

# MEMBRANES $\text{Si}_3\text{N}_4$ STRUCTURÉES A HAUTE REFLECTIVITÉ POUR L'OPTOMÉCANIQUE

Inna Krasnokutskaja<sup>1</sup>, Kevin Makles<sup>1</sup>, Xu Chen<sup>1</sup>, Charles Caer<sup>1</sup>, Samuel Deleglise<sup>1</sup>,  
Tristan Briant<sup>1</sup>, Pierre-François Cohadon<sup>1</sup>, Antoine Heidmann<sup>1</sup>

Rémy Braive<sup>2</sup>, Viktor Tsvirkun<sup>2</sup>, Isabelle Robert-Philip<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Kastler Brossel, UPMC-ENS-UMR CNRS 8552, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France

<sup>2</sup> Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS UPR 20, Route de Nozay,  
91460 Marcoussis, France

[inna.krasnokutskaja@lkb.upmc.fr](mailto:inna.krasnokutskaja@lkb.upmc.fr)

## RÉSUMÉ

Nous améliorons la réflectivité optique des membranes  $\text{Si}_3\text{N}_4$  en utilisant la résonance de Fano dans des cristaux photoniques et en préservant le facteur de qualité mécanique. Ainsi nous pouvons augmenter le couplage optomécanique, surtout dans une configuration avec la membrane au milieu d'une cavité Fabry-Perot. Les membranes  $\text{Si}_3\text{N}_4$  avec des cristaux photoniques semblent être de bons candidats pour l'observation de l'état fondamental d'un résonateur mécanique.

**MOTS-CLEFS :** *optomécanique ; cristaux photoniques; membrane  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ; cavité Fabry-Perot.*

## 1. INTRODUCTION

Les membranes en nitrure de silicium ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) ont suscité beaucoup d'intérêt dans l'optomécanique à cause de leurs propriétés mécaniques extraordinaires [1-3]. Des dimensions latérales de ces membranes ont l'échelle millimétrique, mais avec l'épaisseur de 50-200 nm elles ont des modes mécaniques qui peuvent atteindre des valeurs de facteur de qualité  $Q > 10^7$  à la température ambiante, ce qui signifie qu'ils sont extrêmement bien découplés de son environnement. En même temps, la masse s'élève à quelque nanogrammes et l'absorption optique est minuscule à 1064 nm. Toutes ces qualités sont très importantes par exemple pour attendre l'état fondamental d'un résonateur mécanique. Pour améliorer le couplage optomécanique nous pouvons profiter de l'avantage de cavité Fabry-Perot en plaçant les membranes au milieu ou de plus en les utilisant comme un miroir au fond, c'est pourquoi nous cherchons à augmenter la réflectivité de membranes  $\text{Si}_3\text{N}_4$  qui est 30% à 1064 nm. Nous essayons d'augmenter cette valeur en y fabricant des cristaux photoniques. Le meilleur résultat publié avec ce type des structures est de 57% à 1064 nm pour une membrane de 50 nm d'épaisseur [4]. Nous rapportons 90% de la réflectivité avec nos cristaux photoniques bidimensionnels (2D). Cela va permettre d'augmenter drastiquement le couplage optomécanique d'abord dans une configuration de cavité Fabry-Perot avec une membrane au milieu.

## 2. REALISATION DES CRISTAUX PHOTONIQUES SUR $\text{Si}_3\text{N}_4$

Les membranes que nous utilisons dans l'expérience sont disponibles dans le commerce à partir de Norcada Inc. [5]. Une photographie d'une telle membrane est représentée sur la Fig. 1. Les membranes ont des formes carrées et les épaisseurs de 100 nm ou 200 nm, leurs dimensions latérales peuvent être personnalisées.

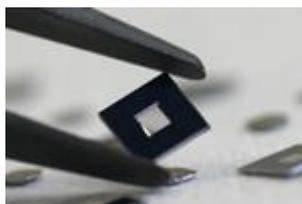


Fig.1. Membranes  $\text{Si}_3\text{N}_4$  sont disponibles dans la commerce [5].

