

REALISATION DE GUIDES D'ONDES MONOMODES A $\lambda = 405$ NM PAR ECHANGE D'IONS Tl^+ / Na^+ SUR VERRE SILICATE

Elodie Jordan¹, Fabien Geoffray¹, Aude Bouchard¹, Grégory Grosa¹, Elise Ghibaudo¹,
Jean-Emmanuel Broquin¹

¹ Laboratoire IMEP-LAHC, 3 parvis Louis Néel, 38016 Grenoble Cedex 1, France

elodie.jordan@imep.grenoble-inp.fr

RESUME

Cet article présente les premiers travaux menés pour obtenir un guidage de la lumière à la longueur d'onde de 405 nm, via une technologie d'échange d'ions dans un verre dédié. Des guides réalisés par un échange Tl^+ / Na^+ permettent d'obtenir des guides d'ondes monomodes à 405 nm, avec une largeur de mode horizontale et verticale respectives de $(1,63 \pm 0,2) \mu\text{m}$ et $(0,94 \pm 0,2) \mu\text{m}$. Les pertes par propagation pour cette première réalisation ont été évaluées à $(9,2 \pm 1,2) \text{ dB/cm}$. Les perspectives de ce travail visent à diminuer ces pertes afin d'envisager des applications dans le domaine des capteurs.

MOTS-CLEFS : *optique intégrée sur verre; échange d'ions au thallium; guidage dans le visible.*

1. INTRODUCTION

Depuis plus de trente ans, la technologie d'échange d'ions sur verre a été utilisée avec succès pour fabriquer des dispositifs à faible pertes en optique intégrée [1]. Les télécommunications ont longtemps été le moteur principal des recherches, impliquant des développements dans l'infra-rouge proche [2]. Cependant, des applications concernant les capteurs ou le médical sont en train d'émerger. Ainsi, un projet visant à élargir la largeur spectrale d'un spectromètre réalisé en optique intégrée sur verre et fonctionnant dans l'infrarouge est en cours [3]. La plupart des molécules analysées présentant des bandes d'absorption dans cette gamme, la réalisation de guides d'ondes, fonctionnant dans les longueurs d'ondes du visible, est un enjeu majeur du moment. Des procédés de réalisation dans des matériaux polymères ont ainsi été reportés pour cette gamme de longueur d'onde [4]. L'IMEP-LaHC cherche, pour sa part, à exploiter les avantages de la technologie sur verre pour réaliser des composants travaillant sur de telles plages spectrales. Ainsi, des structures conçues pour une longueur d'onde de travail de 800 nm ont déjà été développées via cette technologie [5]. La réalisation de guides d'ondes à la longueur de 405 nm permettrait donc de compléter la gamme de fonctionnement dans le visible.

Les procédés classiques d'échanges à l'argent ont prouvé leur intérêt grâce aux très faibles pertes induites dans l'infra-rouge [2]. Cependant, l'absorption des ions Ag^+ dans le domaine du visible limite fortement leur pertinence pour les applications de type capteur. L'IMEP-LAHC travaille depuis plus de quinze ans sur une technologie de rupture basée sur des échanges au thallium. Un verre dédié a ainsi été développé et une première réalisation de guides est proposée dans cet article. Les différentes étapes technologiques sont tout d'abord présentées puis la caractérisation des guides est proposée. L'article se conclut sur les perspectives de ce travail.

2. REALISATION

La technologie de l'échange d'ions a l'avantage de fournir des guides d'ondes de bonne qualité, à un coût limité. Ils possèdent une bonne stabilité thermique et mécanique, et présentent un couplage efficace avec les fibres optiques grâce à des indices de réfraction très proches. Le principe de l'échange d'ions est de créer localement une variation d'indice de réfraction en échangeant des

ions contenus dans la matrice vitreuse par des ions ayant une différence de polarisabilité ou de volume [6].

Le thallium, bien que toxique, a été choisi pour l'absence de précipités métalliques et pour la possibilité d'obtenir une forte variation d'indice de l'ordre de 10^{-1} [7]. De plus, l'IMEP-LAHC possède une installation dédiée à ces manipulations délicates. Afin d'obtenir le bon confinement, nous avons choisi de faire un échange Tl^+/Na^+ pour obtenir un contraste d'indice important, bien que la grande différence de rayon ionique entre l'ion thallium et l'ion sodium puisse introduire des contraintes dans la matrice vitreuse. Le substrat utilisé est un verre développé par l'IMEP-LAHC et Saint-Gobain spécialement conçu pour l'échange d'ions au thallium.

