



**HAL**  
open science

## Réseaux métalliques pour le couplage dans des guides en dioxyde de titane

Manon Lamy, Kamal Hammani, Juan Arocas, Christophe Finot, Jean Claude Weeber

► **To cite this version:**

Manon Lamy, Kamal Hammani, Juan Arocas, Christophe Finot, Jean Claude Weeber. Réseaux métalliques pour le couplage dans des guides en dioxyde de titane. 36<sup>èmes</sup> Journées Nationales d'Optique Guidée, SFO, Jul 2016, Bordeaux, France. hal-01312335

**HAL Id: hal-01312335**

**<https://hal.science/hal-01312335>**

Submitted on 5 May 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.

# RESEAUX METALLIQUES POUR LE COUPLAGE DANS DES GUIDES EN DIOXYDE DE TITANE

Manon Lamy, Kamal Hammani, Juan Arocas, Christophe Finot et Jean-Claude Weeber

<sup>1</sup> *Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de bourgogne UMR CNRS 6303, Université Bourgogne Franche-Comté, 21078 Dijon Cedex, France*

[kamal.hammani@u-bourgogne.fr](mailto:kamal.hammani@u-bourgogne.fr)

## RÉSUMÉ

Nous montrons la fabrication de réseaux métalliques enterrés entre deux couches de dioxyde de titane. En utilisant un supercontinuum, nous démontrons expérimentalement une efficacité de couplage supérieure à - 8 dB pour une bande passante à 3 dB supérieure à 80 nm.

**MOTS-CLEFS :** *TiO<sub>2</sub>; couplage par réseaux;*

## 1. INTRODUCTION

Le couplage efficace de la lumière se propageant dans une fibre optique vers un guide nanophotonique reste un besoin essentiel pour le développement futur des solutions optiques intégrées. Les deux principales techniques de couplage sont le couplage direct par la tranche (dit *end-fire* ou *butt-coupling*) ainsi que le couplage par réseaux. Le large désaccord entre la taille du mode en sortie de fibre optique et celui en entrée de guide photonique rend le couplage direct inefficace. Des méthodes complexes ont toutefois été développées pour atteindre de bons niveaux de couplage [1]. Mais la méthode basée sur les réseaux de diffraction est souvent préférée car permettant d'atteindre de très bonnes efficacités sans la forte précision d'alignement requise par le couplage direct [2]. Plus récemment, des réseaux métalliques ont été proposés à la place des réseaux gravés pour des raisons de simplicité de fabrication. Des efficacités de couplage supérieures à 50% et 34% ont été démontrées numériquement et expérimentalement, respectivement, par dépôts en surface d'un guide d'onde en silicium, à une longueur d'onde de 1550 nm [3].

Si la plupart des études se concentrent sur le silicium, le déploiement de solutions intégrées devra se faire aussi bien à 1550 nm pour être compatibles avec la bande C des télécommunications mais aussi avec les autres bandes d'intérêt dont les bandes à 1310 nm ou encore celle à 800 nm pour les communications courtes distances. Dans ce cas, le silicium en tant que guide devient inopérant et une plateforme alternative devient essentielle. Nous portons notre choix sur le dioxyde de titane. L'avantage du TiO<sub>2</sub> réside dans sa bande de transparence en longueur d'onde plus large que celle du silicium. Elle s'étend notamment vers les longueurs d'onde visibles du spectre. Un autre atout pour les applications non-linéaires est l'absence d'absorption à deux photons. Ici, nous proposons une approche faisant appel à des réseaux métalliques mais dans une configuration jusqu'à maintenant inexplorée. En effet, les réseaux sont enterrés dans un guide en dioxyde de titane.

## 2. DESIGN

Comme la Ref. [3], nous utilisons un réseau composé de traits rectilignes en or à la différence qu'il est enterré entre deux couches de TiO<sub>2</sub>. Cet oxyde est le matériau constituant le guide d'onde et a un indice de réfraction de 2.45 à 1550 nm. Le tout repose sur un substrat de verre SiO<sub>2</sub>. La structure est représentée schématiquement en Fig. 1(a). Notons que la présence d'un réseau métallique enterré, se traduit en surface, par un réseau en surface en dioxyde de titane.