Nous trouvons nos paramètres géométriques des cristaux photoniques numériquement par la technique de simulations Rigorous Coupled Wave Analysis (RCWA). Nous voulons atteindre la meilleure réflectivité en longueurs d'ondes autour de 1064 nm. Deux types de structures utilisés sont les cristaux photoniques 2D et les cristaux photoniques quasi 1D (périodes différents dans deux directions) et les résultats des simulations sont présentés sur la Fig. 2.

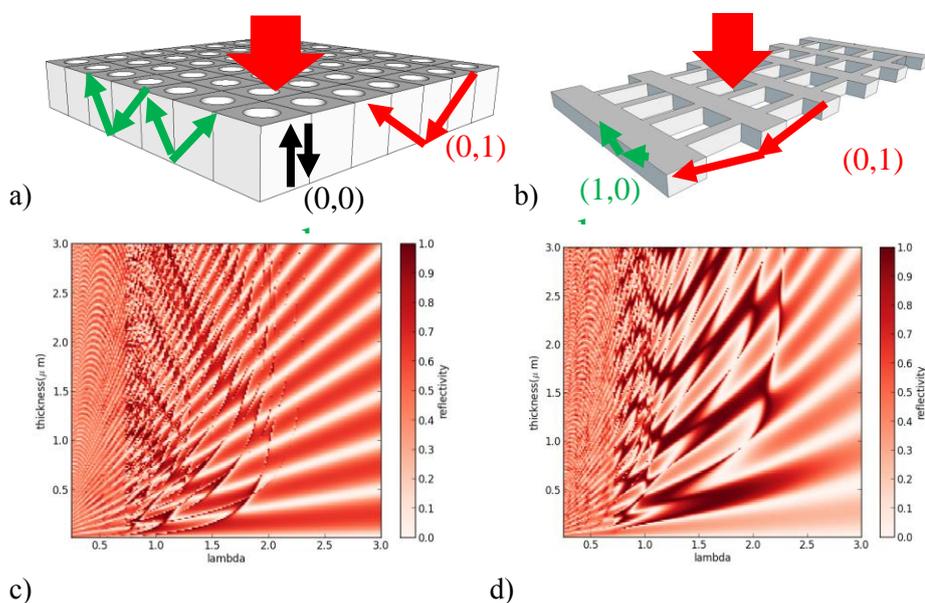


Fig. 2. a) Cristaux photoniques 2D. b) Cristaux photoniques quasi 1D (périodes dans deux directions ne sont pas égales). c) Les résultats des simulations pour les cristaux photoniques 2D. d) Les résultats des simulations pour les cristaux photoniques quasi 1D.

Nous utilisons la lithographie électronique sur la résine PMMA pour dessiner la matrice des cristaux photoniques. Le développement est fait dans une solution de MBIK:IPA. La matrice est transférée dans une couche de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  par la gravure sèche. Cette étape est la plus délicate, parce que les membranes  $\text{Si}_3\text{N}_4$  sont très fragiles, à cause de leurs contraintes en tension élevées. Bien plus la position et la profondeur de résonance dépendent fortement de l'épaisseur gravée.

Après la fabrication toutes les membranes sont testées avec un laser accordable de 970 nm à 1085 nm. Nous rapportons l'amélioration de la réflectivité dans le cas des cristaux photoniques 2D jusqu'à 90% et dans le cas "quasi 1D" jusqu'à 60% sur la Fig. 3.

