



## Écriture laser femtoseconde de guides d'ondes proches de la surface pour la détection évanescence d'indice de réfraction

Alain Abou Khalil, Philippe Lalanne, Jean-Philippe Bérubé, Sylvain Danto, Thierry Cardinal, Yannick Petit, Réal Vallée, Lionel Canioni

### ► To cite this version:

Alain Abou Khalil, Philippe Lalanne, Jean-Philippe Bérubé, Sylvain Danto, Thierry Cardinal, et al.. Écriture laser femtoseconde de guides d'ondes proches de la surface pour la détection évanescence d'indice de réfraction. Optique 2021 : Congrès de la SFO - 8ème édition, Société Française d'Optique, Jul 2021, Dijon, France. <hal-04728141>

**HAL Id: hal-04728141**

**<https://hal.science/hal-04728141v1>**

Submitted on 9 Oct 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

# ÉCRITURE LASER FEMTOSECONDE DE GUIDES D'ONDES PROCHES DE LA SURFACE POUR LA DETECTION EVANESCENTE D'INDICE DE REFRACTION

Alain Abou Khalil,<sup>1,2</sup> Philippe Lalanne,<sup>3</sup> Jean-Philippe Bérubé,<sup>2</sup> Sylvain Danto,<sup>4</sup> Thierry Cardinal,<sup>4</sup> Yannick Petit,<sup>1,4</sup> Réal Vallée<sup>2</sup> and Lionel Canioni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Bordeaux, CNRS, CEA, CELIA, UMR 5107, F-33405 Talence, France

<sup>2</sup>Centre d'optique, Photonique et Laser (COPL), 2375 Rue de la Terrasse, Université Laval, Québec G1V A06, Canada

<sup>3</sup>Laboratoire Photonique, Numérique et Nanosciences (LP2N), IOGS, Université de Bordeaux, CNRS, 33400 Talence cedex, France

<sup>4</sup>Université de Bordeaux, CNRS, ICMCB, UPR 9048, F-33608 Pessac, France

[yannick.petit@u-bordeaux.fr](mailto:yannick.petit@u-bordeaux.fr)

## RÉSUMÉ

En utilisant la technique d'écriture laser femtoseconde, des guides d'ondes proches de la surface ont été directement écrits dans des verres contenant de l'argent. Un capteur d'indice de réfraction ultra-sensible présentant une nouvelle caractéristique de double résonance a été fabriqué dans une puce de verre de 1 cm.

**MOTS-CLEFS:** *surface waveguide, evanescent sensing, femtosecond laser inscription*

## 1. INTRODUCTION

L'écriture laser femtoseconde (fs LW) est une technique bien établie pour la création de composants optiques 3D dans des substrats transparents tels que des verres. Cependant, la plupart des composants optiques écrits sont intégrés à l'intérieur des verres et seuls quelques travaux ont été rapportés pour l'écriture de guides d'ondes près de la surface du verre en raison de l'ablation du verre qui se produit en atteignant la surface du verre [1]. Jusqu'à présent, cela a principalement interdit l'interaction de la lumière avec le milieu extérieur et limité les applications de détection. Dans cet article, en tirant parti du régime à faible énergie d'impulsion en dessous du seuil d'ablation [2], nous rapportons la capacité d'écrire des guides d'ondes proches de la surface à base d'argent de «type A» [2,3] sans traitement supplémentaire (ce qui n'est pas le cas de la modification bien connue de type I) ainsi que la création d'un indice de réfraction ultra-sensible dans une puce de verre de 1 cm. Enfin, nous présentons également une nouvelle approche théorique pour simuler le comportement d'un tel capteur d'indice de réfraction (RI)

