

REALISATION DE GUIDES D'ONDE ENTERRES AVEC UN PROCEDE QUASI-PLANAIRE

Stéphane Calvez¹, Alexandre Arnoult¹, Pierre-François Calmon¹, Aurélie Lecestre¹,
Chantal Fontaine¹, Antoine Monmayrant¹, Guilhem Almuneau¹

¹ Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes, Université de Toulouse, CNRS, UPS,
7 avenue du colonel Roche, F-31400 Toulouse, France

scalvez@laas.fr

RÉSUMÉ

Ce papier présente la première démonstration d'un procédé quasi-planaire de fabrication de structures de guides d'onde optiques enterrés dans des semiconducteurs III-V. L'approche repose sur l'utilisation d'une oxydation latérale de large étendue à partir d'une distribution discrète de trous et correspond à une évolution avantageuse du procédé conventionnel mettant en jeu une oxydation à partir de mesas dont les flancs sont continus.

MOTS-CLEFS : *guide d'onde ; AlOx ; oxydation ;*

1. INTRODUCTION

L'oxydation des alliages de semiconducteurs III-V à haute teneur en aluminium est un procédé établi pour la réalisation de composants photoniques tels que les lasers émettant par la tranche, les lasers à cavité verticale émettant par la surface, les convertisseurs non-linéaires de fréquences, et les résonateurs à modes de galerie [1-5]. Conventionnellement, cette oxydation est réalisée après la gravure des mesas qui permettent d'accéder aux couches enterrées d'AlGaAs à oxyder. Il en résulte une perte de planéité qui peut complexifier les étapes de fabrication suivantes.

Ici, on valide une modification du procédé pour réaliser des guides d'onde où l'accès aux couches à oxyder est obtenu via une distribution discrète de trous plutôt que grâce à un mesa dont le flanc est continu, laissant ainsi la surface de l'échantillon quasi-planaire.

2. METHODE

Les structures finales des guides d'onde AlOx/AlGaAs enterrés fabriqués soit par le procédé conventionnel soit avec le procédé planaire introduit ici sont représentées en Fig. 1.

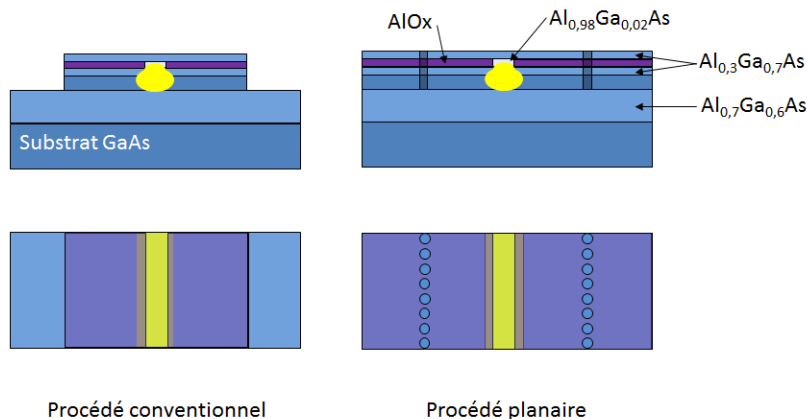


Fig. 1 : Diagramme montrant la vue en coupe et la vue de dessus d'un échantillon fabriqué, à gauche, avec le procédé conventionnel et, à droite, avec le procédé planaire développé. La partie en jaune représente le mode guidé.

Indépendamment du procédé utilisé, la structure verticale des guides d'onde est réalisée sur substrat GaAs par épitaxie par jets moléculaires et comprend une couche de confinement inférieure en $\text{Al}_{0,7}\text{Ga}_{0,3}\text{As}$ de $1,6\ \mu\text{m}$, un cœur en GaAs de $480\ \text{nm}$, et une couche supérieure de $480\ \text{nm}$ d' $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ au sein de laquelle se trouve une couche de $68\ \text{nm}$ d' $\text{Al}_{0,98}\text{Ga}_{0,02}\text{As}$ dont l'oxydation depuis le mesa ou les trous permet de définir le guidage latéral.

