

# GUIDE D'ONDE PLASMONIQUE A LONGUE DISTANCE DE PROPAGATION INTEGRANT UN REFLECTEUR TOTAL INTERNE

Christian Vernoux<sup>2</sup>, Laurent Markey<sup>1</sup>, Jean-Claude Weeber<sup>1</sup>, Juan Arocas<sup>1</sup>, Alain Dereux<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 6303 CNRS – Université de Bourgogne Franche-Comté, 21078 Dijon, France.

[laurent.markey@u-bourgogne.fr](mailto:laurent.markey@u-bourgogne.fr)

## RÉSUMÉ

Nous démontrons des guides d'ondes sur puce intégrant un réflecteur total interne permettant la réalisation d'interconnexions à angle droit. Les guides propagent un mode plasmon à longue distance de propagation (ULRSPP,  $\sim 1$  dB/mm à  $1.55 \mu\text{m}$ ). Nous présentons une méthode de fabrication originale et l'observation du mode guidé réfléchi à  $90^\circ$

**MOTS-CLEFS :** *guide d'onde ; plasmon ; réflexion ; interconnexion optique*

## 1. INTRODUCTION

Ce travail porte sur la conception, la fabrication et la caractérisation optique à la fréquence télécom  $1.55 \mu\text{m}$  de guides d'onde sur puce de type plasmon polariton à longue distance de propagation intégrant un élément réflectif basé sur la réflexion totale interne du mode plasmon guidé. Ce type de guide a été introduit et étudié par Berini [1] et Guo, Adato [2] et la structure choisie, de type Asymmetric Ultra-Long Range Surface Plasmon Polariton (a-ULRSPP) proposée par Durfee et al [3]. Le composant étudié est schématisé sur la Figure 1 montrant au centre la structure du cœur or/résine noyé entre deux couches épaisses de SU-8, la résine utilisée pour la gaine. La réflexion du mode guidé se fait à l'interface entre le matériau et l'air pour les angles d'incidence supérieurs à l'angle critique  $\theta_c$ , ( $39.5^\circ$  pour SU-8). Ce composant passif peut avoir des applications pratiques en tant qu'interconnexions à faibles pertes dans les systèmes de communication de données à haut débit tels que data centers ou supercalculateurs, en particulier pour l'interfaçage de puces photoniques avec des cartes de type PCB-optique, la géométrie de l'assemblage imposant souvent des angles droits entre deux cartes ou entre une puce photonique et une carte. Nous avons développé ce concept dans le cadre du projet européen FP7 PhoxTroT [4], au côté d'un autre type de guide d'onde LRSPP dit « arc plasmonique », intégré dans un ruban de polymère souple et libre [5]. Ces 2 dispositifs d'interconnexion peuvent être couplés avec des fibres single-mode, des PCB optiques, des VCSELs et des puces intégrant des coupleurs à réseaux.

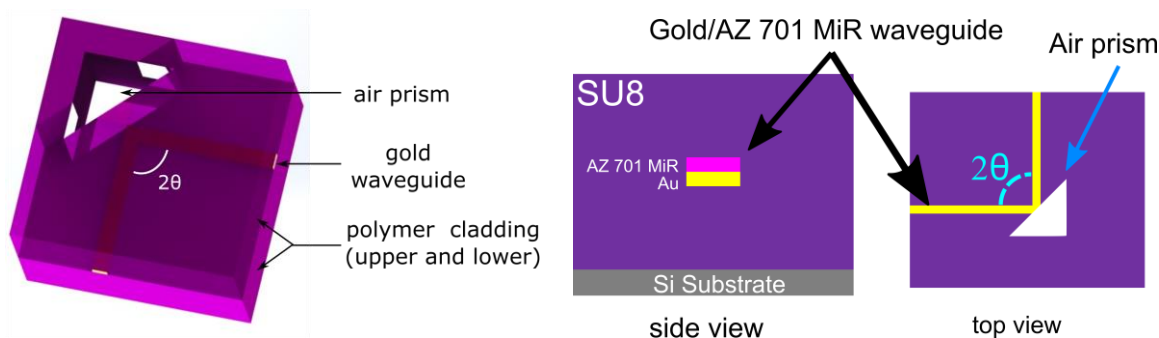


Fig. 1 : Schémas du composant. Vue en 3D, vue en coupe du guide a-ULRSPP et du miroir à plasmon.

