

Réalisation de guides d'ondes segmentés monomodes sur une grande plage de longueurs d'ondes réalisés par échange d'ions Ag^+/Na^+

Davide Bucci, Jérôme Grelin, Elise Ghibaudo, Jean-Emmanuel Broquin

Institut de Microélectronique, Electromagnetisme et Photonique 23, rue des Martyrs, 38016 Grenoble CEDEX 1

Abstract— Dans cet article, on rapporte la réalisation de guides d'ondes segmentés enterrés réalisés en optique intégrée sur verre. Avec la technique de l'échange d'ions, on a pu obtenir des guides monomodes sur les trois fenêtres des télécommunications optiques, de bonne qualité, avec des périodes de segmentation compris entre $3\mu\text{m}$ et $100\mu\text{m}$ et des taux de vide compris entre 0,25 et 0,90. Les effets de la segmentation sont évidents dans la taille modale et dans le déplacement de la longueur d'onde de coupure du deuxième mode confiné dans le guide.

Index Terms— Guides segmentés, optique intégrée sur verre, échange d'ions Ag^+/Na^+ , enterrage, modicité, taille modale

I. INTRODUCTION

Durant ces dernières années la réalisation de circuits intégrés optiques a connu un développement considérable surtout en vue des applications liées aux télécommunications optiques. La réalisation de guides segmentés a soulevé un certain intérêt pour les applications de génération de deuxième harmonique dans des matériaux comme le KTP et le niobate de lithium[1]; dans ces cas, l'inversion de domaine et le guidage sont obtenus dans le même temps par diffusion de Rb et de Ti.

Un guide segmenté est réalisé avec un guide d'onde diélectrique qui est périodiquement coupé par une zone non guidante (voir fig. 1) sur des segments qui sont beaucoup plus longs que la longueur d'onde du signal qui s'y propage. Le rapport entre la longueur de la zone non guidante et la période des segments est appelé taux de vide. Même s'il y a eu un grand nombre d'études théoriques sur les guides segmentés, à notre connaissance, la réalisation expérimentale de ce dispositif n'a pas encore été décrite dans le cadre des composants réalisés par échange d'ions sur verre et on se propose donc ici de traiter cette technologie. L'avantage, dans ce cas, est la possibilité de faire varier facilement l'indice effectif des modes guidés et donc de modifier des paramètres comme la plage de monomodécité ou le confinement des modes, en modifiant les dimensions des segments. On gagne donc un degré de liberté en plus sur les caractéristiques de propagation du champ sans pourtant ajouter des étapes technologiques supplémentaires. Dans un premier moment, on concentrera notre attention sur les aspects de réalisation de guides enterrés pour ensuite passer à la description des résultats de mesure, en particulier la taille du mode fondamental et l'analyse spectrale des composants obtenus.

II. RÉALISATION DE GUIDES SEGMENTÉS AVEC L'ÉCHANGE D'IONS

L'échange d'ions est une technique qui permet de modifier localement l'indice de réfraction d'un verre en faisant varier sa

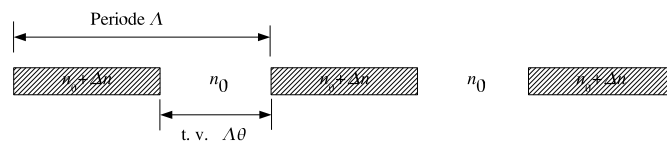


Fig. 1. Schéma de principe d'un guide segmenté

composition[2]. La mise en oeuvre consiste à plonger la plaquette dans un sel fondu contenant des ions Ag^+ qui peuvent diffuser dans le verre en se substituant aux ions Na^+ qui y sont normalement présents. L'utilisation de la photolithographie permet la réalisation de guides confinés. Il faut néanmoins tenir en compte qu'il s'agit d'un processus de diffusion isotrope et les ions tendent à diffuser longitudinalement sous le masque en réduisant la distance entre les segments. Dans un deuxième temps, on peut appliquer un champ électrique pour faire migrer les ions Ag^+ vers l'intérieur du verre et réaliser des guides enterrés.

Pour nos essais, on a utilisé un verre silicate spécialement conçu pour l'échange d'ions Ag^+/Na^+ et on a préparé un échantillon avec un masque comportant plusieurs séries de guides segmentés de $2\mu\text{m}$ de largeur. Chaque série était composée par des guides segmentés avec un taux de vide variable entre 0,25 et 0,9 et une période fixée. On avait à disposition les périodes de $3\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$ et $100\mu\text{m}$. Pour réaliser des guides enterrés, on a effectué un premier échange d'ions dans un mélange de AgNO_3 20% molaire et de NaNO_3 80% molaire fondu, maintenu à une température constante de 330°C pendant 4min. Après retrait du masque, on a effectué l'enterrage à $10\mu\text{m}$ en utilisant un bain avec un eutectique contenant du sodium à 260°C pendant 1h30 avec un courant de 20mA.

