

ÉTUDE ET CARACTÉRISATION EXPÉRIMENTALE DE PLASMONS DE SURFACE CONFINÉS PAR DES GUIDES D'ONDES DIÉLECTRIQUES

Sébastien Massenot, Alexandre Bouhelier, Gérard Colas des Francs, Jonathan Grandidier, Laurent Markey, Jean-Claude Weeber et Alain Dereux

*Institut Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne,
9 Av. A. Savary, BP 47 870, F-21078 DIJON Cedex, FRANCE*

sebastien.massenot@u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cet article est de présenter l'étude de plasmons de surfaces se propageant le long d'un film d'or et confinés par des guides d'ondes diélectriques en polymère. De tels guides de dimensions submicroniques peuvent être potentiellement utilisés pour propager des informations sur des distances de quelques dizaines de microns. Les propriétés de ces guides sont étudiées théoriquement et expérimentalement en utilisant notamment la technique de microscopie à pertes radiatives.

MOTS-CLEFS : *nanophotonique; plasmons de surface; guides d'ondes diélectriques*

1. INTRODUCTION

La forte demande en bande passante requise par les systèmes d'informations observée ces dernières années a augmenté considérablement l'intérêt porté aux composants d'optique intégrée. Il est bien connu que ces composants voient leurs dimensions minimales fixées par la limite de diffraction et les solutions permettant d'obtenir des fonctions miniaturisées sont principalement l'emploi de structures à fort contraste d'indice (type SOI) ou l'utilisation du domaine de la nano-optique prenant en compte la présence des ondes évanescentes. La plasmonique, domaine s'intéressant à la propagation d'ondes de surface entre un diélectrique et un métal, a l'avantage d'intégrer ces deux solutions [1] puisque le fort contraste d'indice est obtenu avec la présence du métal et que le plasmon est fortement confiné le long de l'interface métal / diélectrique (quelques dizaines de nanomètres au dessus de la surface). Ce sont notamment ces deux points qui ont augmenté l'intérêt porté aux plasmons de surface depuis la fin des années 1990 pour être un moyen potentiel de transport des informations. Par contre, les plasmons présentent deux principaux défauts que sont leur forte dépendance en polarisation et les pertes de propagation dues à la présence du métal, non compatibles avec les critères classiques des télécommunications optiques. Ces désavantages peuvent être considérés comme moins pertinents s'ils sont destinés à des applications spécifiques notamment en début de chaîne d'émission dans les domaines des datacoms et du réseau d'accès.

Pour pouvoir contrôler la propagation d'un plasmon de surface le long d'un film métallique, il faut pouvoir notamment les confiner latéralement et ceci peut être réalisé par l'emploi d'un guide diélectrique (voir Fig.1). Ces guides peuvent être réalisés en utilisant les techniques classique de la micro-électronique (dépôt de couches minces et photolithographie UV). De plus, l'utilisation d'un polymère comme milieu diélectrique permet de le doper avec des substances actives (chromophores, particules fluorescentes par exemple) permettant ainsi d'obtenir des fonctions reconfigurables. Le but de cette contribution est de présenter les pro-

priété et la caractérisation de tels guides.

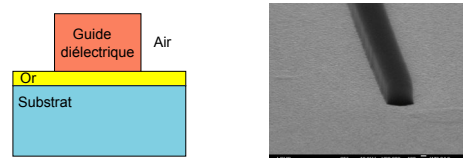


FIG. 1 : Schéma de principe et image MEB d'un guide diélectrique permettant de confiner un plasmon de surface (les dimensions du guide sont approximativement 600 nm × 600 nm).

