



HAL
open science

INGENIERIE D'ABSORPTION DANS LES CRISTAUX PHOTONIQUES

Romain Peretti, Guillaume Gomard, Christian Seassal, Xavier Letartre,
Emmanuel Drouard

► **To cite this version:**

Romain Peretti, Guillaume Gomard, Christian Seassal, Xavier Letartre, Emmanuel Drouard. INGENIERIE D'ABSORPTION DANS LES CRISTAUX PHOTONIQUES. Journées Nationales d'optique guidée, Jul 2012, Lyon, France. pp.244. hal-00740693

HAL Id: hal-00740693

<https://hal.science/hal-00740693>

Submitted on 10 Oct 2012

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.

ANALYSE DE L'ABSORPTION DANS LES CRISTAUX PHOTONIQUES

Romain Peretti, Guillaume Gomard, Christian Seassal, Xavier Letartre,
Emmanuel Drouard

Université de Lyon, Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL), UMR 5270, CNRS-INSA-ECL-UCBL, Ecole Centrale de Lyon, 36 Avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully Cedex, France

Emmanuel.drouard@ec-lyon.fr

RÉSUMÉ

Dans cette communication nous optimisons les propriétés d'un cristal photonique membranaire de faible absorption (extinction $\kappa=10^{-2}$) afin d'approcher l'absorption théorique totale dans une membrane dotée de deux modes de symétrie de guidage différente. Ce résultat permet d'améliorer les composant optique de détection ou de récupération d'énergie.

MOTS-CLEFS : *photovoltaïque, absorption, cristal photonique membranaire.*

1. INTRODUCTION

Le contrôle de l'absorption de la lumière via des cristaux photoniques (CP) est un sujet particulièrement étudié surtout pour les applications photovoltaïques (PV) [1] ou la détection [2]. L'ingénierie du couplage de la lumière incidente dans les modes de Bloch du CP membranaire permet d'optimiser l'absorption. Un modèle de résonateur monomode donne une absorption maximale théorique de 50% [3, 4], en deçà des résultats de simulation [5, 6, 7].

Nous introduisons ici une membrane à CP bi-mode permettant une absorption théorique de 100% , et par simulation FDTD s de 85%, mettant en jeu les modes guidés du CP de symétrie opposée.

2. CONCEPTION DU CRYSTAL PHOTONIQUE MEMBRANAIRE

Lorsque le couplage d'une onde plane incidente dans un mode de Bloch a une durée de vie identique à celle de l'absorption dans le milieu, l'absorption de lumière incidente dans le CP atteint 50% (couplage « critique » [5]). Nous avons établi [8] que si deux modes dégénérés orthogonaux, donc ne pouvant pas échanger d'énergie, sont chacun en couplage critique avec l'onde incidente, leur absorption s'additionnait, pouvant donc atteindre 100%. Pratiquement, deux modes de CP seront orthogonaux si modes guidés qui les supportent sont de symétrie de guidage opposée.

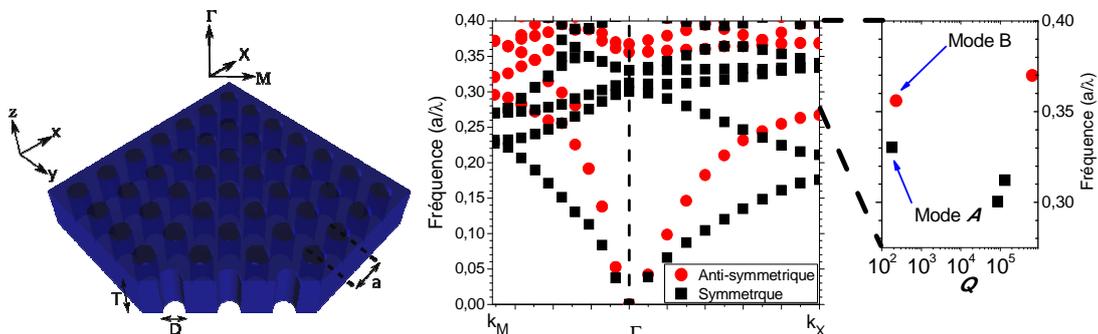


Fig. 1 : Gauche : schéma du CP membranaire étudié. Centre : diagramme de bande du CP étudié, à droite facteur de qualité des modes dans la zone d'étude

La Fig. 1 présente à gauche le CP membranaire étudié, et à droite son diagramme de bande, séparant les modes supportés par les modes guidés symétriques en noir et anti-symétriques en

rouge. La membrane modélisée possède un indice de réfraction de 4.06 et un coefficient d'extinction de 10^{-2} , ce qui correspond au silicium amorphe autour de 720 nm. En se plaçant dans la bonne zone spectrale on trouve deux modes de symétries opposées (notés A et B sur la Fig. 1) dont les facteurs de qualité (Q) proches de 100 montrent qu'ils sont adressables par la surface. Afin de maximiser l'absorption totale il faut maintenant adapter leur facteur de qualité pour se rapprocher du Q critique (Q_c) pour chacun des modes. La Fig 2. à gauche présente la variation du Q et de la fréquence de résonance en fonction de ff, à droite en fonction de l'épaisseur de la membrane.