Après avoir déposé un masque d' Al_2O_3 à la surface du substrat et ouvert des fenêtres de diffusion par photolithographie, le verre est plongé pendant 20 min dans un bain de sels de nitrates contenant 50% de $TlNO_3$ et chauffé à $300^\circ C$. Enfin, avant de passer aux étapes de caractérisation, les arêtes d'entrées et de sortie sont découpées et polies.

3. CARACTERISATIONS

La distribution d'intensité sur la facette de sortie a été imagée pour des ouvertures de masque allant de $0,5 \mu m$ à $10 \mu m$. Un comportement monomode a été observé pour une ouverture de guide de $0,5 \mu m$. L'injection de la lumière se fait via une source laser Thorlabs S1FC405 émettant à $\lambda = 405 \text{ nm}$ couplée dans une fibre optique Thorlabs SM400 monomode à $\lambda = 405 \text{ nm}$. L'arête de sortie est imagée sur un capteur CMOS, grâce à un objectif de microscope ayant un grossissement $\times 50$. La Fig. 1.a montre le profil modal obtenu pour le guide présentant la meilleure transmission à la longueur d'onde de 405 nm . Celui-ci présente une largeur à $1/e^2$ de mode horizontale de $(1,63 \pm 0,2) \mu m$ et une largeur à $1/e^2$ de mode verticale de $(0,94 \pm 0,2) \mu m$. Le confinement important est dû à la grande différence de polarisabilité et de rayon ionique entre les deux ions échangés. De plus, la proximité de la surface améliore elle aussi le confinement vertical.

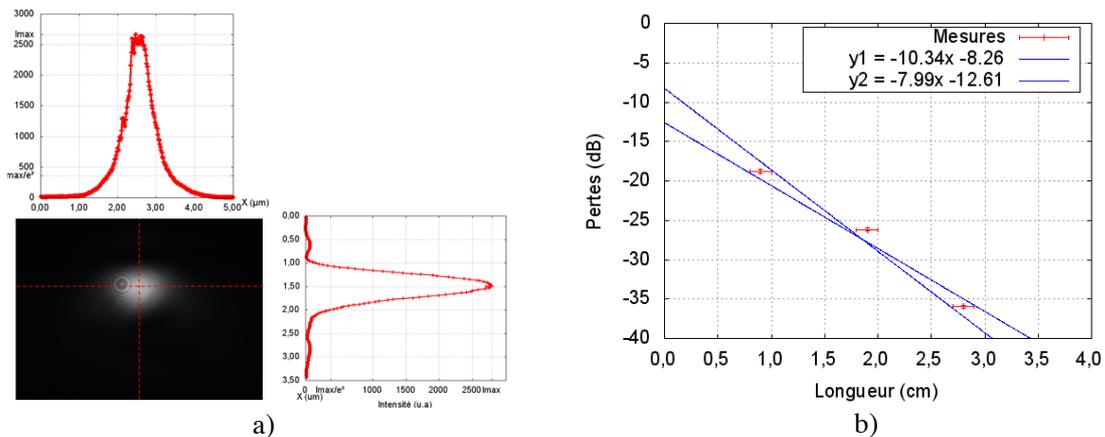


Fig. 1 : a) Distribution d'intensité à $\lambda=405\text{nm}$ pour un guide de fenêtre de diffusion de $0,5 \mu m$.

b) Evaluation des pertes pour différentes longueurs de guides

Une étude de pertes a aussi été effectuée. L'injection se fait de la même manière que précédemment et le signal est récupéré par une deuxième fibre optique monomode à 405 nm connectée à une photodiode silicium détectant à 405 nm et un puissance-mètre. Nous avons réalisé des mesures par coupes successives de l'échantillon. Les résultats sont présentés sur la Fig. 1.b. Les trois points de mesure se situent sur une droite dont la pente correspond aux pertes par propagation de l'échantillon tandis que l'ordonnée à l'origine indique la somme des pertes de couplage et de