2. MODÉLISATION

Une adaptation de la méthode différentielle [2] bien connue dans l'analyse des réseaux de diffraction a permis de simuler la réponse de ces guides et de déterminer leurs paramètres pertinents que sont la constante de propagation complexe (la partie imaginaire est à prendre en compte à cause des pertes ohmiques et radiatives du plasmon, elle est reliée directement à la distance d'atténuation à 1/e du mode guidé), le profil de mode et son confinement. De très bons accords ont été obtenus en comparant avec des résultats fournis avec la méthode de l'indice effectif ou des éléments finis [3]. On peut apercevoir sur la figure 2.a que nous avons bien un mode de surface avec un facteur de confinement de 72%. Nous obtenons comme résultats un indice effectif $n_{eff} = 1.29$ et une distance d'atténuation du mode à 1/e de $L_{\alpha} = 44 \mu m$.

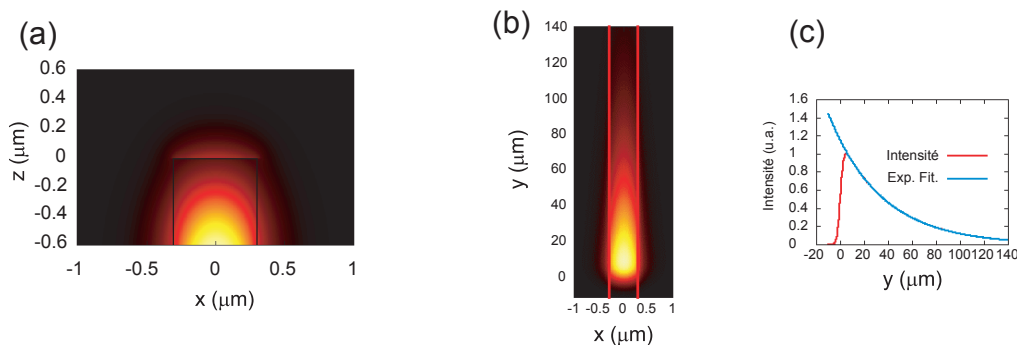


FIG. 2 : Profil de mode (a), imagerie de la propagation du plasmon le long du guide (b) et illustration de la décroissance exponentielle de l'intensité du mode guidé (c). Les dimensions du guide sont $600 \text{ nm} \times 600 \text{ nm}$, le film d'or est épais de 100 nm et $\lambda = 1550 \text{ nm}$.

3. CARACTÉRISATION PAR MICROSCOPIE À PERTES RADIATIVES

Ces guides sont caractérisés par la technique dite de microscopie à pertes radiatives [4] (voir Fig.3). Le mode guidé est excité dans une configuration ATR ("Attenuated Total Reflexion" similaire au couplage par prisme classique) et les pertes radiatives que le mode guidé va subir au cours de sa propagation vont être collectées par un objectif à immersion d'huile (ouverture numérique de 1.49). Ces pertes, bien qu'associées à un mode évanescent sont radiatives dans le substrat, elles contiennent les propriétés intrinsèques du mode guidé et sont exploitables en champ lointain (ce qui permet d'éviter une mesure champ-proche plus lourde à mettre en oeuvre). L'observation simultanée du plan d'imagerie et du plan de Fourier du microscope permet de respectivement mesurer les parties imaginaire et

réelle de l'indice effectif du mode guidé.

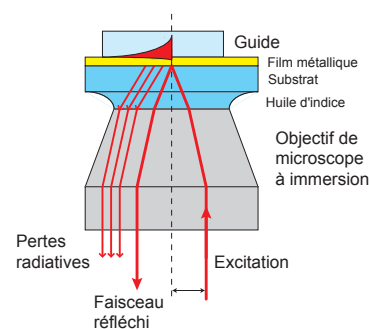


FIG. 3 : Principe de la mesure des pertes radiatives d'un mode plasmon à l'aide d'un objectif de microscope à immersion d'huile.

4. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Les guides étudiés sont en PMMA et ont été réalisés par lithographie à faisceau d'électrons. Le mode guidé a été excité par diffusion sur un défaut du guide à l'aide d'un second objectif de microscope

placé au-dessus du guide. La figure 4.a montre une image optique du guide ainsi que la position du spot d'excitation. Les figures 4.b et 4.c correspondent respectivement au plan d'imagerie où l'on voit la décroissance du mode guidé et au plan de Fourier. Trois informations sont présentes dans ce plan de Fourier : le disque central correspond à l'ouverture numérique de l'objectif d'excitation, le cercle lumineux correspond au plasmon Métal / air du film d'or seul et les deux traits horizontaux sont la signature de deux modes guidés contra-propagatifs (un seul est représenté sur la Fig.4.b). La mesure de la position de ces traits va nous donner la partie réelle de l'indice effectif du mode guidé. Les résultats obtenus à partir de ces images sont $n_{eff} = 1.08 \pm 0.03$ (n_{eff} Th.=1.095) et $L_\alpha = 4.8 \pm 0.5 \mu m$ (L_α Th.= $5.2 \mu m$), d'où un accord plutôt bon entre la théorie et l'expérience.

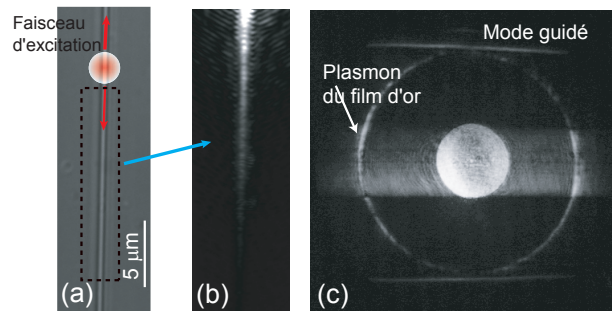


FIG. 4 : Caractérisation par microscopie à pertes radiatives d'un guide de largeur 350 nm et de hauteur 300 nm, l'épaisseur du film d'or est de 50 nm et $\lambda=632.8$ nm.

Une étude spectrale dans le très proche-infrarouge a été réalisée sur un autre guide de largeur 240 nm et de hauteur 330 nm en utilisant un laser titane saphir, les mesures de longueurs de propagation L_α en fonction de la longueur d'onde sont indiquées sur la figure 5. Un bon accord entre la théorie (M.D.) et l'expérience est également observé.

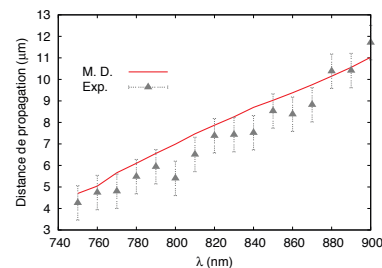


FIG. 5 : Mesure de la longueur de propagation L_α du mode guidé en fonction de λ .

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les principales propriétés de guides d'ondes diélectriques déposés sur un film métallique ont été étudiées. Un bon accord a été observé entre les résultats fournis par microscopie à pertes radiatives et la méthode différentielle. Des travaux sont en cours sur la caractérisation en champ proche dans la bande C des télécommunications sur des guides diélectriques déposés sur des pistes métalliques de largeurs finies où des distances de propagation plus élevées sont attendues dans ce domaine spectral.

RÉFÉRENCES

- [1] W. Barnes, A. Dereux, and T. Ebbesen, "Surface plasmon subwavelength optics," *Nature*, vol. 424, pp. pp. 824–830, Août 2003.
- [2] M. Nevière and E. Popov, *Light Propagation in Periodic Media, Differential Theory and Design*. New York : Marcel Dekker Inc., 2003.
- [3] T. Holmgaard and S. Bozhevolnyi, "Theoretical analysis of dielectric-loaded surface plasmon-polariton waveguides," *Phys. Rev. B*, vol. 75, p. 245405, 2007.
- [4] B. Hecht, H. Bielefeldt, L. Novotny, Y. Inouye, , and D. Pohl, "Local excitation, scattering, and interference of surface plasmons," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 77, no. 9, p. 1889, 1996.