



**HAL**  
open science

# Exploitation de la sélectivité modale dans un coupleur directionnel intégré pour des applications de filtrage/adressage

Alberto Parini, Y.G. Boucher

► **To cite this version:**

Alberto Parini, Y.G. Boucher. Exploitation de la sélectivité modale dans un coupleur directionnel intégré pour des applications de filtrage/adressage. Assemblée générale du GDR Ondes “Interférences d’Ondes”, Oct 2015, Lyon, France. hal-01286930

**HAL Id: hal-01286930**

**<https://hal.science/hal-01286930v1>**

Submitted on 11 Mar 2016

**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.

# Exploitation de la sélectivité modale dans un coupleur directionnel intégré pour des applications de filtrage/adressage

Alberto Parini<sup>1</sup>, Yann G. Boucher<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>: Laboratoire FOTON (UMR CNRS 6082), ENSSAT, CS 80518, 22305 Lannion cedex

<sup>2</sup>: ENIB, Technopôle Brest-Iroise, CS 73862, 29638 Brest cedex 3  
[alberto.parini@univ-rennes1.fr](mailto:alberto.parini@univ-rennes1.fr), [yann.boucher@enib.fr](mailto:yann.boucher@enib.fr)

## Résumé

Nous proposons d'exploiter la sélectivité modale d'un coupleur directionnel, afin de réaliser des fonctions de filtrage et d'adressage pour la photonique intégrée sur silicium.

## 1. Introduction

Un obstacle majeur vers l'intégration encore plus massive des réseaux et composants électroniques sur puces est lié aux contraintes de débit et de consommation énergétique, qui augmentent avec la complexité des topologies. Pour contourner ces limites, une solution consiste à se tourner vers des architectures hybrides électronique-photonique, où les interconnexions entre les éléments fonctionnels (noyaux de calcul, bancs de mémoire...) sont assurées au moyen de liaisons optiques et non plus électriques.

Dans les dernières années, un énorme travail a été mené par la communauté scientifique, à la recherche non seulement de dispositifs (sources, détecteurs, éléments de routage) mais aussi de topologies d'interconnexion plus adaptées pour l'implémentation de réseaux optiques à une échelle micrométrique [1]. La plupart des solutions proposées jusqu'à présent sont de type WDM (Wavelength Division Multiplexing), où les canaux de communication sont alloués à différentes fréquences, et où le routage est implémenté au moyen d'éléments sélectifs en longueur d'onde (micro-résonateurs ou interféromètres de Mach-Zehnder).

Une limitation courante de l'approche WDM est la difficulté d'intégrer de manière effective plusieurs sources laser sur une même plate-forme silicium. Afin de limiter le recours à de nombreuses sources, et ainsi de réduire l'empreinte de la circuiterie optique, une solution est d'exploiter des techniques de multiplexage modal (MDM-Mode Division Multiplexing) [2-3]. Ici les différents canaux de communications sont alloués aux différents modes d'un guide multimode, et la même source laser peut être exploitée pour moduler plusieurs "modes".

Afin d'exploiter cette technique, il est nécessaire de concevoir des structures de multiplexage-démultiplexage capables d'adresser de manière sélective un mode parmi plusieurs.

Nous nous intéressons ici à une structure basée sur un guide d'onde spatialement bimodal, et à la conception d'un coupleur directionnel modalement sélectif. L'enjeu consiste à discriminer les canaux en présence avec un taux de réjection suffisant.

## 2. Le coupleur bimodal

Le coupleur bimodal, de longueur totale d'interaction  $L$ , est schématiquement présenté sur la figure 1. Chaque guide, supposé sans pertes, est conçu de telle sorte qu'il transporte séparément deux modes : le mode fondamental (d'ordre 0, symétrique, lent, noté  $s$ ), et un mode plus élevé (d'ordre 1, antisymétrique, rapide, noté  $a$ ).

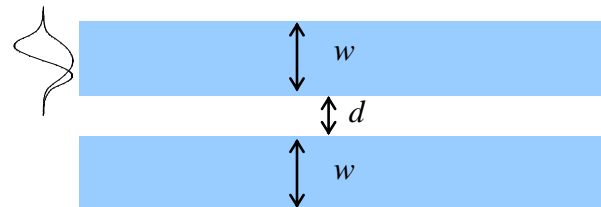


Figure 1. Vue de dessus du coupleur symétrique bimodal, constitué de deux guides d'onde identiques de largeur  $w$  à deux modes chacun, séparés par un interstice  $d$ .