Fresnel. Les pertes de couplage sont liées au recouvrement imparfait entre le mode de la fibre et celui du guide d'onde. Les pertes de Fresnel sont induites par les réflexions causées par le passage d'une interface entre les milieux air/verre. En prenant en compte les incertitudes sur les mesures, les pertes de propagation sont évaluées à $(9,2 \pm 1,2)$ dB/cm tandis que les pertes de couplage ajoutées aux pertes de Fresnel sont évaluées à $(10,4 \pm 2,2)$ dB. La largeur du mode de la fibre optique étant évaluée à $(3,2 \pm 0,2)$ μm , les pertes de couplage sont donc estimées à $(4,4 \pm 3,1)$ dB par facette. La forte incertitude sur cette mesure est due à la faible taille du mode guidé. Les pertes de Fresnel sont quant à elles évaluées à $(0,45 \pm 0,01)$ dB par facette. Ainsi, la somme des pertes de couplage et de Fresnel atteint $(9,7 \pm 6,2)$ dB. Même si cette valeur est en accord avec celle lue sur l'ordonnée à l'origine de la Figure 1.b, il apparaît clairement que la méthode par coupes successives apporte une bien meilleure précision.

Les pertes de propagation sont relativement importantes et pourraient être réduites en isolant la surface par un procédé d'enterrage. De même, la mise en place d'un procédé à base de sels peu concentrés en thallium permettra sûrement de diminuer ces pertes. Enfin, l'utilisation d'un échange Ti^+/K^+ réduira les contraintes introduites dans le verre dû à la différence de volume entre les ions Ti^+ et Na^+ . Pour cela, le laboratoire IMEP-LAHC travaille actuellement avec un verrier pour optimiser la composition du substrat. Les pertes de couplage peuvent elles aussi être diminuées. La réduction de la concentration en thallium et du temps d'échange nous permettront d'obtenir des guides monomodes pour des ouvertures de guides plus importantes, ce qui déconfinera le champ et améliorera le recouvrement des modes.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article est démontrée la faisabilité de guides d'ondes réalisés par échange d'ions sur verre monomode à une longueur d'onde de 405 nm. Ils présentent une largeur de mode horizontale et verticale respectives de $(1,63 \pm 0,2)$ μm et $(0,94 \pm 0,2)$ μm , des pertes de propagation de $(9,2 \pm 1,2)$ dB/cm et des pertes de couplage et de Fresnel associées de $(10,4 \pm 2,2)$ dB. Un travail d'optimisation est donc encore nécessaire afin de réduire ces pertes. Pour cela, nous pensons diminuer la concentration en thallium du bain de sels et éventuellement effectuer un enterrage afin de s'affranchir des pertes de surface. Une réduction du temps d'échange nous permettra d'obtenir des guides monomodes sur une plus grande plage d'ouverture de guide. D'autre part, le verre est issu d'une coulée expérimentale présentant des défauts d'homogénéités qui peuvent être à l'origine des pertes. La commande d'une nouvelle coulée de verre est donc prévue. Nous envisageons également de tester un échange Ti^+/K^+ afin de supprimer les éventuelles contraintes présentes dans le verre entraînées par l'échange Ti^+/Na^+ .

RÉFÉRENCES

- [1] L. Onesta, D. Bucci, E. Ghibaud and J.E. Broquin, « Vertically integrated broadband duplexer for erbium_doped waveguide amplifiers made by ions exchange on glass », *IEEE Photonic. Tech. Letter.*, 23(10), 648-650, 2011.
- [2] A. Tervonen, B.R. West, S. Honkanen, « Ion_exchanged glass waveguide technology: a review », *Opt. Eng.*, 50(7), 071107-071107, 2011.
- [3] E. Le Coarer *et al.* « Wavelength-scale stationary-wave integrated fourier-transform spectrometry », *Nat. Photonics*, 1(8), 473-478, 2007.
- [4] U. Hollenbach, H.J. Böhm, J. Mohr, L. Ross, D. Samiec, « UV light induced single mode waveguides in polymer for visible range application », *ECIO, paper THD3, Copenhagen, Denmark*, 25-27, 2007.
- [5] E. Jardinier ; D. Bucci ; L. Couston ; F. Canto ; A. Magnaldo ; J.-E. Broquin, « Glass integrated nanochannel waveguide for concentration measurements », *Proc. SPIE*, 8627, 8627OL1-12, 2013
- [6] J.E. Boquin, « Ion-exchanged integrated devices » *Proc. SPIE*, 4277, 105-117, 2001.
- [7] F. Gardillou, L. Bastard and J.E. Broquin. « 4,25dB gain in a hybrid silicate/phosphate glasses optical amplifier made by wafer bonding and ion-exchange techniques », *Appl. Phys. Lett.*, 82(22), 5176-5178, 2004.