* , AIOM 2012, San Diego 1-3 Février 2012
- <sup>11</sup> S. Chen *et al.*, *Opt. Lett.* **18** (16), p. 1314-1316, (1993)
- <sup>12</sup> S. Chen *et al.*, *J. Light. Tech.*, **12** (5), pp. 862-871, (1994)