



HAL
open science

Effet vernier hybride polymere-silicium poreux pour des applications biocapteurs

Paul Azuelos, Pauline Girault, Nathalie Lorrain, Isabelle Hardy, Jonathan Lemaitre, Parastesh Pirasteh, Mohammed Guendouz, Monique Thual

► To cite this version:

Paul Azuelos, Pauline Girault, Nathalie Lorrain, Isabelle Hardy, Jonathan Lemaitre, et al.. Effet vernier hybride polymere-silicium poreux pour des applications biocapteurs. 37^e Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2017), Jul 2017, Limoges, France. hal-01588511

HAL Id: hal-01588511

<https://hal.science/hal-01588511v1>

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.

EFFET VERNIER HYBRIDE POLYMERE-SILICIUM POREUX POUR DES APPLICATIONS BIOCAPTEURS

Paul Azuelos¹, Pauline Girault¹, Nathalie Lorrain¹, Isabelle Hardy², Jonathan Lemaitre¹, Parastesh Pirasteh¹, Mohammed Guendouz¹, Monique Thual¹

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

² UMR FOTON, CNRS, IMT Atlantique, F29238, Brest, France

mohammed.guendouz@univ-rennes1.fr

RÉSUMÉ

L'étude de capteurs optiques intégrés permet d'augmenter le nombre d'analytes biologiques détectables sur une puce de faible dimension tout en abaissant la limite de détection. L'utilisation de ces dispositifs rend accessible à faible coût la détection de maladies à l'aide de biomarqueurs présents en faible quantité dans les prélèvements biologiques. Dans ce contexte, un nouveau type de transducteur à effet Vernier en matériaux hybrides à base d'anneaux cascades est étudié. L'utilisation de guides en polymères et en silicium poreux permet d'associer de faibles pertes de propagation et une grande sensibilité aux analytes dans un même transducteur. La limite de détection calculée de ce transducteur est améliorée d'un ordre de grandeur par rapport aux transducteurs à effet Vernier actuels.

MOTS-CLEFS : *effet Vernier, capteur optique, polymères, silicium poreux*

1. INTRODUCTION

Aujourd'hui, la détection d'analytes biologiques présents en faible quantité pour les applications médicales est un défi. De nombreuses méthodes ont été développées afin de détecter de faibles quantités d'analytes. Parmi ces méthodes, la résonance plasmonique de surface a déjà trouvé des applications commerciales. Les biocapteurs intégrés répondent aussi à de nombreuses problématiques comme la forte intégration et une faible limite de détection.

Pour les biocapteurs intégrés à base de micro-résonateurs (MRs), il existe deux techniques de détection principales : la détection homogène et la détection surfacique. Dans le cas de la détection homogène, un analyte dilué dans un milieu aqueux ou gazeux est détecté, tandis que dans le cas d'une détection surfacique, l'analyte se greffe à la surface du guide optique constituant le MR qui a préalablement été fonctionnalisé. Grâce à la fonctionnalisation, la détection surfacique est la plus adaptée pour discriminer un analyte dans un milieu complexe. L'utilisation d'un matériau poreux comme le silicium poreux (SiP) permet d'augmenter l'interaction entre le champ électromagnétique et les analytes qui s'infiltreront dans le cœur du guide optique.

Dans ce cadre, le laboratoire FOTON a développé des fonctions optiques pour la détection d'analytes biologiques à base de SiP et de matériaux polymères. Des MRs à base de guides ridges en silicium poreux ont été réalisés et caractérisés avec des fortes sensibilités et des faibles limites de détection. Pour augmenter la sensibilité et abaisser la limite de détection, des dispositifs comportant plusieurs MRs sont présentés ici afin de tirer profit de l'effet Vernier. L'intérêt de l'utilisation de guides en polymères présentant de faibles pertes de propagation et de guides en silicium poreux présentant une forte sensibilité aux analytes, est développé ainsi que leur mise en œuvre expérimentale.

2. THEORIE SUR L'EFFET VERNIER

Un MR est une cavité résonante qui est couplée à un ou plusieurs guides d'accès par couplage évanescent. Des résonances apparaissent dans le spectre de transmission après le couplage de la lumière par évanescence entre les guides d'accès et le résonateur. Le spectre de transmission peut être calculé à l'aide d'une fonction de transfert [1] et les principales grandeurs associées au spectre de transmission sont représentées en Figure.1.a (haut). Ces grandeurs sont : les positions des longueurs d'onde de résonance (λ_{res}), la largeur à mi-hauteur (FWHM) de la résonance et l'intervalle spectral libre (ISL) entre deux résonances.

