

SYSTÈME DE COUPLAGE À BASE DE GUIDE D'ONDE À FENTE POUR MICRORESONATEURS INTÉGRÉS

Alejandro Lorenzo-Ruiz¹, Charles Cornet¹, Alexandre Beck¹, Laurent Pedesseau¹, Yoan Léger¹

¹ Univ Rennes, INSA, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, F-35000 Rennes, France

alejandro.ruiz@insa-rennes.fr

RÉSUMÉ

La conversion entre les gammes spectrales télécom et Datacom est l'une des fonctionnalités les plus demandées dans les dispositifs photoniques intégrés. Cette conversion peut être effectuée par doublage de fréquence. Les microdisques en semiconducteur III-V sont des composants photoniques compacts parfaitement adaptés pour ces applications mais ils nécessitent un système de couplage intégré efficace à deux longueurs d'onde différentes. Nous proposons ici d'utiliser le couplage évanescent entre un guide d'ondes à fente et un microrésonateur, améliorant l'efficacité significativement nette du dispositif

MOTS-CLEFS : *microrésonateur; doublage de fréquence; photonique intégrée;*

1. INTRODUCTION

Bien qu'elle soit présente dans tous les aspects de notre vie depuis quelques décennies, l'électronique rencontre encore plusieurs problèmes pour les télécommunications à haut débit. L'un d'entre eux est l'inefficacité de l'acheminement des données dans les circuits en raison des pertes résistives et capacitives, pertes qui augmentent avec le débit. Les circuits intégrés photoniques ont l'avantage de présenter beaucoup moins de pertes et permettent le multiplexage pour le routage de données sur puce [1]. La conversion de longueur d'onde est l'une des fonctionnalités les plus demandées pour ces circuits notamment pour l'échange de données entre les communications inter-puces. Les effets non linéaires, et donc l'efficacité de conversion augmentent avec la valeur du champ électrique. L'utilisation de microcavité à haut facteur de qualité permet d'atteindre de fortes valeurs de champ électrique. L'emploi des modes de galerie (MG) de microdisques s'est particulièrement développée ces dernières années par exalter un effet non linéaire d'ordre 2 dans les semiconducteurs III-V [2][3].

Pour maximiser l'efficacité de conversion, il est nécessaire de remplir la condition d'accord de phase. Le mécanisme permettant d'atteindre ce dans ces cas et de compenser la dispersion est connu sous le nom de quasi-accord de phase (QPM). Dans les résonateurs à MGs, le QPM peut utiliser la symétrie $\bar{4}$ du semiconducteur III-V [4] ou avec la randomicité du cristal[5], car le seul accord de phase modale n'est pas viable en raison des restrictions du système. Outre cette optimisation, l'efficacité de conversion totale dépend aussi des mécanismes d'injection et d'extraction qui sont souvent négligés. Généralement, le couplage est réalisé par un seul et même guide d'onde ce qui empêche d'optimiser le couplage aux deux longueurs d'onde simultanément. Une seconde option consiste à utiliser deux guides d'ondes distincts : l'un pour injecter à la longueur d'onde fondamentale et le second pour extraire le signal à la seconde harmonique. Toutefois, cette option dégrade significativement le facteur de qualité du microrésonateur aux deux longueurs d'onde.

Nous proposons ici l'utilisation d'un guide d'onde à fente pour augmenter simultanément l'efficacité du couplage des signaux d'entrée et de sortie tout en limitant les pertes par rapport à la seconde option.

2. DESCRIPTION DE L'ÉTUDE

Afin de maximiser le couplage, il faut que l'onde lumineuse se propage à la même vitesse dans le guide d'onde et dans le micro-disque. En d'autres termes, cela signifie qu'il faut que la constante de propagation (β) du mode se propageant dans le guide d'onde soit égale à la constante de propagation