Pour des raisons de symétrie, le seul couplage possible d'un guide à l'autre se produit entre deux modes de même nature. D'un point de vue qualitatif, le mode fondamental étant plus confiné, le couplage codirectionnel est moins fort que dans le cas antisymétrique. Cependant, la valeur des constantes de couplage ( $\chi_s$ ,  $\chi_a$ ) par unité de longueur n'est pas le seul paramètre à prendre en compte : la distance totale d'interaction intervient également. Mieux encore, la symétrie du problème, et l'accord de phase automatique entre les guides, garantissent l'existence d'une (de) longueur(s) d'interaction optimale(s) pour un échange complet d'énergie d'un guide à l'autre :  $\chi_s L_s \equiv \pi/2$  [ $\pi$ ],  $\chi_a L_a \equiv \pi/2$  [ $\pi$ ]. Il est dès lors possible en principe de concevoir une structure qui présente des taux de couplage très différents d'un mode à l'autre.

## 3. Modélisation et simulations

La structure considérée est un guide *ridge* rectangulaire en SOI ( $n = 3,45$ ) noyé dans un substrat homogène  $\text{SiO}_2$  ( $n = 1,45$ ) ; la longueur d'onde de travail est dans la bande télécom ( $\lambda_0 \approx 1,55 \mu\text{m}$ ). La hauteur du guide isolé est de 250 nm, sa largeur  $w = 900 \text{ nm}$ .

Une telle structure peut être simulée en première approximation dans le cadre d'un modèle planaire, qui présente l'avantage de donner directement accès aux paramètres de couplage. En réduisant la dimensionnalité du problème selon une approximation d'indice effectif, l'indice équivalent du guide planaire vaut  $n_{\text{guide}} = 2,911$ .

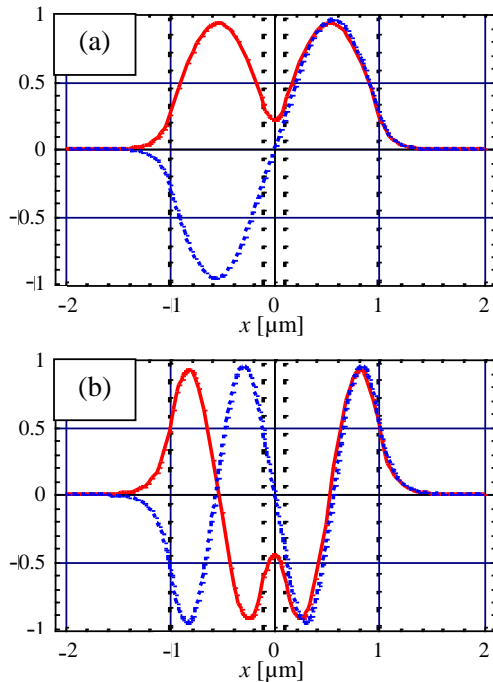


Figure 2. Profil d’amplitude transverse normalisé des supermodes dans l’approche planaire, pour  $d = 200$  nm. (a) ordre 0 ; (b) ordre 1.

Les coefficients de couplage sont directement reliés à la différence des constantes de propagation paire et impaire [4-5]. Les longueurs caractéristiques de couplage sont estimées à  $L_s \approx 91,705$   $\mu\text{m}$  et  $L_a = 19,416$   $\mu\text{m}$ , dans un rapport  $(\chi_d/\chi_s) = (L_s/L_a) \approx 4,723$ .

Sous réserve de bien maîtriser l’épaisseur des couches, le calcul montre qu’en augmentant de 4 nm seulement l’interstice  $d$ , ce même rapport est porté à 4,751. Or, 4,75 est une valeur idéale pour discriminer les modes, car si :

$$\exists (p, q) \in \mathbb{N}^2, \quad \frac{\chi_a}{\chi_s} = \frac{2p+1}{2q},$$

alors il existe une longueur d’interaction  $L$  telle que

$$L = (2p+1)L_a = (2q)L_s.$$

En d’autres termes, le mode d’ordre 1 (a) est intégralement transmis tandis que le mode d’ordre 0 (s) est ramené sur le guide d’origine [Fig. 3]. Ceci est ici accessible pour  $p = 9$ ,  $q = 2$ , soit  $L$  de l’ordre de 370  $\mu\text{m}$ .

