

GUIDES OPTIQUES ACCORDABLES ELECTRIQUEMENT

M. CHAUVET¹, P. THOA¹, F. BASSIGNOT²

*1 Département d'optique, Institut FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, Université de Bourgogne
Franche-Comté, 15B Avenue des Montboucons, F-25000 Besançon—France*

2 Femto-Engineering, 15B avenue des Montboucons, F-25000 Besançon—France

mathieu.chauvet@univ-fcomte.fr

RÉSUMÉ

Des guides d'onde accordables électriquement ont été fabriqués dans des films minces de LiNbO₃ sur substrat de silicium par inversion de domaines. L'effet électro-optique est exploité pour induire les guides et pour contrôler leurs propriétés de guidage. Ainsi, une tension de quelques volts permet de faire apparaître un guide efficace à 1.55μm ou au contraire de générer un anti-guide. La transmission des dispositifs fabriqués peut ainsi varier sur plus de 25dB. La réponse en fréquence des composants permet d'envisager des modulations rapides.

MOTS-CLEFS : *Dispositifs électro-optiques, Niobate de lithium, Fabrication de microstructures, Inversion de domaines*

1. INTRODUCTION

Les guides d'ondes dont les propriétés peuvent être modifiées par l'application d'un champ électrique sont des éléments clés pour traiter les signaux optiques. Ces guides accordables peuvent être au cœur de divers dispositifs tels que les modulateurs, les atténuateurs variables ou encore les commutateurs. Les phénomènes physiques exploités sont par exemple l'électro-absorption [1], l'effet thermique [2] ou encore l'effet électro-optique [3,4]. Ce dernier étant, de loin, le plus largement utilisé en raison d'une réponse rapide et non résonnante. Ces dispositifs électro-optiques sont généralement constitués de guides d'onde permanents dont les propriétés de guidage sont légèrement modifiées par l'application d'une tension. Cependant, la possibilité de faire apparaître ou disparaître à volonté les propriétés guidantes ouvre de nouvelles perspectives. Par exemple, le contrôle total sur des réseaux de guides couplés apporterait une grande flexibilité pour acheminer et moduler un signal d'entrée. Ces guides optiques induits par une tension ont été étudiés dès l'apparition de matériaux à forts coefficients électro-optiques. Une première démonstration a été faite par Channin [5] au début des années soixante en tirant parti des propriétés électro-optiques de LiTaO₃. L'application d'une haute tension était alors nécessaire pour induire un guide efficace au cœur d'un cristal massif. Des dispositifs similaires basés sur des électrodes déposées à la surface d'un substrat ont ensuite été développés [6-7]. Dans la présente étude, une structure hybride qui tire avantage de l'inversion de domaine de films minces de LiNbO₃ est fabriquée pour former des guides accordables à l'aide de faibles tensions de commande et présentant une réponse optique rapide.

2. FABRICATION

La première étape du procédé de fabrication de ces guides consiste à inverser localement l'axe ferroélectrique d'un wafer de LiNbO₃ congruent de 4 pouces de diamètre à l'aide d'un champ électrique intense opposé à la direction initiale de l'axe Z. Ce champ intense est appliqué à travers un masque dont le motif permet d'inverser une série de lignes parallèles de 50 mm de long dont la largeur varie de 4 μm à 16 μm. Dans une deuxième étape, une couche de SiO₂ de 350 nm d'épaisseur est déposée par ICPECVD sur une face de ce wafer suivi par la pulvérisation d'une couche d'or de 300 nm d'épaisseur. Une couche d'or identique est également déposée sur un wafer

de silicium de grande planéité. Les faces métallisées du wafer de LiNbO_3 et du wafer de silicium sont ensuite mises en contact et pressées dans une machine de collage EVG. Ce procédé de collage par diffusion métallique est réalisé à température ambiante, ce qui limite les contraintes mécaniques pouvant résulter des coefficients de température différents des deux wafers. On obtient ainsi une structure hybride de 1 mm d'épaisseur. L'étape suivante consiste à amincir la couche de LiNbO_3 par rodage et polissage pour atteindre une épaisseur de $6 \mu\text{m}$. Une couche de SiO_2 de 350 nm d'épaisseur est ensuite déposée à la surface du film LiNbO_3 suivie de la pulvérisation d'une électrode d'or de 300 nm d'épaisseur. Enfin, cette structure hybride est découpée avec une scie de précision pour donner des échantillons de différentes longueurs de propagation. Comme illustré sur la Fig. 1. , la couche de LiNbO_3 est orientée selon l'axe + Z sauf le long des lignes dont la polarisation a été inversée. La caractérisation de la planéité de surface des échantillons avec un profilomètre optique révèle que le film LiNbO_3 est légèrement plus épais le long de ces bandes inversées. Cette surépaisseur superficielle observée dans la zone orientée Z- est attribuée aux propriétés mécaniques différentes des surfaces du LiNbO_3 orientées Z et + Z.

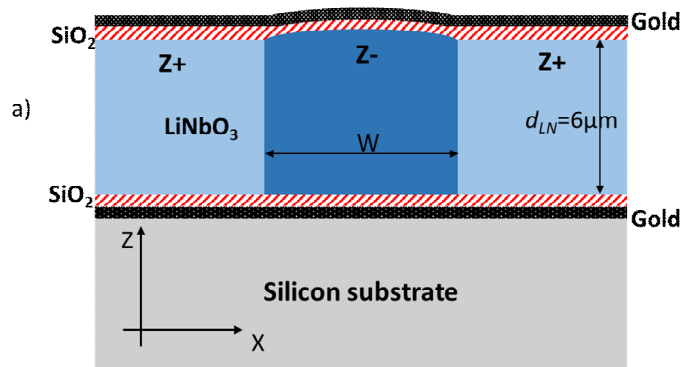


Fig. 1 : Coupe transversale schématique de la structure des guides accordables.