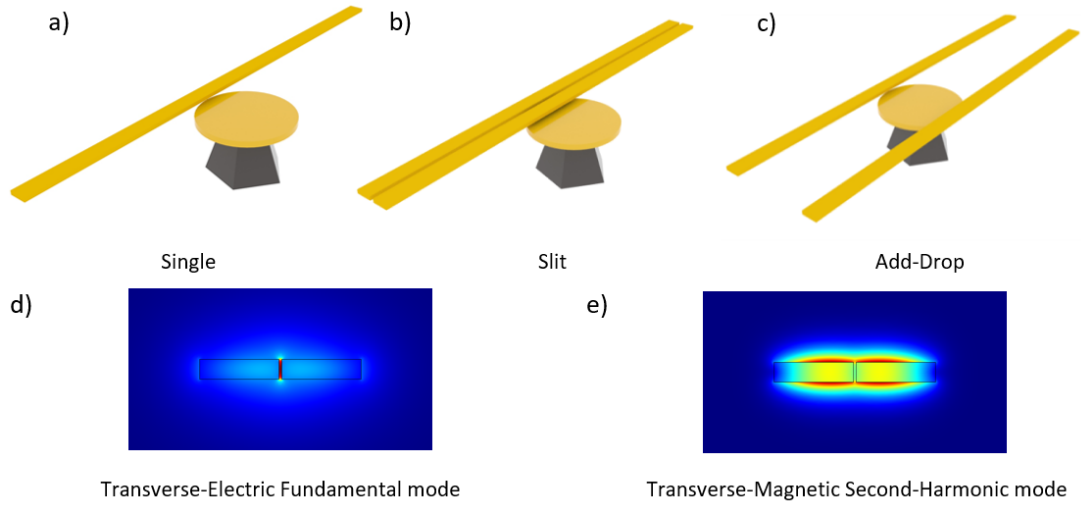


FIGURE 1: a) b) et c) : Vue 3D du système à simple guide, du guide à fente et configuration double guide respectivement. d) et e) : Profil du mode fondamental-TE et du mode second harmonique-TM pour un guide d'ondes à fente.

effective des MG du microdisque (β_{eff}). L'efficacité du couplage est quantifiée par le rapport de la puissance injectée dans le microdisque sur la puissance incidente, autrement appelé "build-up factor" (BUP).

La génération de seconde harmonique dans les microdisques en semiconducteurs III-V implique que les modes correspondant au fondamental et seconde harmonique soient respectivement polarisés TE et TM. Dans le cas d'un guide d'onde à fente et d'après la théorie des supermodes, les modes TM sont principalement confinés dans les rubans tandis que les modes TE sont principalement confinés dans la fente (Fig. 1). Ainsi, les constantes de propagation $\beta_{\omega TE}$ et $\beta_{2\omega TM}$ peuvent être ajustées indépendamment en modifiant la largeur de la fente et il devient possible de les faire correspondre à la constante β_{eff} du microdisque.

Le couplage entre le guide d'ondes à fente et le microdisque est étudié par la méthode des éléments finis (FEM) et par la méthode de différences finies dans le domaine temporel (FDTD). L'influence de différents paramètres géométriques pouvant être contrôlés durant le processus de fabrication est étudiée de façon à optimiser simultanément le couplage des modes fondamental et seconde harmonique.

La géométrie du microdisque est fixée par les études précédentes [5] afin de satisfaire à la condition de concordance $\bar{4}$ quasi-accord de phase [6], mêmes nombres radial et planaire ainsi que la condition sur le nombre azimuthal $m_{2\omega} - 2m_{\omega} = \Delta m = \pm 2$ entre un champ fondamental à $2\mu m$ et un champ seconde harmonique à $1\mu m$.

3. RÉSULTATS

Les résultats de simulations montrent une forte dépendance de β_{TE} et β_{TM} en fonction de la géométrie du guide d'ondes (simple ou à fente, fig. 2). La différence entre β_{TE} et β_{TM} est suffisamment élevée pour permettre la sélection des modes de résonance du microdisque à coupler.

La courbe de dispersion d'un guide d'onde ruban dont la géométrie a été choisie pour obtenir une désaccord nul avec le microdisque à $2\mu m$, montre la nécessité de diminuer la constante de propagation pour la seconde harmonique. Une diminution de l'épaisseur du guide d'onde peut résoudre le problème avec un guide simple, $\beta_{2\omega TM} = \beta_{eff, 2\omega}$, au détriment de perdre le $\Delta = 0$ avec le fondamental. Dans le cas du guide à fente, les paramètres géométriques influençant différemment les supermodes TE et TM, le calcul des courbes de dispersion permet d'ajuster la géométrie pour trouver les intersections optimisant le couplage dans les 2 gammes de longueur d'onde.

