



## Etude d'un démultiplexeur à base des cristaux photoniques

### (Study of a demultiplexer based on photonic crystals)

R. Naoum, S. Bouamami, F. Salah- Belkhodja

Laboratoire de Télécommunications et Traitement Numérique du Signal ; Département d'électronique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbés, Algérie.

Received in 19 Oct 2010, Revised 15 Nov 2010, Accepted 20 Nov 2010.

\*Corresponding author, E-mail: *E-mail* : rafah.naoum@yahoo.fr

#### Abstract

Our approach is to design a demultiplexer in wavelengths (WDM : Wavelength Division Démultiplexing) of very small size, versatile and compact to the wavelength  $\lambda=1.50\mu\text{m}$  which can be adapted to the optical networks telecommunications. This demultiplexer is based on the use of crystals photonic default linear. A crystal photonics with default linear revealed more modes which are spreading to the interior of the Band Prohibited Photonics (BIP) of perfect crystal. By amending the rays of the holes of the one of the walls of a guide W2, a coupling of the modes can take place in the positions singular. This feature allows us it laterally, with the help of a numerical code based on the method FDTD, four wavelengths:  $\lambda=1503\text{nm}$ ,  $1510\text{nm}$ ,  $1520\text{nm}$ ,  $1525\text{nm}$ .

*Key words*: Photonic crystals ; demultiplexer ; integrated optics ; FDTD.

#### Resumé

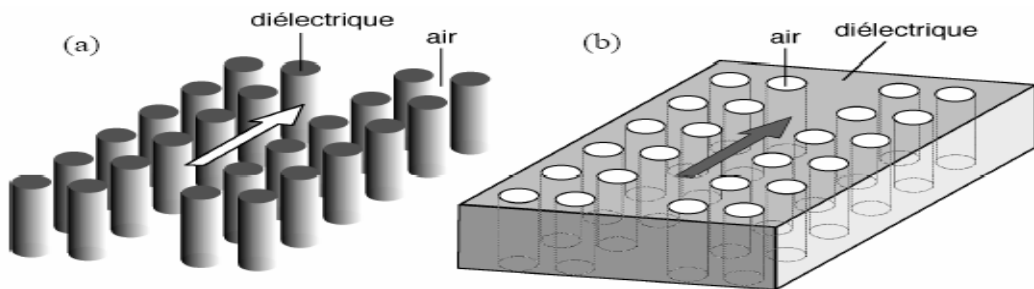
Notre approche est de concevoir un démultiplexeur en longueur d'onde (WDM : Wavelength Division Démultiplexing) de taille très réduite, versatile et compact à la longueur d'onde  $\lambda=1.50\mu\text{m}$  qui peut être adapté aux réseaux de télécommunications optiques. Ce démultiplexeur est basé sur l'utilisation des cristaux photoniques à défaut linéaire. Un cristal photonique avec défaut linéaire fait apparaître des modes supplémentaires qui se propagent à l'intérieur de la Bande Interdite Photonique (BIP) du cristal parfait. En modifiant les rayons des trous de l'une des parois d'un guide W2, un couplage des modes peut avoir lieu à des positions singulières. Cette fonctionnalité nous a permis de démultiplexer latéralement, à l'aide d'un code numérique basé sur la méthode FDTD, quatre longueurs d'ondes suivantes:  $\lambda=1503\text{nm}$ ,  $1510\text{nm}$ ,  $1520\text{nm}$ ,  $1525\text{nm}$ .

*Mots clés* : cristaux photoniques ; démultiplexeur ; optique intégrée ; FDTD.

