

2015 CONFERENCES

Développement de capteurs en optique intégrée pour le proche et moyen infra-rouge

Pauline Girault¹, Aldo Gutierrez¹, Emeline Baudet², Nathalie Lorrain¹, Loïc Bodiou¹, Jonathan Lemaitre¹, Luiz Poffo¹, Mohammed Guendouz¹, Virginie Nazabal², Christiane Carré¹, Bruno Bureau², Michel Gadonna¹, Isabelle Hardy¹, Joël Charrier¹ et Dominique Bosc¹

Joel.charrier@univ-rennes1.fr

¹ Université européenne de Bretagne, CNRS, Laboratoire FOTON, UMR 6082, ENSSAT, BP 80518, 22305 Lannion Cedex, France

² Institut des Sciences Chimiques de Rennes, UMR-CNRS 6226, Equipe Verres et Céramiques, Université de Rennes 1, 35042 Rennes, France

CAPTEURS EN OPTIQUE INTEGREE

RÉSUMÉ

Des dispositifs en optique intégrée à base de matériaux spécifiques que sont les polymères, les matériaux poreux (silicium poreux et silice poreuse) et les verres de chalcogénures sont réalisés pour démontrer des applications de capteurs dans les domaines sociétaux de la santé et de l'environnement. Ces circuits intégrés sont utilisés dans des intervalles de longueurs d'onde allant du proche infra-rouge jusqu'au moyen infra-rouge.

MOTS-CLEFS: *circuits optiques intégrés, polymères, silicium poreux, chalcogénures*

1. INTRODUCTION

Le développement de micro-capteurs en optique intégrée est aujourd'hui un enjeu majeur pour la détection de molécules dans les domaines sociétaux tels que ceux de l'environnement et de la santé [1, 2]. Ces capteurs intégrés peuvent être utilisés dans des gammes de longueurs d'onde allant du visible au moyen infrarouge suivant l'application visée. Notamment, le moyen infrarouge ($4000-400\text{ cm}^{-1}$) contient une grande majorité des absorptions dues aux vibrations des molécules (bio)-chimiques. L'un des objectifs est donc d'élaborer des capteurs plus sélectifs, plus sensibles et plus compacts que ceux déjà présents sur le marché. Sur la base de la technologie en optique intégrée, des capteurs optiques sont fabriqués, dans notre laboratoire, à base de matériaux spécifiques que sont les polymères, les matériaux poreux (silicium poreux et silice poreuse) et les verres de chalcogénures. Les structures développées sont notamment des micro-résonateurs en anneau [3] et des guides à onde évanescente dans la perspective d'utiliser ces dispositifs dans des architectures plus originales. La palette de ces matériaux permet d'une part de travailler dans des intervalles de longueurs d'onde allant du proche infra-rouge jusqu'au moyen infra-rouge et d'autre part d'utiliser des techniques de détection en surface ou en volume permettant d'obtenir de meilleures sensibilités.

2. CAPTEURS EN OPTIQUE INTEGREE DEVELOPPES

Des micro-résonateurs en anneau dédiés aux applications de détection ont été fabriqués et étudiés dans le proche infra-rouge. Leur structure est constituée d'une couche guidante en SU8 et d'une couche de confinement en polymère de bas indice (appelée PMATRIFE). Des études préliminaires sur la structure du guide d'onde ont été réalisées à partir des indices de réfraction des polymères. En utilisant ces résultats, une

2015 CONFERENCES

étude théorique du couplage entre le micro-résonateur et les guides d'onde a permis de définir la conception géométrique du transducteur en tenant compte notamment de l'évolution de l'indice de réfraction du superstrat constitué de la solution à détecter. Le capteur intégré, constitué d'un guide d'accès et du micro-résonateur en anneau, a été fabriqué par photolithographie classique UV avec un espacement minimum de 500 nm (figures 1a-d). Différents superstrats tels que l'air, de l'eau désionisée, seule ou avec différentes concentrations de glucose solubilisé ont été étudiés expérimentalement. Les premiers résultats montrent un bon contraste de transmission normalisé égal à 98%, un facteur de qualité d'environ $1,5 \cdot 10^4$ correspondant à un taux de couplage de 14,7% et des pertes optiques dans l'anneau autour de 5 dB/cm. Pour les différentes concentrations de glucose, nous avons obtenu une réponse spectrale du micro-résonateur (figure 1e) avec une sensibilité égale à $115 \pm 8 \text{ nm/RIU}$ @ 1550 nm $122,5 \pm 5,5 \text{ nm / RIU}$.