## 2. RESULTATS

### 2.1. Guides d'onde en surface

Suivant une approche en escalier, des séries de guides d'ondes proches de la surface de 1 cm à différentes profondeurs de la surface (Fig. 1.a) dans du verre contenant de l'argent ont été écrites en utilisant la technique fs LW. Les guides d'ondes en forme de S étaient composés de 5 mm de longueur à proximité de la surface du verre et agissant comme une région de détection comme le montre la figure 1.b. La facette de sortie du verre sous un éclairage en lumière blanche montre la vue latérale des guides d'ondes proches de la surface à différentes profondeurs (Fig. 1.c.). Tous les guides d'ondes proches de la surface présentent un processus d'écriture très continu (typique de la morphologie de type A [2,3]) où aucune ablation ni fissures du verre n'ont été observées à la fois des vues de côté et de dessus, par rapport au guide d'onde bien intégré inscrit 32  $\mu\text{m}$  sous la surface du verre servant de référence comme le montre la Fig. 1.c.

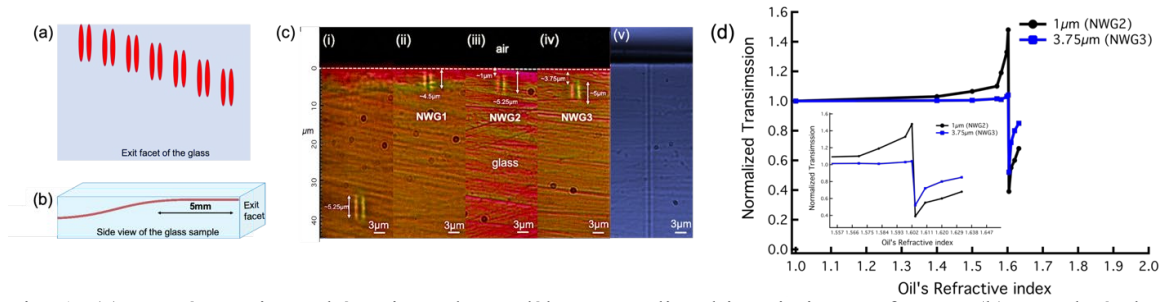


Fig. 1. (a) Représentation schématique du modèle en escalier d'inscription en fs LW. (b) Vue latérale de l'échantillon d'un guide d'onde ascendant proche de la surface. (c) Images en champ clair de la face de sortie pour: (i) un guide d'onde bien intégré inscrit à 32  $\mu\text{m}$  sous la surface; (ii) NWG1, guide d'onde écrit sur la surface du verre; (iii) NWG2, guide d'onde à 1  $\mu\text{m}$  sous la surface du verre; (iv) NWG3, guide d'ondes à 3,75  $\mu\text{m}$  sous la surface du verre; (v) vue de dessus d'une partie de guide d'ondes proche de la surface. (d) Transmission normalisée des valeurs expérimentales suite au dépôt de gouttelettes d'huile de 4 mm présentant des indices de réfraction différents pour le guide d'ondes proche de la surface NWG2 à 1  $\mu\text{m}$  de la surface (courbe noire) et NWG3 à 3,75  $\mu\text{m}$  de la surface (bleu courbe). NWG2 présente une réponse originale non standard avec une fonction à deux résonances. Encart: Gros plan sur la fonction à double résonance.

## 2.2. Capteur d'indice de réfraction et résultats théoriques

Sur la base des guides d'ondes proches de la surface, un capteur d'indice de réfraction (RI) a été créé dans une puce de verre de 1 cm. Deux guides d'ondes NWG2 et NWG3 ont été considérés, présentant des distances de la surface de 1 et 3,75  $\mu\text{m}$ , respectivement. Pour étudier la sensibilité de ces guides d'ondes, différentes huiles d'adaptation d'indice ont été déposées sur le dessus du verre couvrant 4 mm des parties proches de la surface du guide d'ondes. De manière surprenante, le guide d'ondes NWG2 a montré une double résonance inattendue caractérisée par une augmentation de la transmission de  $\sim 50\%$  pour un RI d'huile de 1.602, suivie ensuite d'une diminution brutale de la transmission de  $\sim 63\%$  pour un RI d'huile de 1.604 qui correspond à l'indice effectif du mode de propagation, comme le montre la figure 1.d. Ce comportement n'a pas été observé pour les guides d'ondes plus profonds, ce qui met en évidence l'effet de la proximité de la surface sur le comportement de détection. Enfin, un modèle théorique basé sur la solution complète des équations de Maxwell pour la propagation du champ électromagnétique a été proposé. Il est capable de simuler pour la première fois la fonction à double résonance, c'est-à-dire l'augmentation et la diminution de la transmission, comme le montre la figure 2, ce qui n'était pas possible en utilisant des modèles précédemment rapportés [4,5].