3. CARACTERISATION

Les composants décrits ci-dessus sont ensuite caractérisés optiquement. La lumière provenant d'une diode laser émettant à une longueur d'onde de 1550 nm est collimatée et polarisée linéairement. Ce faisceau lumineux est ensuite focalisé à l'entrée du guide testé. L'image de la face de sortie du guide est formée sur une caméra Vidicon. Des contacts électriques sont ensuite placés sur la couche d'or située en surface et sur l'or constituant la couche de collage. Cette configuration permet donc d'appliquer la tension sur l'empilement $\text{SiO}_2 / \text{LiNbO}_3$ pour donner naissance à un champ électrique orienté selon l'axe Z du LiNbO_3 .

La figure 2 illustre le comportement du guide en fonction de la tension appliquée pour un guide de largeur W égale à $16 \mu\text{m}$ et de longueur 3 cm. Si aucune tension n'est appliquée, la lumière est faiblement guidée en raison de la surépaisseur présente à la surface du guide. La figure 2c montre la répartition lumineuse observée. Lorsque le potentiel électrique de l'électrode de surface est inférieur à celui de l'électrode de liaison (tension négative), le mode guidé devient plus étroit comme le décrit sur la figure 2a-b. Ce comportement est dû au changement d'indice de réfraction produit par le champ électrique E_{LN} présent dans la couche de LiNbO_3 . Pour une tension négative, l'indice de réfraction augmente dans le cœur du guide tandis qu'il diminue dans les zones latérales. Comme prévu, la structure devient un anti-guide lorsqu'une tension positive est appliquée. Comme on peut le voir sur les figures 2d-e la lumière est alors repoussée de la zone centrale du guide d'onde puisque l'indice de réfraction y est plus faible que dans les zones latérales.

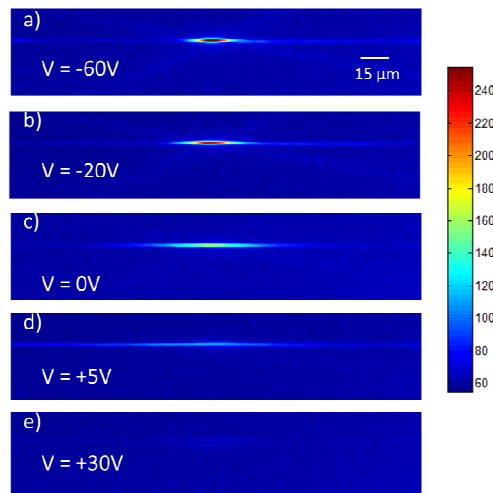


Fig. 2 : Distribution de lumière en sortie d'un guide d'onde de 3 cm de long pour différentes tensions appliquées.

CONCLUSION

Le concept de guides commandés en tension basés sur le poling local d'un film de LiNbO_3 a été validé. Les composants sont fabriqués par des techniques de collage de wafer et de rochage/polissage afin de former des films de LiNbO_3 de quelques micromètres d'épaisseur. Les caractérisations optiques montrent que ces guides commandés par effet électro-optique peuvent être accordés à l'aide d'une faible tension d'amplitude 10V. Un tel signal électrique induit une variation de transmission supérieure à 25dB. La bande passante peut atteindre quelques centaines de Mhz en optimisant la surface des électrodes mais une bande passante réponse encore plus grande pourrait être envisagée avec des électrodes à ondes progressives [8]. Cette première démonstration de guides induits par électro-optique ouvre la voie à la fabrication d'atténuateurs électriquement variables, de modulateurs rapides ou même de réseaux de guides accordables.

RÉFÉRENCES

- [1] J. Liu, M. Beals, A. Pomerene, S. Bernardis, R. Sun, J. Cheng, L. C. Kimerling and J. Michel, "Waveguide-integrated, ultralow-energy GeSi electro-absorption modulators", *Nature photonics*, **2**, 433-437, 2008.
- [2] Y. O. Noha, C. H. Leea, J. M. Kima, W. Y. Hwangc, Y. H. Won, H. J. Leea, S. G. Hana, M. C. Ohd, " Polymer waveguide variable optical attenuator and its reliability", **242**, 533-540, 2004.
- [3] R. Krähenbühl, M.M. Howerton, J. Dubinger, A.S. Greenblatt, "Performance and Modeling of Advanced Ti:LiNbO₃ Digital Optical Switches," *J. Lightwave Tech.*, **20**, 92-99, 2002.
- [4] D. Janner, D. Tulli, M. García-Granda, M. Belmonte, M. and V. Pruneri, Micro-structured integrated electro-optic LiNbO₃ modulators. *Laser & Photon. Rev.*, **3**, 301-313, 2009.
- [5] D. J. Channin. "Voltage-induced optical waveguide," *Appl. Phys. Lett.*, **19**, 128-130, 1971
- [6] N. A. F. Jaeger and L. Young, "Voltage-induced optical waveguide modulator in lithium niobate", *IEEE J. of Quantum electronics*, **25**, 720-728, 1989.
- [7] J.C. Baumert, C. Walther, P. Buchmann, H. Kaufmann, H. Melchior and P. Günter, "KNbO₃ electro-optic induced optical waveguide/cut-off modulator", *Appl. Phys. Lett.*, **46**, 1018-1020, (1985)
- [8] K. Noguchi, O. Mitomi and H. Miyazawa, "Millimeter-Wave Ti:LiNbO₃ Optical Modulators", *J. Of Lightwave Technology*, **16**, 615-619 (1998).