

# METAMATERIAU SUB- $\lambda$ POUR LE CONTROLE DU COUPLAGE DANS LES RESEAUX DE GUIDES

A.Talneau, F.Hentinger et N.Belabas

CNRS-C2N Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, 10 Bd Thomas Gobert, F-91120 Palaiseau

[anne.talneau@c2n.upsaclay.fr](mailto:anne.talneau@c2n.upsaclay.fr)

## RÉSUMÉ

Dans les réseaux de guides couplés pour la photonique silicium, la géométrie sub-longueur d'onde du couplage permet un contrôle précis de la constante de couplage. Ce contrôle donne accès à des fonctionnalités optiques avancées, comme la très forte isolation optique obtenue avec un réseau chirpé proposé par El Ganainy et al [3].

**MOTS-CLEFS :** *Nanophotonique, Modes guidés, Guides couplés, Metamatériaux sub- $\lambda$*

## 1. INTRODUCTION

Dans les réseaux de guides couplés, la diffraction discrète permet de réaliser des fonctions optiques comme la direction de faisceaux ou leur focalisation [1]. Pour un fonctionnement performant et ajustable, un contrôle précis de la constante de couplage est nécessaire [2-3], ce qui est difficile à obtenir avec des guides silicium -Si- sur substrat SOI à cause du fort contraste d'indice entre le Si et l'air. Cette contribution propose une nanostructuration sub- $\lambda$  2D du couplage par un réseau de trous, qui peut être ainsi ajusté finement et à volonté en variant la géométrie et la position des trous. Cette géométrie 2D permet d'ajuster le couplage transversalement entre guides, et aussi selon la direction de propagation. Les erreurs de fabrication impactent relativement peu la valeur de C dans le cas des forts couplages, ce qui est recherché pour rendre les dispositifs plus compacts. Au-delà, on peut prendre avantage de la périodicité dans la direction de propagation pour un fonctionnement sélectif en longueur d'onde, comme démontré pour un filtre à double périodicité [4].

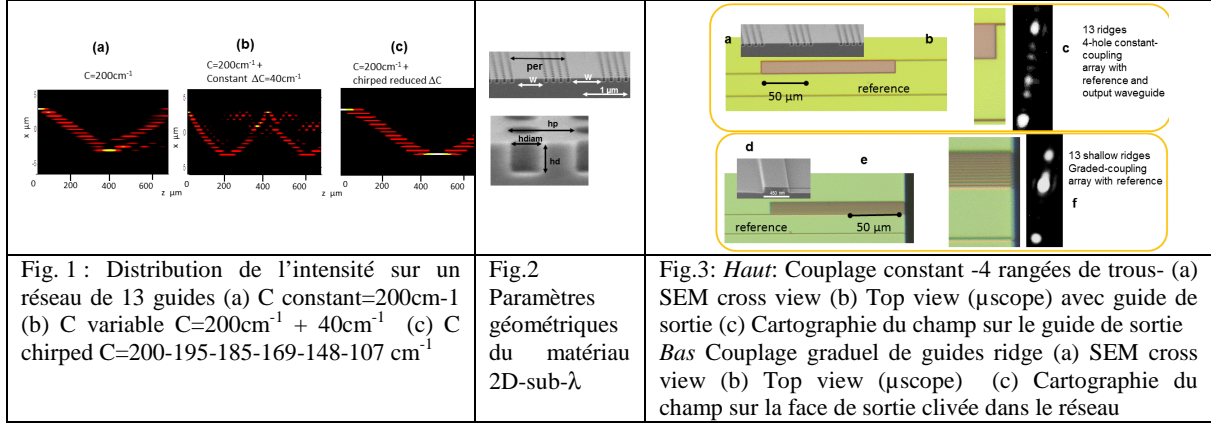
## 2. CONCEPTION DE LA CONSTANTE DE COUPLAGE

Le rôle de la précision sur la valeur de la constante de couplage -C- est étudié dans le cas du réseau chirpé proposé théoriquement par El Ganainy et al. [3] pour obtenir une isolation optique de 75dB dans le cas d'un dispositif intégré sur Si. Le champ incident est injecté sur le guide d'un bord du réseau et le champ réfléchi revient sur le guide du bord opposé, la non-réciprocité venant du phase-shift non réciproque apporté par le matériau non-réciproque collé sur le réseau de guides Si. Nous avons calculé la propagation de l'intensité par la théorie des modes couplés -CMT- sur un réseau de 13 guides quand la lumière est injecté sur un guide du bord Fig.1 pour (a) C constant (b)  $C+\Delta C$ ,  $\Delta C$  constant, et (c)  $C+\Delta C$ ,  $\Delta C$  variable symétriquement selon une loi en racine carrée comme proposée dans [3]. Augmenter le couplage avec  $\Delta C$  constant du centre vers les bords (cas b) du réseau réduit la dimension nécessaire pour le transfert, mais les effets de bord sont alors importants. Une variation chirpée  $\Delta C$  de plus en plus faible vers les bords (cas c) limite les effets de bord. On obtient alors la longueur voulue pour le réseau en faisant le choix adapté pour la valeur du couplage au centre du réseau.

