



**HAL**  
open science

# APPROCHE TECHNOLOGIQUE DE RESONATEURS OPTIQUES 2D ET 3D SUR SUBSTRATS DE VERRE ET DE SILICIUM

Amel Ali Slimane, Adrien Desmoulin, Olivier Llopis, Véronique Conédéra,  
Arnaud Fernandez

► **To cite this version:**

Amel Ali Slimane, Adrien Desmoulin, Olivier Llopis, Véronique Conédéra, Arnaud Fernandez. AP-  
PROCHE TECHNOLOGIQUE DE RESONATEURS OPTIQUES 2D ET 3D SUR SUBSTRATS DE  
VERRE ET DE SILICIUM. Journées Nationales de l'Optique Guidée (JNOG), Jul 2013, Paris, France.  
3p. hal-00849957

**HAL Id: hal-00849957**

**<https://hal.science/hal-00849957>**

Submitted on 1 Aug 2013

**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.

# APPROCHE TECHNOLOGIQUE DE RESONATEURS OPTIQUES 2D ET 3D SUR SUBSTRATS DE VERRE ET DE SILICIUM

Amel Ali Slimane<sup>1,2</sup>, Adrien Desmoulin<sup>1</sup>, Olivier Llopis<sup>1</sup>, Véronique Conedera<sup>1</sup>,  
Arnaud Fernandez<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes LAAS ; CNRS ; Université de Toulouse ;  
Toulouse, France

<sup>2</sup>Université de Toulouse ; UPS ; Toulouse, France

[aalislim@laas.fr](mailto:aalislim@laas.fr)

## RÉSUMÉ

Une étude portant sur la réalisation de résonateurs et de techniques de couplage de ces résonateurs à des guides d'onde sur substrat verre et silicium est présentée. Ces résonateurs sont de deux types différents : report de sphère de SiO<sub>2</sub> sur substrat hôte ou réalisation de résonateurs bidimensionnels circulaires à l'aide des structures guidantes étudiées pour le couplage de la sphère. Les problématiques liées au choix des matériaux sont décrites, du point de vue de la technologie et de leurs propriétés optiques.

**MOTS-CLEFS :** *Guides d'onde optique ; résonateur optique ; modes de galerie ;  
optique sur silicium*

## 1. INTRODUCTION

Les résonateurs optiques à modes de galerie (2D et 3D) permettent d'atteindre des facteurs de qualité très élevés, pour cette raison, de nombreux laboratoires s'y intéressent [2], [4], [5], [8]. Cependant, des techniques de fabrication en grande série et à moindre coût sont nécessaires pour le développement de cette approche. Pour cette raison, les guides d'ondes que nous réalisons reposent sur une technologie silicium, verre et nitrure de silicium relativement bon marché. Le but de notre étude est de réaliser des résonateurs bidimensionnels (résonateurs circulaires et résonateurs «racetrack» et tridimensionnels (résonateurs sphériques) en utilisant de tels guides d'onde comme système de couplage. Ces guides sont réalisés sur un substrat de silicium monocristallin, ou un substrat de verre, et sont dimensionnés pour un fonctionnement monomode au voisinage de  $\lambda = 1550$  nm. Pour le cas de l'approche tridimensionnelle (3D), les microsphères utilisées sont obtenues par fusion de verres très purs et sont réalisées par l'ENSAT-FOTON Lannion [3], [7].

## 2. CHOIX DES MATERIAUX

Le choix des matériaux est une étape cruciale pour notre étude, le couple de matériaux à utiliser pour les guides d'ondes devant respecter la condition de couplage avec les résonateurs étudiés (2D et 3D) (voir fig.1). En effet, pour obtenir un couplage efficace entre le guide et le résonateur, il est nécessaire que les indices effectifs du guide d'onde et celui du résonateur soient proches [6], [9], [10].

Pour le cas du résonateur sphérique (3D), les simulations sous Matlab indiquent que la variation de l'indice effectif du mode par rapport au rayon de la sphère varie entre 1.32 et 1.40 ; on doit donc réaliser des guides présentant un indice effectif de même ordre de grandeur que celui ci.

Nous avons utilisé deux programmes (un programme développé en interne sous Matlab et un programme en libre accès mis à disposition par l'université de Twente [1]) pour simuler plusieurs guides d'onde en variant leurs dimensions et leurs indices de réfraction ( $n$ ) à la longueur d'onde de  $\lambda = 1550$  nm. Par ailleurs, on notera que, le problème d'accord d'indice ne se pose pas pour les résonateurs 2D, dans la mesure où le guide d'onde et le résonateur seront constitués d'un même matériau (Fig.1).