Un MR peut être utilisé comme transducteur dans le cas d'une application capteur car la position des longueurs d'onde de résonance dépend de l'indice de réfraction (IR) effectif du mode qui se propage dans le guide. L'IR effectif dépend des IR du cœur du guide ainsi que des matériaux qui entourent le guide. L'IR effectif change lorsqu'un analyte se trouve à proximité du guide. Les analytes peuvent être greffés sur la surface du guide, mais l'utilisation d'un matériau poreux permet d'augmenter l'interaction entre le champ électromagnétique et les analytes. La longueur d'onde de résonance du MR se déplace lorsque des analytes sont greffés sur le guide ($\Delta\lambda_{res,MR}$ sur la Figure 1.a (milieu)) et peut être mesurée à l'aide d'un analyseur de spectre optique. La sensibilité du MR est alors caractérisée par le déplacement de la longueur d'onde de résonance par rapport à la quantité d'analytes et la limite de détection du MR correspond à la plus petite quantité d'analytes détectables par le MR.

Afin d'augmenter la sensibilité du transducteur on peut utiliser un second MR de référence dont l' ISL_{ref} est différent de l' ISL_{sens} du MR de mesure sensible aux analytes ($ISL_{ref} \neq ISL_{mes}$). Cette configuration est représentée, dans le cas d'un transducteur hybride, en Figure.1.b. Dans ce cas, une enveloppe d'interférence caractéristique de l'effet Vernier apparaît dans le spectre de sortie représenté sur la Figure.1.a (bas). Le décalage de l'enveloppe d'interférence peut être mesuré comme dans le cas d'un MR seul, mais la sensibilité est améliorée d'un facteur G_v qui correspond au rapport entre $\Delta\lambda_{res,MR}$ et $\Delta\lambda_{res,Vernier}$ présenté en Figure.1.a (bas).

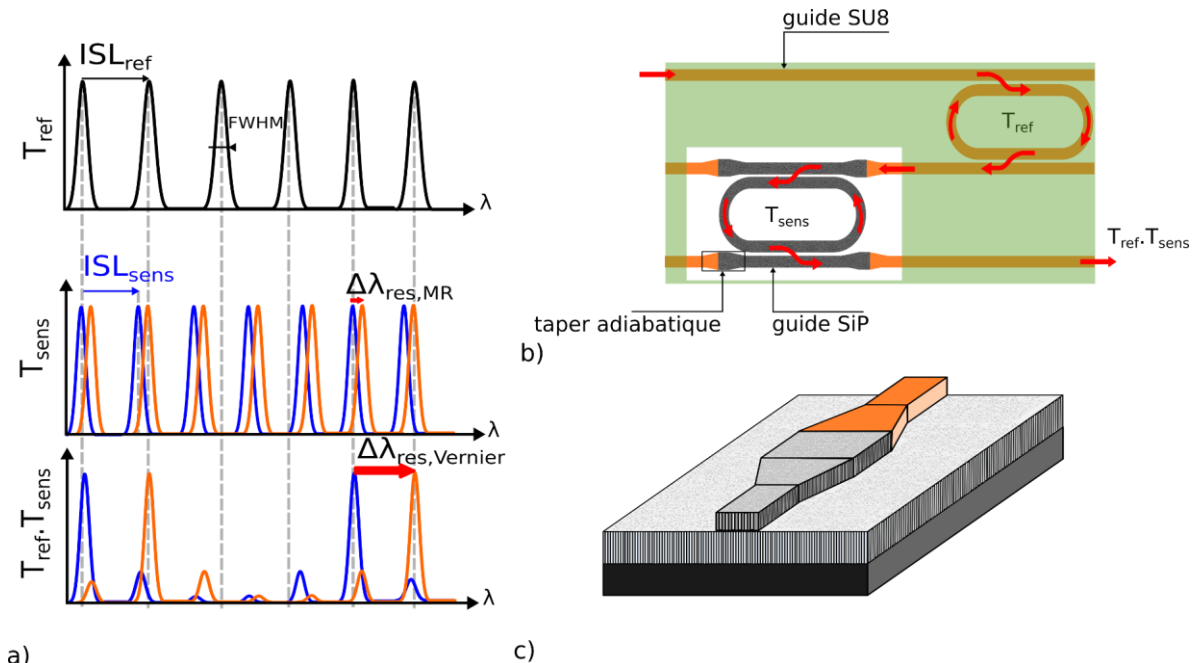


Fig. 1 : (a) (haut) fonctions de transfert du MR de référence en haut, du MR sensible aux analytes au milieu et avec l'effet Vernier des deux MR cascades en bas (b) Schéma de la vue de dessus des MRs hybrides cascades (c) Vue en perspective du taper adiabatique