#### 1. Introduction

Une fonction particulièrement importante d'optique intégrée pourrait être réalisée avec des cristaux photoniques à défaut linéaire (figure 1) : le démultiplexage en longueur d'onde. Le but est d'extraire des longueurs d'ondes bien précises dans un flux de données. Ce dispositif peut être réalisé en utilisant la sélectivité d'une cavité résonante couplée par recouvrement des ondes évanescentes à des guides d'onde. Ce type de dispositif est appelé un filtre « Add-Drop » [1]. D'autre configuration de la structure à cristaux photoniques peut utiliser pour séparer deux longueurs d'ondes [2-5]. Dans cette publication nous nous

intéressons à une autre fonctionnalité basée sur le couplage latéral des modes. Dans une telle configuration, nous avons pu démultiplexer différentes longueur d'onde en modifiant le rayon de l'une des parois d'un guide réalisé dans un cristal photonique bidimensionnel.

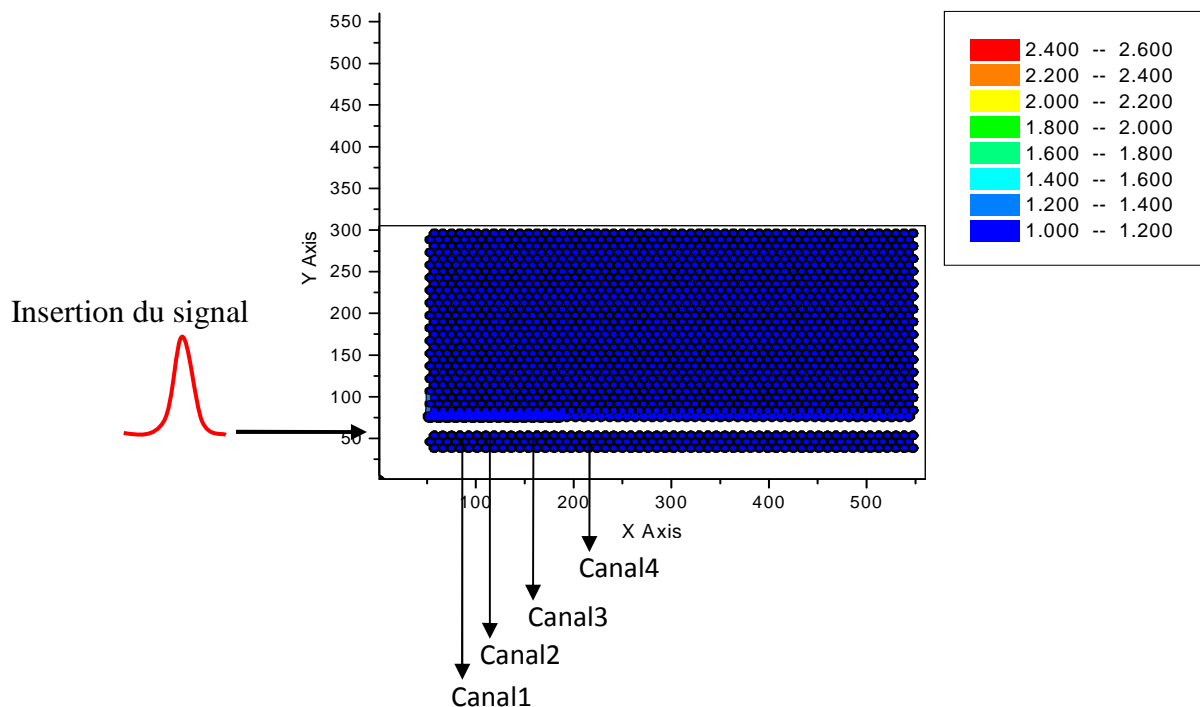


**Figure 1** Guide d'onde à base cristaux photoniques bidimensionnels  
 (a) Structure 2D déconnectée  
 (b) Structure 2D connectée

## 2. Etude et description de la structure

L'étude est portée sur une structure 2D connectée à base de cristaux photoniques de longueur ( $15 \mu\text{m}$ ) et de largeur ( $7 \mu\text{m}$ ). Il est composé d'un réseau triangulaire périodique de trous d'air de rayon ( $r=170\text{nm}$ ) percés dans une membrane d'indice de réfraction  $n=2.60$ . La distance entre deux centres de deux trous consécutifs (période) est  $a=350\text{nm}$ . Cette structure a été polarisée en TM et excitée par une source gaussienne capable de générer des impulsions multilongueurs d'onde sur la gamme de longueurs d'onde autour de  $1.55\mu\text{m}$ , et le prélèvement du signal, en tout ou partie, a été fait latéralement.

