

Micro-résonateurs intégrés pour des applications capteurs

Pauline Girault, Nathalie Lorrain, Luiz Poffo, Mohammed Guendouz, Jonathan Lemaitre, Christiane Carré, Michel Gadonna, Dominique Bosc, Guillaume Vignaud

▶ **To cite this version:**

Pauline Girault, Nathalie Lorrain, Luiz Poffo, Mohammed Guendouz, Jonathan Lemaitre, et al.. Micro-résonateurs intégrés pour des applications capteurs. Optique Bretagne 2015 - 35ème Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG'35), Jul 2015, Rennes, France. hal-01588475

HAL Id: hal-01588475
https://hal.science/hal-01588475

Submitted on 15 Sep 2017

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.

MICRO-RESONATEURS INTEGRES POUR DES APPLICATIONS CAPTEURS

Pauline Girault[1], Nathalie Lorrain[1], Luiz Poffo[1], Mohammed Guendouz[1], Jonathan Lemaitre[1], Christiane Carré[1], Michel Gadonna[1], Dominique Bosc[1], Guillaume Vignaud[2]

[1] *UMR FOTON, CNRS, Université de Rennes 1, Enssat, F22305, Lannion, France*

[2] *Université Bretagne-Sud, EA 4250, LIMATB, F56100, Lorient, France*

pgirault@enssat.fr

RÉSUMÉ

Les micro-résonateurs sont devenus des éléments clés de la conception de capteurs optiques intégrés grâce à leur grande capacité d'intégration. Ils sont aussi facilement réalisables par un procédé à bas coût avec des matériaux polymères. Dans ce contexte, des micros-résonateurs intégrés sur substrat de silicium ont été fabriqués et étudiés pour des applications capteurs. Ces capteurs ont été mis en œuvre avec des matériaux polymères, la SU8 pour le cœur et le PMATRIFE pour la gaine inférieure. Différents superstrats comme l'eau et l'eau glucosée avec différentes concentrations de glucose ont été étudiés. Une sensibilité de 115 nm/RIU à 1.55 µm a été obtenue lors des premières expériences de détection réalisées.

MOTS-CLEFS : *micro-résonateur, capteur optique, polymères*

1. INTRODUCTION

Les capteurs optiques biologiques et chimiques sont l'objet de sujets de recherche très actifs en raison de l'intérêt croissant qu'on leur porte dans de nombreux domaines comme la santé, l'agroalimentaire ou encore la défense [1]. Parmi les capteurs optiques, les micro-résonateurs permettent de réaliser des structures très sensibles, miniaturisées, s'intégrant dans des systèmes « lab-on-chip » [2], ce qui permet aussi de réduire le volume des molécules à détecter. La majorité des micro-résonateurs utilisent la propagation lumineuse dans la structure guidante et résonante, composée d'une cavité résonante en anneau couplée à un guide d'onde rectiligne servant d'entrée et de sortie à la lumière d'excitation et d'extraction des modes guidés. Cette propagation est modifiée lorsque le superstrat est modifié par la présence de molécules. Les capteurs optiques utilisent l'onde évanescente pour la détection de molécules, soit greffées à la surface du micro-résonateur (détection surfacique), soit réparties de manière homogène dans le milieu de détection en contact avec le micro-résonateur (détection homogène). L'interaction entre les molécules introduites et l'onde évanescente induit un décalage spécifique de la longueur d'onde de résonance, noté $\Delta\lambda$, dû à la variation de l'indice de réfraction du superstrat n_{sp}. La sensibilité du capteur est définie par $S = \Delta\lambda/\Delta n_{sp}$ et est exprimée en nm/RIU.

Le contexte de ce travail est de réaliser des capteurs optiques à base de micro-résonateurs très sensibles et facilement intégrables. Nous présentons une étude préliminaire sur des micro-résonateurs polymères fabriqués à partir de SU8 pour le cœur et de PMATRIFE pour la gaine inférieure. Aucun superstrat de polymère n'a été déposé sur le micro-résonateur pour permettre le dépôt de différents superstrats comme l'eau ou l'eau avec différentes concentrations de glucose afin de réaliser une étude de détection, contrairement à une étude précédente où les micro-résonateurs étaient utilisés pour une application dans les télécommunications optiques avec un superstrat de polymère [3].