## 2. DEVELOPPEMENT DE LA METHODE DE FABRICATION

La fabrication des guides d'ondes a-ULRSPP droits a été mise au point dans un premier temps sans y intégrer le miroir. Après dépôt de la première couche de polymère SU-8 servant de gaine diélectrique inférieure, l'or est déposé par évaporation thermique. Une lithographie UV avec la résine AZ 701 MiR diluée structure le masque, et l'or est ensuite gravé par plasma d'argon. La couche supérieure en SU-8 vient compléter la structure. L'or fait  $\sim 20$  nm d'épaisseur et la résine AZ 701 MiR, qui sert à la fois de masque de gravure et de sur-structure dans l'empilement a-ULRSPP fait  $\sim 40$  nm d'épaisseur après gravure. Différents polymères peuvent servir de gaine mais la couche d'or doit avoir une adhérence suffisante sur le matériau. Pour cela un traitement de surface s'avère souvent nécessaire. Nous utilisons pour ce faire une étape de silanisation avec un silane-thiol.

Afin de tendre vers l'objectif d'un miroir à faible pertes, nous avons développé une méthode de fabrication originale, menant à une bonne efficacité de réflexion, qui dépend à la fois de la qualité surfacique du plan miroir, de sa verticalité et du positionnement précis des guides d'entrée et de sortie par rapport au miroir. Notre méthode permet d'insérer les cœurs or/résine au sein des deux couches de la gaine en SU-8 en même temps que de structurer au travers de ces couches le prisme d'air faisant office de miroir. Nous utilisons 2 étapes de lithographie UV, la deuxième définissant la face du prisme servant de miroir. Le développement n'a lieu qu'à la fin du processus. Entre ces deux étapes est inséré le groupe d'étapes permettant de déposer les guides or/résine AZ sur la couche inférieure, à savoir le dépôt d'or, la lithographie de la résine AZ et la gravure de l'or, sans étape de retrait de la résine. Nous obtenons un prisme développé avec une face verticale plane à travers les deux couches de SU-8. Des couches de plus de  $10\text{ }\mu\text{m}$  d'épaisseur sont nécessaires afin d'englober le mode plasmon dont la largeur à mi-hauteur est de 5 à  $10\text{ }\mu\text{m}$ . La résine SU-8 3035 est un très bon choix pour cette réalisation, car elle permet des rapports d'aspect très élevés et son absorption optique à  $1550\text{ nm}$  est assez basse permettant des distances de propagation du mode ULRSPP de plusieurs millimètres. La vue en coupe de la puce fabriquée montre la face du miroir (fig.2).

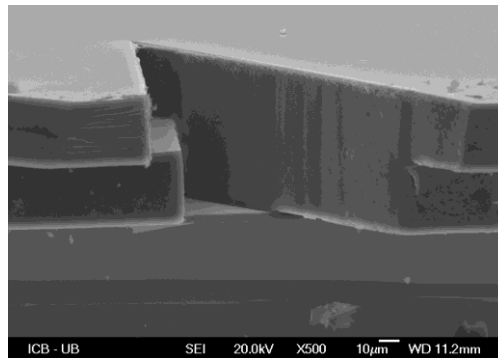


Fig. 2 : Coupe du composant à travers le prisme d'air, montrant la facette du miroir à plasmon (MEB).

## 3. CARACTERISATION OPTIQUE

La caractérisation optique est faite avec une source laser à  $1.55\text{ }\mu\text{m}$ , un contrôleur de polarisation et des fibres SMF28 clivées, positionnées grâce à des déplacements micrométriques en butt-coupling sur l'échantillon. Le mode guidé est observé avec un microscope équipé d'une caméra infrarouge. Dans un premier temps les caractéristiques des guides droits sans miroir intégré sont déduites des mesures de pertes par la méthode de cut-back, pour des largeurs de guides variant entre 5 et  $12.5\text{ }\mu\text{m}$ . Les valeurs obtenues sont comprises entre 0.6 et 1.3 dB/mm en propagation et entre 2 et 7 dB par facette en perte de couplage, comme rapporté dans la figure 3.