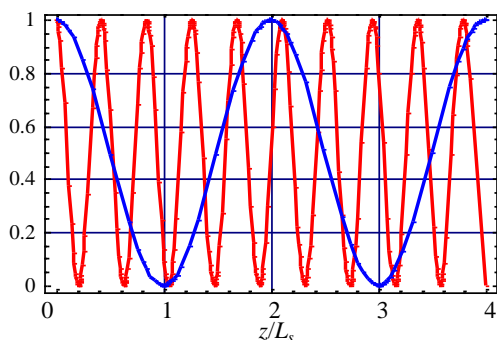


Figure 3. Transfert d’énergie schématique d’un guide à l’autre pour les deux supermodes dans le cas où  $(L_s/L_a) = 4,75$  et  $L = 4 L_s$ . Le contraste est alors total.

D’un point de vue numérique, le modèle planaire donne une bonne estimation des tendances, mais cette réduction s’accompagne nécessairement d’erreurs sur les constantes de couplage : une simulation 2D-FDTD plus complète nous permet d’affiner notre approche [Fig.4]. Un bon contraste s’avère accessible sur des longueurs d’interaction réalistes.

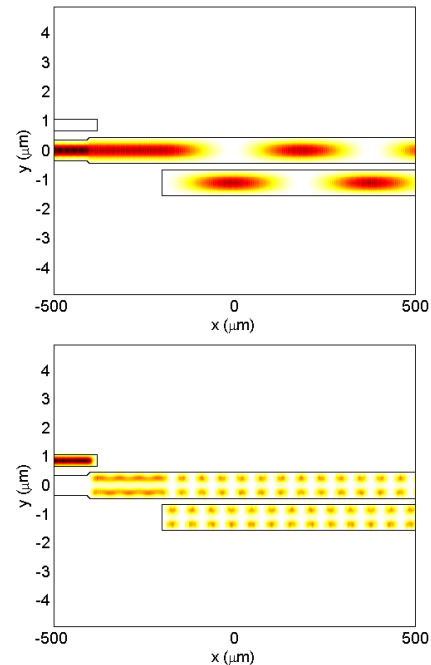


Figure 4. Simulation numérique du couplage, selon que le mode injecté de gauche à droite est le symétrique (s) ou l’antisymétrique (a).

## 4. Conclusion

Le modèle analytique et la simulation numérique concordent qualitativement pour aider à concevoir un aiguilleur modal compact et sélectif. L’estimation des tolérances est actuellement à l’étude.

## 5. Remerciements

Ce travail s’inscrit dans le cadre du projet *3D Optical Many-Core*, porté et soutenu par le LabEx CominLabs : <http://www.3d-opt-many-cores.cominlabs.ueb.eu/>

## 6. Bibliographie

- [1] Poon, A.W., Xianshu Luo, Fang Xu and Hui Chen, “Cascaded Microresonator-Based Matrix Switch for Silicon On-Chip Optical Interconnection,” in Proceedings of the IEEE , vol.97, no.7, pp.1216-1238, July 2009.
- [2] Y. Ding, J. Xu, F. Da Ros, B. Huang, H. Ou, and C. Peucheret, “On-chip two-mode division multiplexing using tapered directional coupler-based mode multiplexer and demultiplexer”, Opt. Exp., vol.21 (8), pp. 10376-10382, 2013.
- [3] C. Peucheret, Y. Ding, J. Xu, F. Da Ros, A. Parini, and H. Ou, “Signal Processing for On-Chip Space Division Multiplexing,” Advanced Photonics 2015 OSA Technical Digest (online), paper SpT2E.3, July 2015.
- [4] A. Yariv & P. Yeh, “Optical Waves in Crystals,” Wiley, 1984.
- [5] Y.G. Boucher, “Analytical model for the coupling constant of a directional coupler in terms of slab waveguides”, Opt. Engin. vol.53 (7), 071810, 2014.