3. VERS LA FABRICATION D'UN CAPTEUR A EFFET VERNIER HYBRIDE

Il a été démontré récemment que l'utilisation de MRs en SiP est possible pour la détection d'analytes biologiques [2]. La limite de détection surfacique d'un MR seul a été calculée pour la molécule de BSA (Bovine Serum Albumin) à 2 pg.mm^{-2} [1]. Cependant, les guides en SiP présentent des pertes importantes dont l'origine est étudiée afin de les réduire. Pour limiter les pertes de propagation, des guides en polymères SU8 sont étudiés afin de guider la lumière avec de faibles pertes dans les guides d'accès et les guides de références. L'intégration des guides hybrides, polymères/SiP dans le dispositif à effet Vernier est présentée en Figure.1.b. Pour assurer le couplage entre les guides en polymères et en SiP, un taper adiabatique présenté en Figure 1.c a été étudié. Ce taper permet d'obtenir un couplage reproductible et de relâcher les contraintes de positionnement lors de la fabrication avec des procédés de photolithographie standard. L'étude théorique du dispositif à effet Vernier hybride dont une figure de transmission est présentée en Figure 2 a permis de calculer une limite de détection de $2.10^{-2} \text{ pg.mm}^{-2}$ pour ce dispositif, ce qui améliore la limite de détection d'un ordre de grandeur par rapport à l'état de l'art [3].

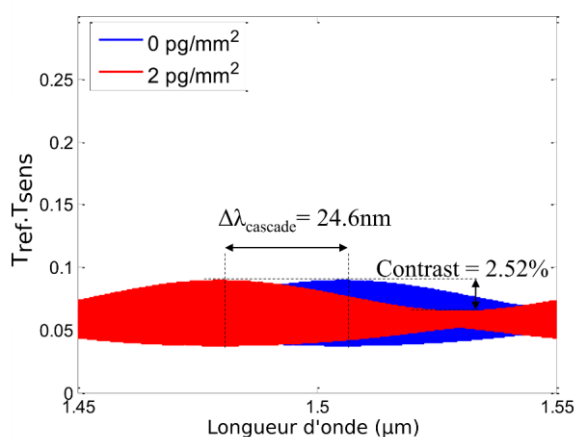


Fig. 2 : Spectre de transmission calculé d'un capteur à effet Vernier hybride

CONCLUSION

Cette étude a permis de démontrer l'intérêt de l'utilisation de guides en polymères et de guides en silicium poreux sur une même plateforme afin de réaliser un capteur à effet Vernier. L'étude du capteur à effet Vernier hybride fonctionnalisé avec des molécules de BSA a permis de calculer une limite de détection de $2.10^{-2} \text{ pg.mm}^{-2}$, ce qui représente une amélioration d'un ordre de grandeur par rapport aux transducteurs à effet Vernier existants.

Le design du capteur ainsi que les étapes de fabrication ont ensuite été étudiées dans le but de démontrer prochainement les valeurs de sensibilité et de limite de détection obtenues théoriquement.

Remerciements: Ces travaux sont financés par la région Bretagne et Lannion Trégor Communauté.

REFERENCES

- [1] P. Girault, N. Lorrain, J. Lemaitre, L. Poffo, M. Guendouz, I. Hardy, M. Gadonna, A. Gutierrez, L. Bodiou, J. Charrier "Racetrack micro-resonators based on ridge waveguides made of porous silica", *Optical Materials B*, Vol.50, pp.167-174 (2015).
- [2] A. Rodriguez, S. Hu, M. Weiss "Porous silicon ring resonator for compact, high sensitivity biosensing applications", *OSA*, Vol.23, No.6, p.7111-7119 (2015).
- [3] X. Tu, J. Song, T-Y. Liow, M. K. Park, J.Q. Yiying, J. S. Kee, M. Yu, G-Q. Lo "Thermal independent Silicon-Nitride slot waveguide biosensor with high sensitivity", *Optics Express*, Vol. 20, No. 3, p.2640-2648 (2012).