Nous considérons un guide « W2 » (deux rangées manquantes) avec la possibilité de changer le rayon de tous les trous de la paroi supérieure de ce guide de la manière suivante :  $r_1=0.250 \mu\text{m}$  pour les dix-sept premiers trous et  $r_2=200 \mu\text{m}$  pour les trous restants. La largeur du guide est elle aussi fonction de cette modification (voir figure 2).



**Figure 2** : Structure optimisée avec  $r_1=0.250 \mu\text{m}$  et  $r_2=200 \mu\text{m}$

La courbe de dispersion du mode fondamental est similaire à celle obtenue par un guide classique ruban [1] alors que les modes plus élevés diffèrent totalement en raison des mécanismes de réflexion de Bragg mis en jeu.

A l'intérieur de la BIP chaque mode guidé a un ordre différent. Des points singuliers à l'intérieur de la zone de Brillouin peuvent se trouver dans un cristal photonique à défaut linéaire : les croisements et les anti-croisements.

Dans le cas d'un croisement, il n'y a aucune interaction entre les modes, ils coexistent avec la même fréquence et avec le même vecteur d'onde sans aucun couplage. A l'inverse, dans le cas d'un anti-croisement, les modes se couplent entre eux, ce qui fait apparaître une mini-BIP.

Un guide dont les bords sont symétriques par rapport à son axe longitudinal couple les modes de même parité alors qu'un guide "anti-symétrique" couple les modes de parité opposée [6].

Au bord de la zone de Brillouin une autre mini-BIP aura lieu aux points de "repliement" (point d'anti-croisement) lors du couplage d'un mode propagatif et un mode contra-propagatif de même ordre. Ce couplage concerne les modes d'ordre plus élevé et causé par la réflexion de Bragg bidimensionnelle distribuée le long du guide. Au niveau des bords d'une mini-BIP, nous noterons les caractéristiques suivantes: le profil spatial du mode est une combinaison des deux modes couplés, ce qui entraîne un déconfinement de l'un des modes couplés, une annulation et une inversion du signe de la vitesse de groupe.

Les anti-croisements, impliquent le déconfinement local d'un mode guidé tout en diminuant sa vitesse de groupe. Cette région singulière présente une source d'intérêt. Par exemple, on peut tirer profit du déconfinement du mode à l'anti-croisement, pour démultiplexer les fréquences correspondant à l'anti-croisement [7].

### 3. Simulations et résultats

Les simulations sont faites par un code basé sur la méthode FDTD (Finite Difference Time Domain) ou la méthode des différences finies dans le domaine temporel. C'est une approche numérique permettant la résolution des équations différentielles dans le domaine temps.

A fin d'utiliser cette méthode pour étudier un cristal photonique 2D, un domaine de calcul (cellule de Yee à deux dimensions) est défini et discrétisé avec un maillage spatiale  $\Delta x = \Delta y = 0.04$ . L'espace temporel est quant à lui discrétisé avec un pas  $\Delta t$ . le nombre d'itération utilisé dans notre cas est 10000. Après plusieurs simulations, nous avons arrivé à démultiplexer latéralement quatre longueurs d'onde aux alentours de 1500nm (figure 1).