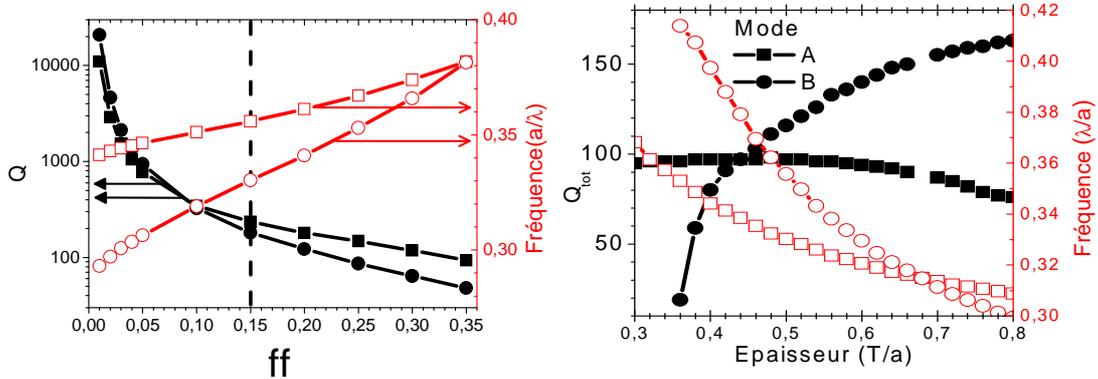


Fig. 2 : Variations du facteur de qualité et de la fréquence de résonance des modes en fonction du facteur de remplissage, à gauche et de l'épaisseur de la membrane (pour $ff=0,15$) à droite.

En diminuant le facteur de remplissage en air (noté ff), donc le diamètre des trous, on diminue le couplage à l'onde incidente, mais de manière différente pour chaque mode. Ainsi, un ff de l'ordre de 15% donne des facteurs de qualité entre 200 et 300. Ces facteurs sont proches du $Q_c = n/2k = 200$ [3] pour les modes considérés et ce ff sera donc conservé pour le reste de l'étude. Il s'agit désormais d'ajuster le seul paramètre restant, l'épaisseur de la membrane pour ramener les deux modes à la même longueur d'onde. En effet, les modes étant d'ordre différent, leur dispersion avec l'épaisseur est différente ce qui permet d'obtenir la dégénérescence. C'est ce que montre la Fig. 2 à droite. Lorsque l'épaisseur est de 0,68 unité de période, les facteurs de qualité sont proches de Q_c [5] et les modes ont la même fréquence.

3. ABSORPTION OPTIMISEE

Nous avons simulé les spectres d'absorption pour deux épaisseurs (Fig 3) correspondant ou non à la dégénérescence.