Pratiquement, les guides « conventionnels » et « planaires » sont réalisés simultanément. Tout d'abord, on définit les motifs (respectivement des mesas rectilignes et des rangées de trous de $2\ \mu\text{m}$ de diamètre placés avec un pas, Λ , variant de $2,5$ à $4,5\ \mu\text{m}$) permettant d'accéder à la couche d' $\text{Al}_{0,98}\text{Ga}_{0,02}\text{As}$ par lithographie laser directe et gravure sèche. Ensuite, on réalise une oxydation sur $\sim 16\ \mu\text{m}$ par voie humide à une température de substrat de 400°C et sous contrôle en temps réel [6] jusqu'à ce que les ouvertures d'oxyde (largeur d' $\text{Al}_{0,98}\text{Ga}_{0,02}\text{As}$) fassent $\sim 3,5\ \mu\text{m}$. On obtient ainsi des guides monomodes à $\lambda \sim 1,6\ \mu\text{m}$.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

La Fig. 2 montre les images au microscope optique des guides d'onde réalisés, la partie jaune correspondant à la zone oxydée, la violet-rose à la zone non oxydée et la grise au substrat.



Fig. 2 : Images au microscope optique des guides fabriqués par (a) méthode conventionnelle et (b) planaire.

Vu que l'oxydation induit une contraction de $\sim 10\%$ des couches, une mesure AFM a été effectuée pour observer la forme du front d'oxydation. La Fig. 3 montre que, pour un échantillon dont des trous sont espacés de $3,3\ \mu\text{m}$ et pour lequel une corrugation du front d'oxydation de $80\ \text{nm}$ pourrait être anticipée, le front (marqué par le saut en épaisseur à $X \sim 2,7\ \mu\text{m}$) est devenu rectiligne (avec une précision de $\sim 7\ \text{nm}$ limitée par l'enregistrement des données). Ce résultat peut s'expliquer par le fait que, dans les zones de coalescence, la compétition entre la sur-concentration en oxydant (H_2O) induite et la diffusion conduisent à une homogénéisation par progression renforcée et lissage.

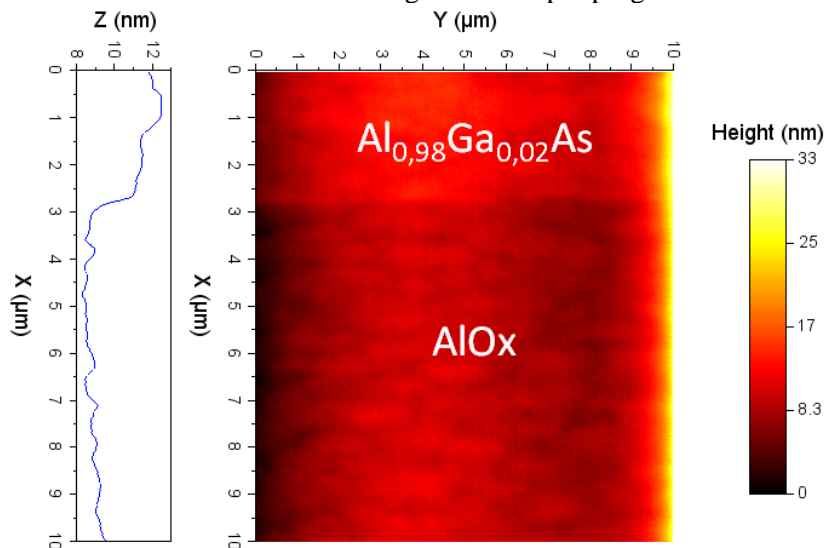


Fig. 3 : Image AFM d'une section de guides fabriqués par méthode planaire ($\Lambda = 3,3\ \mu\text{m}$)

Une fois clivés et montés sur embase silicium, la transmission des guides de 2.05mm de long a été mesurée. Fig. 3 montre le résultat pour les guides « planaires » avec 4 espacements de trous différents. Aucune contre-réaction de type DFB n'est observée et l'analyse des franges de Fabry-Pérot observées montrent que ces guides présentent des niveaux de pertes d'environ 1 cm^{-1} , à l'état de l'art [3], et similaires à ceux réalisés avec la méthode traditionnelle.