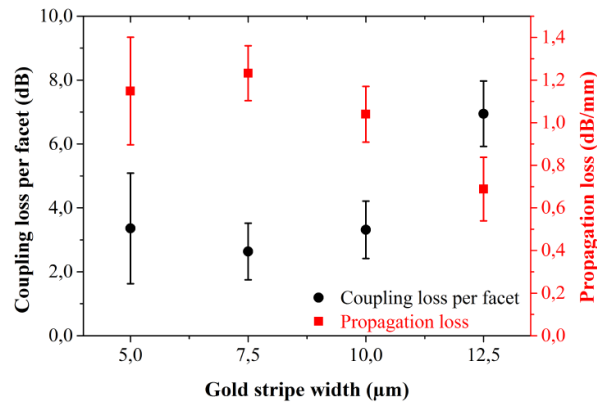


Fig. 3 : Guides droits ULRSP : Résultats de pertes par la méthode de cut-back.

La largeur des guides est fixée à 5  $\mu\text{m}$  pour la réalisation des guides avec miroir à plasmon. La fig. 4 montre que la réflexion fonctionne effectivement, le mode se propageant dans le guide de sortie perpendiculaire sur une distance appréciable. Cependant, de la lumière est également diffusée hors du guide, on observe que la diffusion illumine par endroits les guides adjacents. Nous pensons que cela est dû à un alignement non-optimal du guide de sortie par rapport à la position du miroir et qu'une étude plus poussée du design de masques pourrait résoudre cette difficulté. La perte par réflexion qui n'a pu être mesurée pourra être estimée avec un design optimisé.

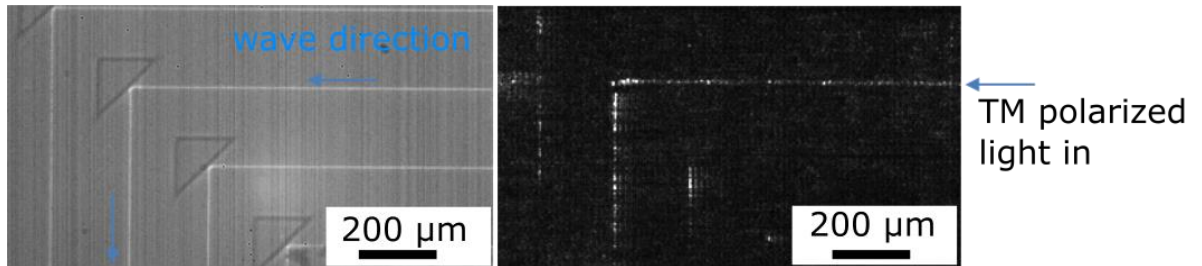


Fig. 4 : Observation du composant final. Gauche : image en lumière blanche. Droite : image infrarouge à 1.55  $\mu\text{m}$  du mode se propageant et réfléchi sur le miroir à plasmon.

## CONCLUSION

La démonstration expérimentale faite de la réflexion d'un mode plasmon se propageant dans des guides plasmoniques dits « ultra-long range » ouvre des perspectives d'utilisation de ce type de technologie comme interconnexion à angle droit dans les systèmes de communication à haut débit.

## REFERENCES

- [1] P. Berini, "Plasmon-polariton waves guided by thin lossy metal films of finite width: Bound modes of asymmetric structures", *Phys. Rev. B*, vol. 63, 125417 (2001).
- [2] J. Guo and R. Adato, "Extended long range plasmon waves in finite thickness metal film and layered dielectric materials" *Opt. Express* 14, 12409 (2006).
- [3] C. G. Durfee, et al. "Metal-oxide-semiconductor-compatible ultra-long-range surface plasmon modes." *J. Appl. Phys.*, 103, 113106 (2008).
- [4] <https://phoxtrot.eu/>
- [5] C. Vernoux, et al. "Flexible long-range surface plasmon polariton single-mode waveguide for optical interconnects" *Opt. Mater. Express.*, vol. 8, pp. 469–484 (2018).