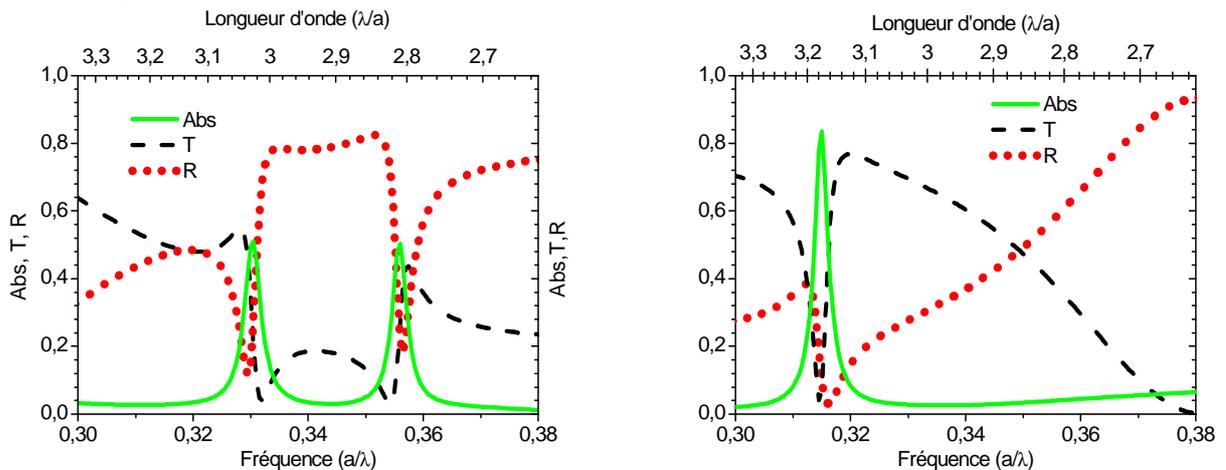


Fig. 3 : Spectres d'absorption, de transmission et de réflexion de la membrane à gauche pour une épaisseur de 0.5a (hors dégénérescence), à droite pour une épaisseur de 0.68 a (à la dégénérescence).

Cette figure montre bien qu'avant la dégénérescence chacun des deux modes a une absorption d'environ 50 %, puis à la dégénérescence les absorptions s'additionnent pour donner 85 % d'absorption. Une optimisation fine des paramètres permettrait d'obtenir une valeur plus proche du maximum théorique de 100% [9].

CONCLUSION

En utilisant la simulation FDTD pour modifier les paramètres d'un cristal photonique membranaire : facteur de remplissage épaisseur et période ; nous avons démontré que la théorie développée dans [8] permet d'atteindre une absorption de 85% à une longueur d'onde précise sans utiliser de réflecteur arrière dans un matériau très faiblement absorbant. Ces concepts pourront être utilisés dans le cas d'un détecteur à spectre fin, ou dans le cas du photovoltaïque, non plus en utilisant deux modes, mais une collection de modes de symétrie opposées dont les dégénérescences successives engendreront une absorption haute sur un large spectre.

Pour aller plus loin, et en utilisant des méthodes de simulations modales [9] nous avons aussi montré que ce concept était assez robuste tant angulairement que vis-à-vis des incertitudes intrinsèques dues aux approches technologiques.

RÉFÉRENCES

- [1] S. Mallick, N. Sergeant, M. Agrawal, J. Lee, and P. Peumans, "Coherent light trapping in thin-film photovoltaics," *MRS BULLETIN*, vol. 36, pp. 453–460, 2011.
- [2] W.-C. Lai, S. Chakravarty, X. Wang, C. Lin, and R. T. Chen, "Photonic crystal slot waveguide absorption spectrometer for on-chip near-infrared spectroscopy of xylene in water," *Applied Physics Letter*, vol. 98, no. 2, p. 023304, 2011.
- [3] C. Manolatu, M. Khan, S. Fan, P. Villeneuve, H. Haus, and J. Joannopoulos, "Coupling of modes analysis of resonant channel add-drop filters," *Quantum Electronics, IEEE Journal of*, vol. 35, no. 9, pp. 1322–1331, 1999.
- [4] A. Chutinan and S. John, "Light trapping and absorption optimization in certain thin-film photonic crystal architectures," *Phys. Rev. A*, vol. 78, p. 023825, Aug 2008.
- [5] Y. Park, E. Drouard, O. E. Daif, X. Letartre, P. Viktorovitch, A. Fave, A. Kaminski, M. Lemiti, and C. Seassal, "Absorption enhancement using photonic crystals for silicon thin film solar cells," *Opt. Express*, vol. 17, pp. 14312–14321, Aug 2009.
- [6] G. Gomard, E. Drouard, X. Letartre, X. Meng, A. Kaminski, A. Fave, M. Lemiti, E. Garcia-Caurel, and C. Seassal, "Two-dimensional photonic crystal for absorption enhancement in hydrogenated amorphous silicon thin film solar cells," *Journal of Applied Physics*, vol. 108, no. 12, p. 123102, 2010.
- [7] G. Gomard, X. Meng, E. Drouard, K. E. Hjjam, E. Gerelli, R. Peretti, A. Fave, R. Orobtschouk, M. Lemiti, and C. Seassal, "Light harvesting by planar photonic crystals in solar cells: the case of amorphous silicon," *Journal of Optics*, vol. 14, no. 2, p. 024011, 2012.
- [8] R. Peretti, G. Gomard, C. Seassal, X. Letartre, and E. Drouard, "Modal approach for tailoring the absorption in a photonic crystal membrane," *Journal of Applied Physics*, vol. 111, no. 12, p. 123114, 2012.
- [9] R. Peretti, G. Gomard, C. Seassal, X. Letartre, and E. Drouard, "Tailoring the absorption in a photonic crystal membrane: A modal approach," in *Proceeding SPIE* (H. R. Miguez, S. G. Romanov, L. C. Andreani, and C. Seassal, eds.), vol. 8425, p. 84250Q, SPIE, 2012.