Les spectres de transmission ont été expérimentalement obtenus pour des micro-résonateurs avec différents superstrats. Ils sont présentés et ajustés avec les transmissions théoriques afin de déterminer l'indice de groupe, le taux de couplage et les pertes de propagation dans l'anneau.

Le design utilisé pour ces micro-résonateurs est décrit et les premiers résultats de détection homogène avec des solutions aqueuses de différentes concentrations de glucose sont présentés.

2. DESIGN

La vue de dessus et la vue en coupe des guides d'onde avec les dimensions choisies sont présentées sur la Figure 1. Une propagation monomodale du mode guidé est nécessaire dans le micro-résonateur. Pour cela, en tenant compte des indices des matériaux de cœur et de gaine inférieure, un guide de largeur 1.5 µm et de hauteur 1.5 µm a été choisi.

Afin de pouvoir négliger les pertes par courbure, nous avons choisi un rayon de 120 µm. La cavité résonante et le guide rectiligne sont séparés par une distance appelée gap. Des gaps submicroniques de 0.5 µm à 1 µm dans la limite de résolution de 0.4 µm ont été étudiés. Des observations par microscopie électronique à balayage du micro-résonateur ont été effectuées afin de vérifier que les dimensions obtenues lors de la conception par photolithographie du micro-résonateur ont été celles souhaitées. Le gap de 0.5 µm est bien défini. De plus, les flancs de gravures sont satisfaisants.

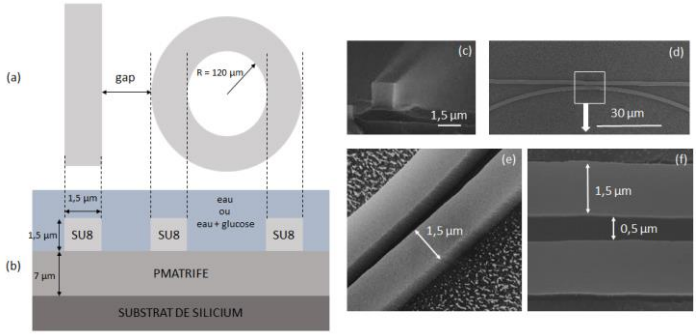


Fig. 1 : Schéma vue du dessus (a) et vue en coupe (b) d'un micro-résonateur en anneau simple. Images MEB des vues de la zone de couplage : en coupe du guide d'onde (c), de dessus (d), tiltée (e) et à plus fort grossissement (f).

3. CARACTERISATION OPTIQUE

Pour caractériser optiquement les micro-résonateurs, une source accordable autour de 1.55 µm est injectée à l'entrée du guide. Les réponses spectrales ont été mesurées sur un analyseur de spectre après couplage dans l'anneau.

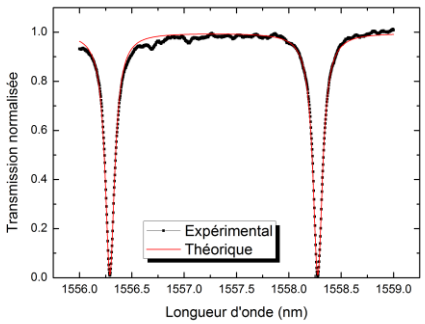


Fig. 2 : Spectres de transmission expérimental et théorique, obtenus pour un gap de 0.5 µm pour un micro-résonateur avec de l'eau en superstrat.

L'ajustement des spectres expérimentaux (Figure 2) a permis de déterminer les valeurs de différents paramètres. Pour ce micro-résonateur, avec de l'eau en superstrat, un taux de couplage,

du guide rectiligne vers l'anneau et inversement, de 14.7 %, des pertes de propagation dans l'anneau de 5.55 dB/cm, un indice de groupe de 1.61 RIU, un bon contraste de transmission C , défini par $T_{max} - T_{min}$, de 0.98, un facteur de qualité Q de 15000 et un ISL de 2 nm ont été obtenus.