Dans un guide segmenté on a deux paramètres importants (fig. 1): le premier est la période des segments et le deuxième est le taux de vide. Des modèles théoriques[3] ont montré qu'il y a la possibilité de considérer des conditions de propagation qui sont tout à fait similaires à celles d'un guide d'ondes non segmenté caractérisé par une différence d'indice plus faible avec le substrat. Une modification du taux de vide permet donc de faire varier l'indice de réfraction moyen et la période de la structure a une influence très importante vis à vis des pertes par propagation. Les caractérisations seront donc menées de façon à mettre en évidence ces comportements.

III. CARACTÉRISATION

La première mesure effectuée a été la taille du mode guidé à 1550nm avec un banc de champ proche: la lumière en sortie

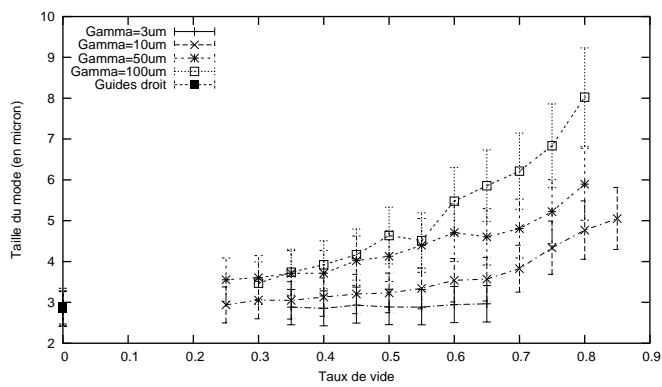


Fig. 2. Tailles du mode fondamental $\lambda/2$ mesurée sur un banc de champ proche à 1550nm.

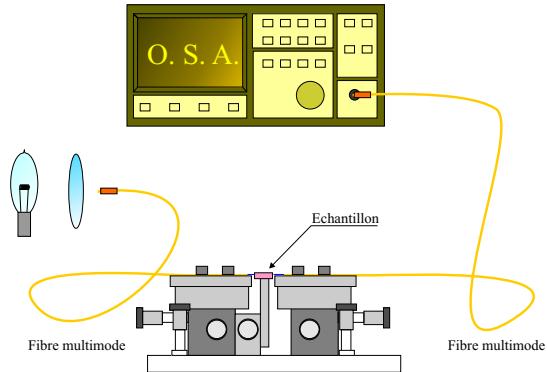


Fig. 3. Fonctionnement du banc d'analyse spectrale pour la caractérisation modale des guides.

du guide est focalisée sur une caméra CCD InGaAs avec un objectif de microscope. Si on suppose que le profil d'intensité du champ en sortie est approximativement gaussien, la variation de son diamètre à $1/e^2$ donne une idée du confinement du mode fondamental dans le guide, paramètre qui est étroitement lié à l'indice effectif du mode. Ces mesures (fig. 2) ont été effectuées après un étalonnage pour connaître les tailles en micron; la précision reste néanmoins de l'ordre de 15%. Les résultats sont montrés en fig. 2: on note bien qu'il y a une variation très évidente de la taille modale selon le taux de vide. On remarque en particulier que la variation est plus importante pour les périodes plus grandes ($50\mu\text{m}$ et $100\mu\text{m}$). Ce fait peut être expliqué grâce à la diffusion des ions qui fait diminuer le taux de vide par rapport au masque, cette différence étant plus marquée pour les périodes courtes.

Les effets de la segmentation sont évidents aussi dans la modicité des guides. Une méthode d'analyse classique consiste à envoyer de la lumière blanche par une fibre multimode à l'entrée du guide à caractériser (fig. 3). La transmission du guide d'ondes sera fortement dépendant des modes guidés et, en récupérant la lumière en sortie avec un analyseur de spectre, on peut observer des marches correspondantes aux coupures des modes (fig. 4). On a pu appliquer cette technique aux guides de période $3\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$ et les résultats sont visibles en fig. 5. En augmentant le taux de vide, on observe que on peut décaler la longueur d'onde de coupure du deuxième mode, phénomène qui s'accorde bien avec la