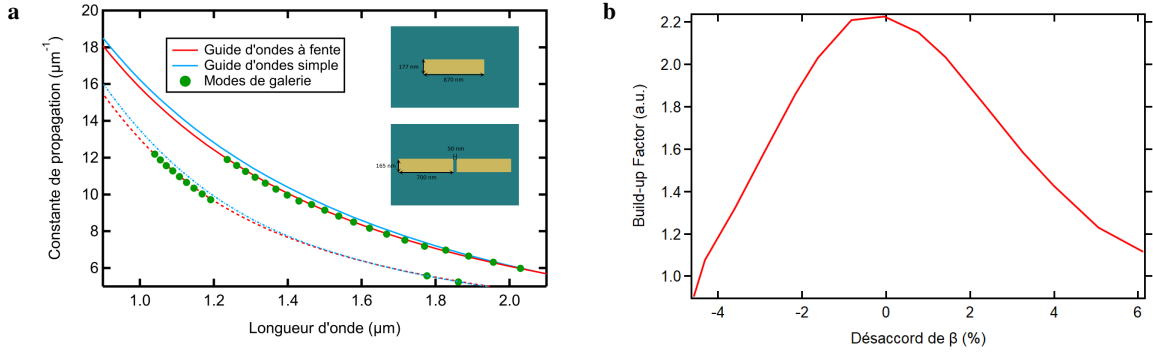


FIGURE 2: a) : Diagrammes de dispersion d'un guide ruban simple, d'un guide à fente et d'un microdisque pour des géométries optimisées. b) : BUP du couplage entre un guide d'onde à fente et un microdisque pour le deuxième harmonique.

La figure 2b montre l'évolution du BUP pour la seconde harmonique en fonction du désaccord entre les constantes de propagation. L'efficacité de couplage diminue très vite avec $\Delta\beta$, ce qui souligne l'importance d'un très bon ajustement des courbes de dispersion pour maximiser l'efficacité réelle de conversion. Pour le guide à fente le désaccord calculé en seconde harmonique montre que pour un désaccord de 4% (Fig.2a), diminue le couplage un 25%.

4. CONCLUSIONS

Notre étude montre l'importance du désaccord des constantes β sur le couplage entre guide d'ondes et microdisque et donc sur l'efficacité de conversion totale du système. Nous avons proposé un schéma de couplage prometteur entre microdisques et des guides d'ondes à fente pour la conversion de fréquence. L'utilisation de guides d'ondes à fente permet ainsi un couplage optimal des champs optiques, simultanément à la fréquence fondamentale et à la seconde harmonique. Cette optimisation simultanée est rendue possible grâce à un paramètre géométrique supplémentaire par rapport à la configuration usuelle à guide d'onde simple.

Ce travail est financé par l'agence nationale de recherche française via le projet ORPHEUS ANR-16-CE24-0029-01.

RÉFÉRENCES

- [1] A. H. Atabaki, S. Moazeni, F. Pavanello, H. Gevorgyan, J. Notaros, L. Alloatti, M. T. Wade, C. Sun, S. A. Kruger, H. Meng *et al.*, "Integrating photonics with silicon nanoelectronics for the next generation of systems on a chip," *Nature*, vol. 556, no. 7701, p. 349, 2018.
- [2] Y. Dumeige and P. Feron, "Whispering-gallery-mode analysis of phase-matched doubly resonant second-harmonic generation," *Physical Review A*, vol. 74, no. 6, p. 063804, 2006.
- [3] P. Guillemé, J. Stervinou, T. Rohel, C. Cornet, D. Gachet, S. Balac, F. Mahé, Y. Dumeige, and Y. Léger, "Cathodoluminescence hyperspectral analysis of whispering gallery modes in active semiconductor wedge resonators," *Optics letters*, vol. 43, no. 8, pp. 1766–1769, 2018.
- [4] P. S. Kuo, J. Bravo-Abad, and G. S. Solomon, "Second-harmonic generation using-quasi-phases matching in a gaas whispering-gallery-mode microcavity," *Nature communications*, vol. 5, p. 3109, 2014.
- [5] P. Guillemé, Y. Dumeige, J. Stodolna, M. Vallet, T. Rohel, A. Létoublon, C. Cornet, A. Ponchet, O. Durand, and Y. Léger, "Second harmonic generation in gallium phosphide microdisks on silicon : from strict to random quasi-phase matching," *Semiconductor Science and Technology*, vol. 32, no. 6, p. 065004, 2017.
- [6] P. Guillemé, M. Vallet, J. Stodolna, A. Ponchet, C. Cornet, A. Létoublon, P. Feron, O. Durand, Y. Léger, and Y. Dumeige, "Antiphase domain tailoring for combination of modal and 4th-quasi-phase matching in gallium phosphide microdisks," *Optics express*, vol. 24, no. 13, pp. 14 608–14 617, 2016.