Les choix des matériaux s'est porté sur le silicium, le verre, le silicium amorphe hydrogéné et le nitrure de silicium en nous basant d'une part sur leurs propriétés optiques, telles que la transparence dans le domaine des longueurs d'ondes utilisées et leur indice de réfraction, ainsi que sur leurs propriétés mécaniques, thermomécaniques et leur coût.

### 3. COUPLAGE DU SIGNAL OPTIQUE ENTRE LE GUIDE, LA FIBRE ET LE RESONATEUR

Le couplage du signal optique entre le guide d'onde et le résonateur est très difficile à réaliser, à cause de la différence de l'indice de réfraction qui peut exister entre les deux mais aussi des dimensions importantes du résonateur. En effet, les applications visées se situent dans le domaine du filtrage des ondes RF en gamme millimétriques, et ceci suppose à la fois un très fort coefficient de qualité et un intervalle spectral libre important. Ces deux conditions ne peuvent être obtenues que par la mise en œuvre de résonateurs de dimensions proche du millimètre, alors que le couplage impose un contrôle de distance à l'échelle submicronique.

Pour nos résonateurs circulaires ou « racetrack » 2D, nous optons pour un couplage standard utilisant deux guides d'onde placés de part et d'autre du résonateur.

Pour nos résonateurs sphériques, nous proposons une technique de couplage non standard qui consiste à localiser précisément la sphère grâce à une gravure profonde du substrat hôte. L'image ci dessous montre ces deux principes de couplage.

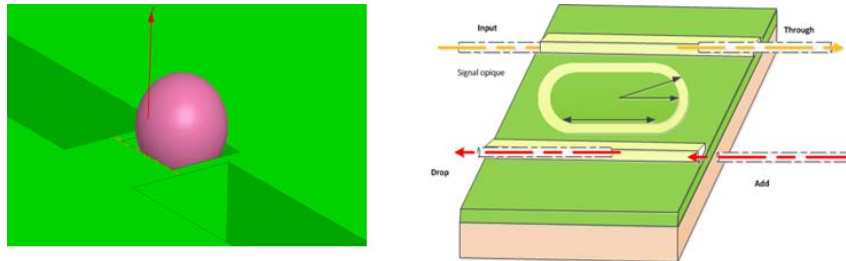


Fig. 1: Principe de couplage des résonateurs sphériques (3D) et *racetrack* (2D)

### 4. LES GUIDES D'ONDES ETUDIÉS

N'ayant pas beaucoup de degrés de liberté nous permettant de réaliser un couplage efficace entre le guide et le résonateur, nous avons décidé de réaliser plusieurs guides d'onde avec des matériaux différents (indice de réfraction différents) et donc d'épaisseurs différentes, la figure 2 montre deux de ces guides d'onde.

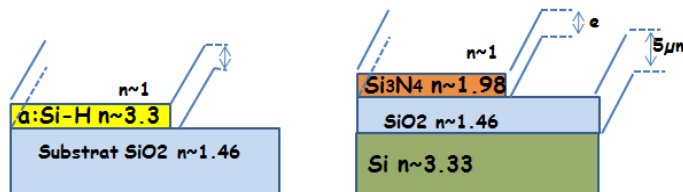


Fig. 2: Guide optiques sur verre et SOI

#### Guide d'onde en a:Si-H/SiO<sub>2</sub> :

Les guides d'ondes en a:Si-H/SiO<sub>2</sub>, se réalisent sur une plaquette en verre 4" (SiO<sub>2</sub>) ayant un indice  $n \sim 1.46$  @1550 nm sur lequel on fait croître une mince couche de silicium amorphe dont l'indice est  $n \sim 3.33$  à 1550 nm. Suivant l'épaisseur de la couche du a:Si-H, plusieurs simulations ont été réalisées. Les résultats obtenus nous ont contraint à tenter des approches de réalisation assez difficiles vu les faibles dimensions du guide d'onde susceptible de réaliser un bon couplage entre le guide et la sphère (avec des indices effectifs proches). La largeur du guide est fixée à 2 μm, son épaisseur est de 90 nm. Ces dimensions donnent de bons résultats pour l'extension du champ évanescent nécessaire pour assurer le couplage (de l'ordre de 1 μm) (voir fig.3).