## 3. CALCUL DU COEFFICIENT DE COUPLAGE SUB- $\lambda$

Le fonctionnement du réseau de guides est basé sur un couplage cohérent entre guides. Les erreurs de fabrication contribuent par des phases additionnelles qui perturbent la distribution du champ sur les guides. Un couplage par une géométrie de trous sub- $\lambda$  est décrite par 5 paramètres : la largeur des guides  $w$ , pour les trous : leur diamètre  $hdiam$ , leur profondeur  $hd$  leur période  $hp$ , et la

période du réseau  $per = w + \text{nombre de rangées}$ , comme détaillée en fig.2. Ces 5 paramètres permettent un ajustement précis de  $C$ . Cette géométrie opérant bien en dessous de son gap photonique est représentée par un matériau effectif uniaxial dont les 2 composantes ordinaire et extraordinaire sont calculées par une approche milieu effectif 1D [5] ou mieux par la décomposition en Ondes Planes –PWE method- du matériau périodique 2D [6].



#### 4. FABRICATION ET MESURE DE RESEAUX DE GUIDES A COUPLAGE CONSTANT ET VARIABLE

Des réseaux de guides couplés ont été fabriqués sur SOI par lithographie électronique et gravure sèche ICP-RIE. La Fig.3 montre les mesures réalisées sur un réseau de 13 guides, pour un couplage 2D par 4 rangées de trous et un couplage constant  $C=500\text{cm}^{-1}$  (Fig.3-a, b), et pour des guides ridge et un couplage variable  $C=200\text{cm}^{-1} + 40\text{cm}^{-1}$  (Fig.3-d-e). Un guide de référence a été placé à  $20\mu\text{m}$  du guide d'injection. Les réseaux sont mesurés sur un set-up end fire contrôlé en polarisation à  $1570\text{nm}$ . L'injection est faite sur le guide du bord du réseau, le champ est imagé soit sur un guide de sortie sur l'autre bord du réseau (Fig.3-c) ou sur la face de sortie clivée du réseau (fig.3-f). Les cartographies mesurées sont en accord raisonnablement correct avec la simulation.

#### CONCLUSION

Un métamatériau sub- $\lambda$  2D peut permettre un contrôle précis et sur mesure du couplage dans un réseau de guides, en particulier dans le cas de fort couplage, donnant accès à des dispositifs de taille réduite. Des résultats préliminaires démontrent le fonctionnement d'un réseau à couplage variable.

Ce contrôle précis est nécessaire pour les bonnes performances par exemple d'un isolateur optique [3] ou d'un modulateur basé sur le transfert adiabatique dans un réseau de 3 guides [7]. La variation dans le sens de la propagation peut aussi être utilisée pour des fonctions optiques sélectives en longueur d'onde.

#### RÉFÉRENCES

- [1] D.N.Christodoulides and E.D.Eugenieva, "Blocking and Routing Discrete Solitons in Two-Dimensional Networks of Nonlinear Waveguide Arrays" Phys. Rev. Lett., **87**,233901 (2001).
- [2] N.Belabas Plougonven , C.Minot, G.Bouwmans, A.Levenson and J.M.Moison "Discrete photonics resonator in coupled waveguide arrays"., Optics Express, **22**,12379 (2014)
- [3] R.El-Ganainy, A.Eisfeld, M.Levy and D.N.Christodoulides, "On-chip non-reciprocal devices based on quantum inspired photonic lattices" Appl. Phys. Lett., 103,161105 (2013).
- [4] A.Talneau et al., Opt. Lett. »Biperiodic nanostructured waveguides for wavelength-selectivity of hybrid photonic devices 40, 1541(2015) ,
- [5] P.Lalanne Opt. Soc. Am. A, "Effective medium theory applied to photonic crystals composed of cubic or square cylinders" 15, 1843 (1998) .,
- [6] K.Bougot-Robin et al., J. Light. Technol., **32**,3283 (2014)
- [7] M.Mrejen, H.Suchowski, N.Bachelard, Y.Wang and X.Zhang "Low-loss and energy efficient modulation in silicon photonic waveguides by adiabatic elimination scheme" App. Phys. Lett., 111,033105 (2017)