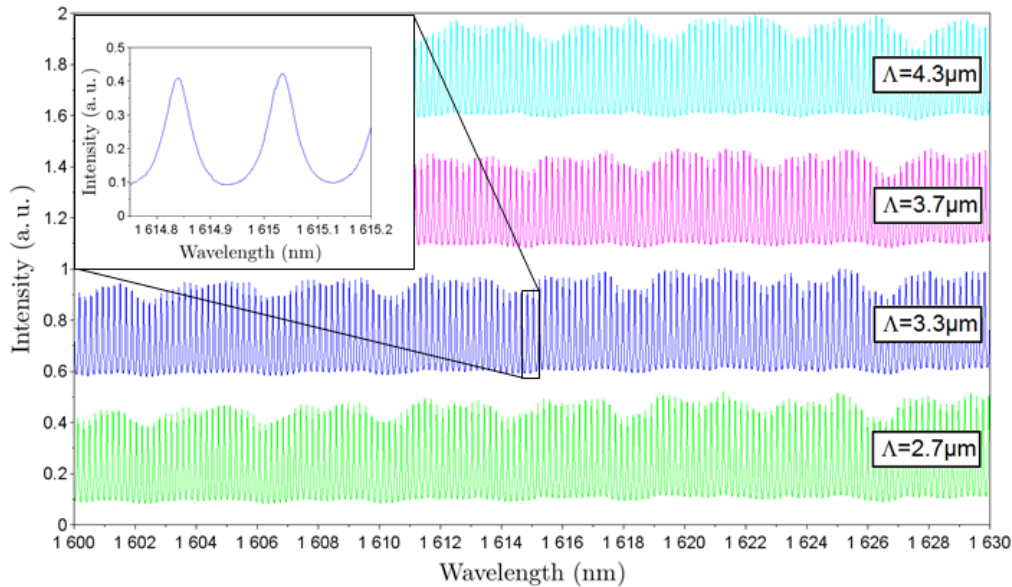


Fig. 3 : Spectres Fabry-Pérot des guides fabriqués avec le procédé planaire (Δ est la période des trous de $2 \mu\text{m}$ de diamètre).

CONCLUSION

Nous avons démontré une nouvelle manière de fabriquer des guides d'onde optiques (rectilignes) enterrés pour des structures à base de semiconducteurs III-V. La technique repose sur une oxydation latérale contrôlée de grande extension depuis des rangées de trous plutôt que d'utiliser une oxydation depuis des mesas rectangulaires. Cette approche possède aussi l'avantage de conserver la planéité de la surface de l'échantillon et donc de faciliter les étapes suivantes de fabrication pour des composants plus complexes.

RÉFÉRENCES

- [1] J.M. Dallesasse and N. Holonyak Jr, "Oxidation of Al-bearing III-V materials: a review of key progress," *J. Appl. Phys.* 113, 051101, 2013.
- [2] J. M. Dallesasse and D. G. Deppe, "III-V Oxidation: Discoveries and Applications in Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 101, no. 10, pp. 2234-2242, 2013.
- [3] M. Savanier, C. Ozanam, L. Lanco, X. Lafosse, A. Andronico, I. Favero, S. Ducci, and G. Leo, "Near-infrared optical parametric oscillator in a III-V semiconductor waveguide," *Applied Physics Letters*, 103, 261105, 2013.
- [4] E. Peter, I. Sagnes, G. Guirleo, S. Varoutsis, J. Bloch, A. Lemaître and P. Senellart, "High-Q whispering-gallery modes in GaAs/AlOx microdisks," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 86, no. 2, pp. 021103-1-021103-3, 2005
- [5] S. Calvez, G. Lafleur, A. Larrue, P.-F. Calmon, A. Arnoult, G. Almuneau, and O. Gauthier-Lafaye, "Vertically Coupled Microdisk Resonators Using AlGaAs/AlOx Technology," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 27, 982-985, 2015.
- [6] G. Almuneau, R. Bossuyt, P. Collière, L. Bouscayrol, M. Condé, I. Suarez, V. Bardinal, and C. Fontaine, "Real-time in situ monitoring of wet thermal oxidation for precise confinement in VCSELs," *Semicond. Sci. Technol.*, 23, (10), pp. 105021, 2008.