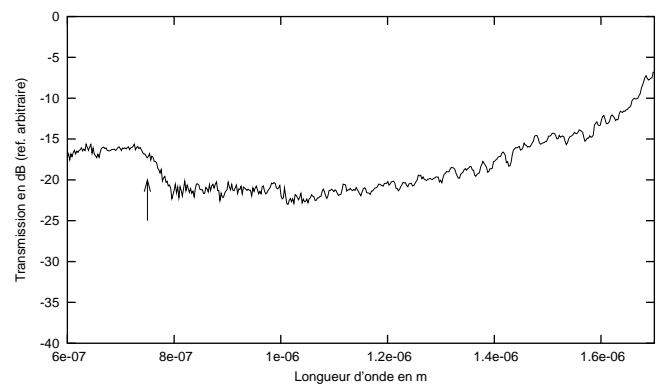


Fig. 4. Analyse spectrale sur un guide de période $10\mu\text{m}$ et de taux de vide 0,75. La flèche indique la coupure du deuxième mode; celle du mode fondamental est supérieure à 1700nm

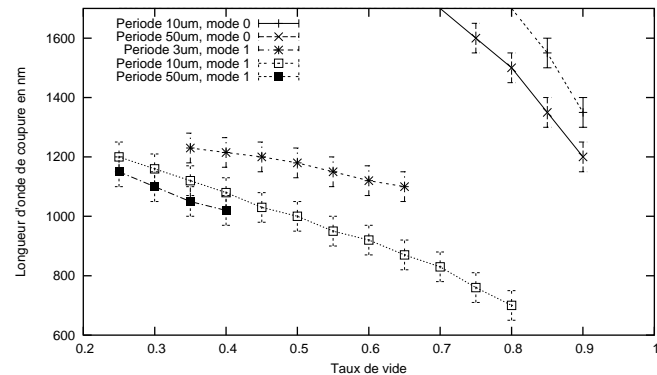


Fig. 5. Longueurs d'ondes de coupure par rapport au taux de vide pour les différentes périodes.

théorie. On remarque en particulier la courbe correspondante à la période de $10\mu\text{m}$ avec un taux de vide de 0,75 qui est monomode entre 800nm et 1700nm (fig. 4). De plus, on a relevé la puissance en sortie de chaque guide segmenté en la normalisant avec la moyenne de celle obtenue en sortie des guides droits. Cette mesure a montré que pour les périodes de $10\mu\text{m}$ on a $(0,7 \pm 0,2)\text{dB/cm}$ de pertes par propagation en excès. Les guides de période de $100\mu\text{m}$ n'ont pas pu être caractérisés par analyse spectrale et en fait les pertes en excès deviennent trop importantes, de l'ordre de $(15 \pm 2)\text{dB/cm}$. Toujours sous cet aspect, les guides de période de $3\mu\text{m}$ ne présentent pas de différences avec les guides droits (au moins à $0,2\text{dB/cm}$ près) tandis que pour les périodes de $50\mu\text{m}$ les valeurs varient avec le taux de vide entre $(3,6 \pm 0,2)\text{dB/cm}$ et $(6 \pm 0,2)\text{dB/cm}$. Ces valeurs sont intéressantes parce qu'elles montrent que pour certaines périodes les pertes peuvent être très faibles, tout en conservant les effets dus à la variation du taux de vide.

IV. CONCLUSION

Notre travail a démontré la faisabilité de guides segmentés enterrés avec l'échange d'ions sur verre. Les guides réalisés ont des taux de vide compris entre 0,25 et 0,90 avec des périodes différentes et ont été caractérisés de façon à mesurer les tailles modales et les plages de monomodité. Avec l'utilisation des guides segmentés, il a été possible

d'obtenir facilement un guide monomode sur une large plage de longueurs d'ondes (800nm-1700nm) en utilisant un processus standard d'échange d'ions. Les résultats s'accordent qualitativement avec le modèle théorique qui consiste à considérer une équivalence avec un guide non segmenté ayant une différence d'indice plus faible avec le substrat. La variation du taux de vide permet de faire varier l'indice effectif des modes, alors que la valeur de la période influe sur les pertes par propagation. Des travaux sont en cours pour étudier plus en détail ce dernier aspect.

Les guides segmentés mettent à disposition une possibilité en plus pour jouer sur les caractéristiques de propagation du champ en faisant varier des paramètres géométriques dans le masque utilisé pour la photolithographie. Cela permet d'éviter de processus plus complexes comme le double échange d'ions et ouvre des possibilités très intéressantes pour des développements futurs.

REFERENCES

- [1] D. Nir, Z. Weissman, S. Ruschin, A. Hardy. *Periodically segmented waveguides in Ti:LiNbO₃*. Optics Letters, vol. 19, no. 21, Nov. 1, 1994
- [2] J.-E. Broquin. *Ion Exchanged Integrated Devices*. Integrated Optics Devices V, G. C. Righini, S. Honkanen, Editors, Proc. of SPIE Vol. 4277 pag. 105-117, 2001.
- [3] Z. Weissman, A. Hardy. *Modes of Periodically Segmented Waveguides*. Journal of lightwave technology, vol. 11, no. 11, Nov. 1993.