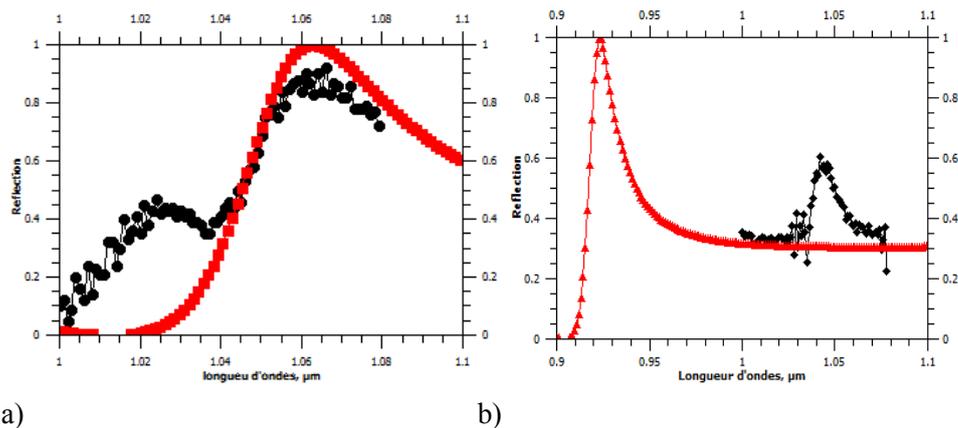


Fig. 3. a) Les résultats expérimentaux pour les cristaux photoniques 2D dans  $\text{Si}_3\text{N}_4$  avec 100 nm d'épaisseur, les contraintes en tension sont de 250 MPa, l'indice réfractif  $n=2.2$  à 1064 nm. b) Les résultats expérimentaux pour les cristaux photoniques quasi 1D dans  $\text{Si}_3\text{N}_4$  avec 200 nm d'épaisseur, les contraintes en tension sont de 850 MPa,  $n=1.99$  à 1064nm. (Les courbes rouges représentent les simulations numériques, les courbes noires – les expériences)

La profondeur de la gravure pour les membranes avec 100 nm d'épaisseur a été vérifiée. Nous observons les trous traversant avec des rayons légèrement différents par rapport à ce qui a été prévu par nos simulations. Cela peut expliquer pourquoi nous n'attendons pas une réflectivité  $\approx 1$ . Dans le cas de quasi 1D la position de la résonance se change vers les longueurs d'ondes infrarouges, ce qui correspond à comportement d'une structure partiellement gravée, c'est pourquoi la réflectivité obtenue est plus faible par rapport à nos simulations.

### CONCLUSIONS

Nous démontrons l'amélioration de la réflectivité des membranes  $\text{Si}_3\text{N}_4$  à une valeur qui est la meilleure entre publiées pour les membranes avec cet épaisseur à 1064 nm. Bien plus ces membranes possèdent des facteurs de qualité très élevés. Les membranes vont être utilisées d'abord pour vérifier l'augmentation du couplage optomécanique dans une configuration de cavité Fabry-Perot avec une membrane au milieu.

### REFERENCES

- [1] B. M. Zwickl, W. E. Shanks, A. M. Jayich, C. Yang, A. C. B. Jayich, J. D. Thompson, and J. G. E. Harris, "High Quality Mechanical and Optical Properties of Commercial Silicon Nitride Membranes", *Appl. Phys. Lett.* **92**, 103125, 2008
- [2] D. J. Wilson, C. A. Regal, S. B. Papp, and H. J. Kimble, "Cavity Optomechanics with Stoichiometric SiN Films", *Phys. Rev. Lett.* **103**, 207204, 2009
- [3] A. Jockel, M. T. Rakher, M. Korppi, S. Camerer, D. Hunger, M. Mader, and P. Treutlein, "Spectroscopy of Mechanical Dissipation in Micro-Mechanical Membranes", *Appl. Phys. Lett.* **99**, 2010
- [4] Catvu H. Bui, Jiangjun Zheng, S. W. Hoch, Lennon Y. T. Lee, J. G. E. Harris, and Chee Wei Wong "High reflectivity and high-Q micromechanical resonator via guided resonance for enhancement optomechanical coupling" *Appl. Phys. Lett.* **100**, 021110 (2012)
- [5] Norcada Inc., <http://www.norcada.com>.