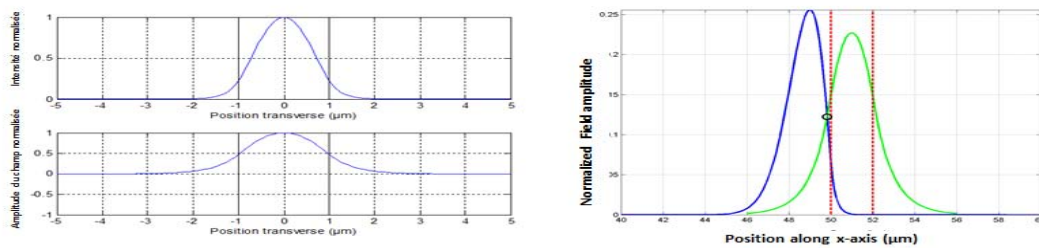


Fig. 3: Extension du champ évanescent (guide a:Si-H) et recouvrement avec les WGM de la sphère

### Guide d'onde en $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$

Les petites dimensions du guide d'onde a:Si-H/SiO<sub>2</sub> sont très difficiles à utiliser ultérieurement, et le risque de ne pas pouvoir coupler la lumière est réel. Il est possible que les pertes du signal soient très fortes, ce qui induirait un sous couplage, ou un couplage très faible guide-sphère. Nous avons donc voulu réaliser d'autres guides d'ondes répondants aux critères évoqués mais ayant des dimensions plus importantes (de l'ordre du micromètre), c'est le cas du guide d'onde en  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$ .

Pour ce guide d'onde deux étapes sont à réaliser. La première étant le dépôt de SiO<sub>2</sub> sur du Si suivit d'un dépôt du nitrure de silicium ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) sur SiO<sub>2</sub> (voir fig.2).

La couche de 5 µm de SiO<sub>2</sub> (4975 nm ± 10%) a été déposée en utilisant le CCP-PECVD qui est le seul bâti (disponible en salle blanche du LAAS) permettant d'avoir une épaisseur aussi importante et respectant les propriétés optiques du matériau (n~1.48). La vitesse de dépôt est d'environ 55.2 nm/mn et la répétabilité du procédé est vérifiée.

Le  $\text{Si}_3\text{N}_4$  se dépose en utilisant la technique de LPCVD qui assure une très bonne pureté du matériau, une bonne uniformité, et un indice de réfraction satisfaisant (n ~2.15 à λ=1550nm).

### CONCLUSION

Différentes approches pour réaliser des guides d'ondes à faible indice effectif sur substrat de Si et SiO<sub>2</sub> ont été étudiées. L'approche utilisant la structure  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$  se révèle particulièrement prometteuse pour les deux types de résonateurs envisagés. La gravure des résonateurs 2D avec cette structure est en cours et nous espérons pouvoir présenter un résultat de mesure pour la conférence.

### RÉFÉRENCES

- [1] <http://wwwhome.math.utwente.nl/~hammern>
- [2] Kenjiro Miyano and Hiroshi Ishikawa, Coupling of a guided mode with a microresonator: effect of the size of the resonator, CREST, Japan Science and Technology corporation, Tokyo 171-0031, Japan, 2001
- [3] P. Féron, Whispering gallery mode lasers in erbium doped fluoride glass, *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, 29, 297 (2003).
- [4] Yuichiro Tanushi (COE Researcher), Masaru Wake (Graduate School of Advanced Sciences of Matter, M2), Shin Yokoyama (Professor Research Center for Nanodevices and Systems, Graduate School of Advanced Sciences of Matter) "Design and Fabrication of Race-Track Optical Ring Resonator", 2004.
- [5] Isa Kiyat and Atilla Aydinli, "High-Q silicon-on-insulator optical rib waveguide racetrack resonators" Optical Society of America, 2005.
- [6] G. T. Reed, W. R. Headley, F. Y. Gardes, B. D. Timotijevic, S. P. Chan, G. Z. Mashanovich Characteristics of rib waveguide racetrack resonators in SOI, Advanced Technology Institute, School of Electronics and Physical Sciences, University of Surrey, Guildford, Surrey, GU2 7XH, UK. *Proc. of SPIE* Vol. 6183 61830G-15, 2006.
- [7] Y. Dumeige, S. Trebaol, L. Ghia, T. Nguyễn, H. Tavernier, P. Féron, "Determination of coupling regime of high-Q resonators and optical gain of highly selective amplifiers", *J. Opt. Soc. Am. B* 25, 2073-2080, 2008.
- [8] Qianfan Xu, David Fattal, and Raymond G. Beausoleil, "1.5 µm-radius high-Q silicon microring resonators", Optical Society of America, 2008.
- [9] E. Xifré-Pérez, J.D. Domenech, R. Fenollosa, P. Muñoz, J. Capmany, and F. Meseguer "All silicon waveguide spherical microcavity coupler device" Vol. 19, No. 4, *OPTICS EXPRESS* 3185, February 2011.
- [10] Aleksandr Biberman, Michael J. Shaw, Erman Timurdogan, Jeremy B. Wright, and Michael R. Watts, "Ultralow-loss silicon ring resonators" *PTICS LETTERS* / Vol. 37, No. 20 / October 15, 2012.