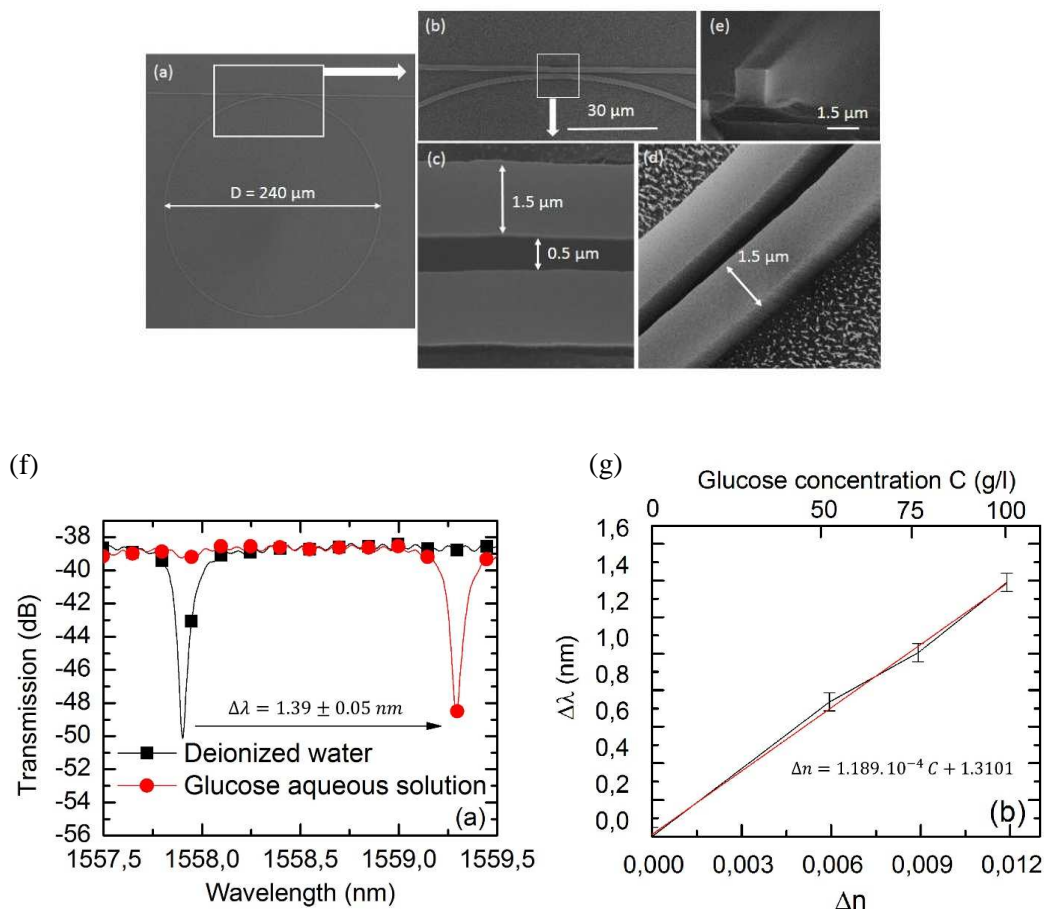


Figure 1: (a) à (e) Images MEB de guides de type ruban et de micro-résonateur en SU8/PMATRIFE avec un gap de 500 nm. (f) Réponse spectrale du capteur intégré sans et avec glucose de concentration égale à 100 g/l : spectres de transmission expérimentaux et (g) courbe de la déviation en longueur d'onde de la résonance ($\Delta\lambda$) en fonction du changement d'indice (Δn) associé à la concentration de glucose.