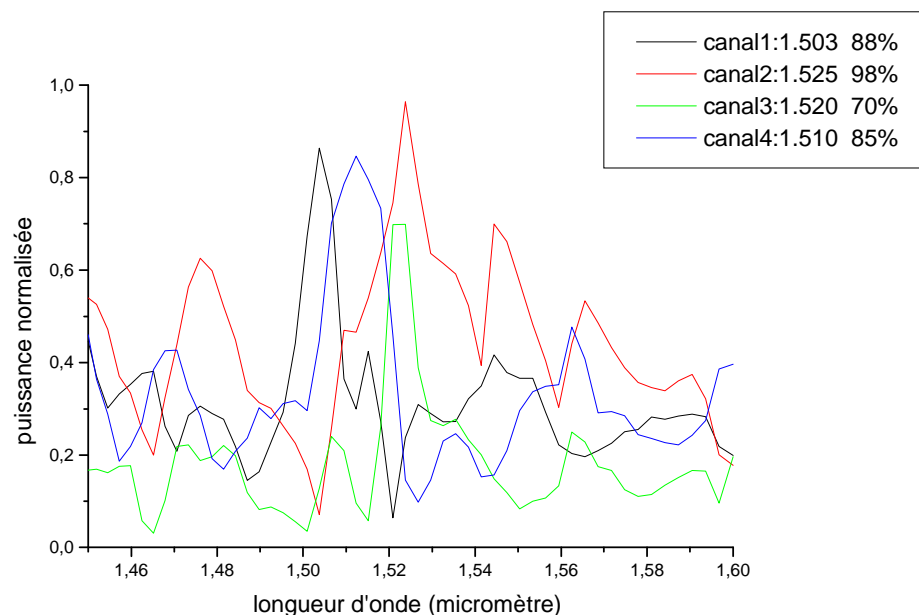


Figure 3 : Spectre sélectionné par différents canaux, calculé par le code FDTD

Comme le montre le graphe de la figure 3, les longueurs d'ondes démultiplexées sont :  $\lambda_1=1.503\mu\text{m}$ ,  $\lambda_2=1.510\mu\text{m}$ ,  $\lambda_3=1.520\mu\text{m}$ ,  $\lambda_4=1.525\mu\text{m}$ .

### **Conclusion**

Il est possible de contrôler la lumière dans les deux directions de l'espace tout en modifiant certains rayons des trous de l'une des parois d'un guide 2D en réalisant celui-ci dans un cristal photonique bidimensionnel. Dans ce cas c'est le couplage des modes qui est le responsable pour l'extraction des longueurs d'onde précises. Donc les guides d'onde à base des cristaux photoniques sont très utiles pour la réalisation de composants optiques planaires compacts et originaux comme le démultiplexeur en longueur d'onde (WDM) car ils ont les qualités requises de confinement et de dispersion. Cette première étude va nous permettre dans l'avenir d'augmenter le nombre de canaux à démultiplexer.

### **Références**

1. S. Fan, P. R. Villeneuve, J. D. Joannopoulos, and H. A. Haus, "Channel drop tunneling through localized states," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 80 (1998) 960-963.
2. N. Dib, R. Naoum, N. Benseddik " Design of a Wavelength Separator Based on Crystal Photonics" *Sensor Let.* 7 (2009) 1-5.
3. M.V. Kotlyar, T. Karle, M.D. Settle, L. O'Faolain, T.F. Krauss, *Applied Physics Letters* 84 (2004) 3588-3590.
4. M. Bayindir and E. Ozbay *Opt. Express* 10 (2002) 1279-1284
5. M. Bayindir, B. Temelkuran and E. Ozbay, *Appl. Phys. Lett.*, 77 (2000) 3902-3904.
6. S. Olivier, "Nouvelles structures miniatures dans les cristaux photoniques bidimensionnels planaires pour les fonctions de l'optique intégrée", *Thesis in Electronique-Physique*: Université Paris VI, 2002.
7. L. Martinelli, H. Benisty, O. Khayam, G. H. Duan, H. Heidrich, and K. Janiak, "Analysis and Optimization of Compact Demultiplexer Monitor Based on Photonic-Crystal Waveguide", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 25 (2007) 2385-2394.

(2010) <http://www.jmaterenvirosci.com>