4. APPLICATION CAPTEUR

Notre objectif est d'utiliser le micro-résonateur comme capteur optique. Pour cela et afin de déterminer la sensibilité du système pour une détection homogène, nous avons utilisé des solutions avec différentes concentrations de glucose introduites sur le micro-résonateur à l'aide d'une micro-seringue. La gamme de concentration de 0 g/L à 100 g/L permet d'avoir un décalage qui ne dépasse pas l'ISL. Les spectres de transmission expérimentaux obtenus avec de l'eau puis de l'eau avec 100 g/L de glucose en superstrat sont reportés sur la Figure 3. Un décalage $\Delta\lambda$ vers le rouge de 1.39 nm a été mesuré. Cette expérience a été répétée pour différentes concentrations et la sensibilité S obtenue pour notre système est de 115 nm/RIU.

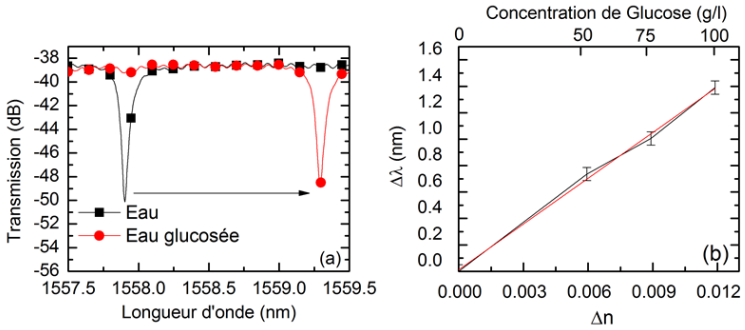


Fig. 3 : (a) Spectres de transmission expérimentaux pour les micro-résonateurs de gap 0.5 µm avec de l'eau et de l'eau avec 100 g/L de glucose comme superstrats. (b) Décalage $\Delta\lambda$ de la longueur d'onde en fonction de la variation de l'indice de réfraction du superstrat Δn_{sp} et de la concentration de glucose.

CONCLUSION

Cette étude avait pour but de réaliser et de caractériser un micro-résonateur avec des matériaux polymères (SU8 pour le cœur et PMATRIFE pour la gaine inférieure) comme capteur optique intégré. Des micro-résonateurs avec des gaps de 0.5 µm à 1 µm ont été réalisés par photolithographie et leurs caractéristiques satisfaisantes ont été démontrées, à savoir un taux de couplage de 14.7 %, des pertes de propagation dans l'anneau de 5.55 dB/cm et un indice de groupe de 1.61 RIU. Pour ce micro-résonateur, un contraste de transmission C de 0.98, un facteur de qualité Q de 15000 et un ISL de 2 nm ont été obtenus. Pour cela, des solutions avec différentes concentrations de glucose ont été étudiées et une sensibilité de 115 nm/RIU est obtenue avec un micro-résonateur dont la fabrication est maitrisée au sein du labo.

RÉFÉRENCES

[1] X. Fan, I. M. White, S. I. Shopova, H. Zhu, J.D. Suter, and Y. Sun, "Sensitive optical biosensors for unlabeled targets: a review," Analytica Chimica Acta., vol. 620, pp. 8-26, 2008.

[2] C. F. Carlborg, K. B. Gylfason, A. Kazmierczak, F. Dortu, M. J. Banuls Polo, A. Maquieira Catala, G. M. Kresbach, H. Sohlstrom, T. Moh, L. Vivien, J. Popplewell, G. Ronan, C. A. Barrios, G. Stemme, and W. van der Wijngaart," A packaged optical slot-waveguide ring resonator sensor array for multiplex label-free assays in labs-on-chips," Royal Society of Chemistry, vol 10, pp 257-396, 2010

[3] P. Girault, J. Lemaitre, M. Guendouz, N. Lorrain, L. Poffo, M. Gadonna, and D. Bosc, "Micro-resonators based on integrated polymer technology for optical sensing," SPIE Proceedings, Optical Sensing and Detection III, vol 9141, pp 76, 2014.