A partir de cette étude préliminaire et afin de développer des capteurs intégrés ultra-sensibles en augmentant l'interaction onde-matière dans la structure résonante, des études sont en cours pour réaliser des micro-résonateurs en matériaux poreux. L'objectif est de gagner près d'un ordre de grandeur par rapport à l'état de l'art en développant une nouvelle technologie hybride silicium poreux/polymères.

En parallèle, un micro-capteur optique en verres de chalcogénures est développé dont le principe repose sur la détection, par onde évanescente, de molécules ayant des bandes d'absorption dans le moyen infra-rouge (MIR). Les verres de chalcogénures semblent particulièrement appropriés pour cette application de capteur optique [4] ; en effet, ils présentent un large domaine de transparence (2-15 μm pour les verres de sélénure) et des indices de réfraction élevés (entre 2 et 3) permettant d'envisager la fabrication de

2015 CONFERENCES

composants optiques à fort contraste d'indices dans le domaine du MIR [5]. Pour cette étude, deux molécules polluantes telles que le toluène et le diuron, ayant une signature caractéristique intéressante à 6.3 et 7.8 μm ont été choisies.

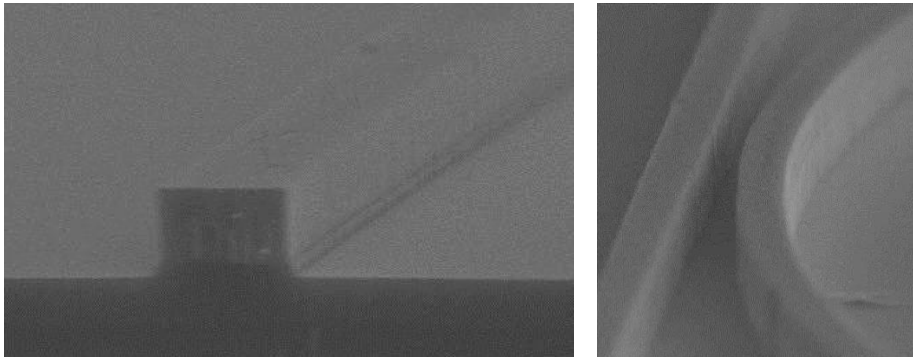


Figure 2: Images MEB de guides de type ruban (a) et de micro-résonateur en anneau (b) en verres de chalcogénures.

Le micro-capteur est constitué d'un guide de type ruban (Figure 2a) formé de deux couches de chalcogénures dont les indices de réfraction dépendent de la constitution de la couche. Dans le MIR, ces indices sont respectivement égaux à 2.8 et 2.5 pour les couches guidante et de confinement. Les dimensions géométriques du guide ont été optimisées pour obtenir un comportement monomodal, pour éviter les modes radiatifs, et enfin pour obtenir une sensibilité maximale en favorisant un taux de recouvrement optimal de l'onde évanescente pour la détection de molécules. D'autres structures de micro-capteurs en verres de chalcogénures, basées sur les micro-résonateurs en anneaux, sont également développées dans l'infra-rouge (Figure 2b).

3. CONCLUSION

Dans ce travail, la réalisation de capteurs intégrés à base de matériaux spécifiques en tenant compte de leurs propriétés physiques et optiques, a été démontrée. L'ensemble de ces résultats ainsi que de nouvelles mesures optiques dans le MIR seront présentés.

RÉFÉRENCES

- [1] X. Fan, I. M. White, S. I. Shopova, H. Zhu, J.D. Suter, Y. Sun, *Analytica Chimica Acta*. 620, 8, (2008).
- [2] Y. Sun and X. Fan, *Optics expressed* 16, 10254, (2008).
- [3] W. Bogaerts, et al., *Laser Photonics Rev.* 6, 47, (2012).
- [4] Y. Chen et al., *ACSNano*, 8, 6955 (2014).
- [5] P. Němec et al., *Thin Solid Films*, 539, 226 (2013).