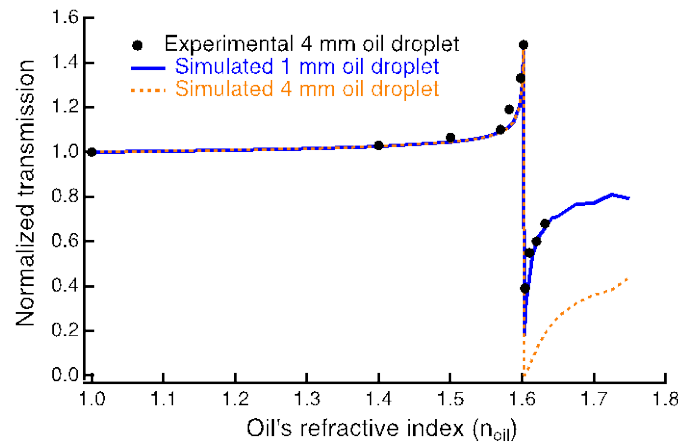


Fig. 2. Transmission normalisée simulée (bleue et orange respectivement pour les gouttelettes d'huile de 1 et 4 mm) et expérimentale (points noirs) du capteur d'indice de réfraction pour différents indices de réfraction de l'huile. La méthode théorique simule bien le comportement de notre capteur d'indice de réfraction avec l'augmentation et la diminution de la transmission.

### 3. CONCLUSION

Profitant du régime à faible énergie d'impulsion pour déclencher une modification de type A, les guides d'ondes proches de la surface ont été écrits dans des verres contenant de l'argent sans nécessiter de traitement supplémentaire alors que c'est le cas de la modification standard de type I dans les verres. Sur cette base, un capteur d'indice de réfraction ultra-sensible a été créé qui présentait une caractéristique inhabituelle à double résonance permettant une plage de détection étendue pour les indices de 1,4 (voire jusqu'à 1.33) à 1,7. Une nouvelle approche théorique basée sur la variation du profil de mode spatial se propageant à l'intérieur du guide d'ondes est proposée. Cette approche permet de simuler pour la première fois le comportement d'un tel capteur d'indice de réfraction. Enfin, les développements récents de réseaux de Bragg intégrés en volume supportés par une variation d'indice de type A permettent également d'envisager de futurs développements de sensibilités exaltées pour de tels capteurs d'indice de réfraction.

### REFÉRENCES

- [1] D. Liu, Y. Li, R. An, Y. Dou, H. Yang, and Q. Gong, "Influence of focusing depth on the microfabrication of waveguides inside silica glass by femtosecond laser direct writing," *Applied Physics A* 84, 257-260 (2006).
- [2] A. Abou Khalil, J.-P. Bérubé, S. Danto, T. Cardinal, Y. Petit, L. Canioni, and R. Vallée, "Comparative study between the standard type I and the type A femtosecond laser induced refractive index change in silver containing glasses," *Optical Materials Express* 9, 2640 (2019).
- [3] A. Abou Khalil, J. P. Berube, S. Danto, J. C. Desmoulin, T. Cardinal, Y. Petit, R. Vallee, and L. Canioni, "Direct laser writing of a new type of waveguides in silver containing glasses," *Sci Rep* 7, 11124 (2017).
- [4] L. Bilro, N. Alberto, J. L. Pinto, and R. N. Nogueira, "A simple and low-cost cure monitoring system based on a side-polished plastic optical fibre," *Measurement Science and Technology* 21, 117001 (2010).