Le logiciel commercial COMSOL Multiphysics a été exploité pour optimiser les paramètres du réseau et du guide pour une longueur d'onde  $\lambda$  de 1550 nm en tenant compte de nos contraintes expérimentales qui sont un angle d'incidence  $\theta$  de 30°. Les paramètres suivants ont ainsi été obtenus pour le mode TM : une période de réseau  $P$  de 1400 nm, une largeur de trait  $w_1$  de 666 nm, une couche d'or d'une hauteur  $h_{Au}$  de 56 nm et les couches supérieure et inférieure de hauteurs  $h_{inf}$

et  $h_{sup}$  de 65 nm et 190 nm respectivement. En prévision d'un élargissement possible des structures (des traits du réseau notamment) qui peut survenir lors de l'étape de lithographie par faisceau d'électrons, une largeur de trait  $w_1$  plus petite (500 nm) a finalement été retenue. La figure 1b montre l'efficacité de couplage simulée pour les paramètres optimaux en fonction de la longueur d'onde.

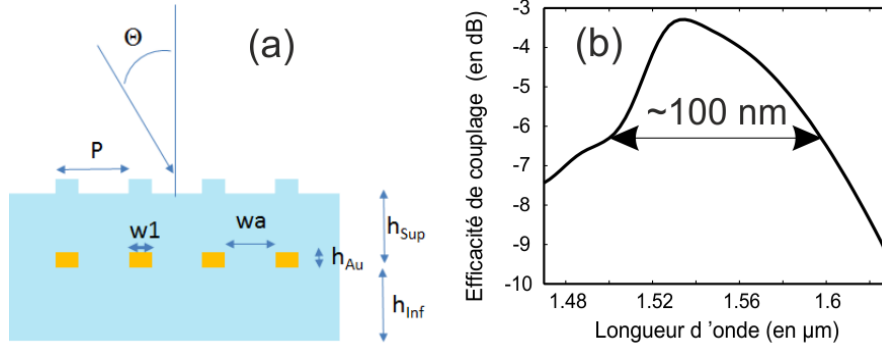


Fig. 1 : (a) Design des réseaux métalliques (b) Efficacité théorique de couplage en fonction de la longueur d'onde pour les paramètres de réseaux optimaux.

### 3. FABRICATION

Nous déposons les couches minces de dioxyde de titane sur des substrats de verre en utilisant une pulvérisation cathodique magnétron avec cible métallique en Titane couplée à un générateur en courant continu. Le dépôt se fait sous atmosphère contrôlée en ajustant le taux d'oxygène et d'argon. La Table 1 résume les paramètres utilisés.

Tab. 1 : Paramètres utilisés pour les dépôts de  $TiO_2$

Pression (mTorr)	O2 (sccm)	Ar (sccm)	Puissance	Temps (min)	Epaisseur (nm)
2.5	10	1.1	135	30	69
2.5	10	1.1	135	80	193

La première couche de  $TiO_2$  a été déposée sur une durée de 30 minutes. Puis une première lithographie par faisceau d'électrons a été menée sur une couche de résine de PMMA. Cela a permis de déposer 56 nm d'or par évaporateur thermique avec une couche d'accroche en chrome de 3nm. Après le lift-off et le second dépôt de  $TiO_2$ , une seconde lithographie a été menée pour générer les guides. Un dépôt de chrome et de nickel vient ensuite masquer les guides pour permettre l'étape de gravure sèche (RIE). Enfin, une gravure humide supprime le masque métallique et les guides sont prêts à être caractérisés. Les épaisseurs des deux couches de  $TiO_2$  ont été mesurées par un profilomètre :  $h_{inf}$  = 69 nm et  $h_{sup}$  = 193 nm.

### 4. RESULTATS EXPERIMENTAUX

La Figure 2a schématise le montage expérimental utilisé. L'injection et la collection du signal en entrée et en sortie du guide se fait à l'aide de *focusers* placés à  $30^\circ$  de la verticale. Deux caméras, visible et infrarouge, sont placées à la verticale au dessus du guide pour contrôler l'alignement. En entrée, nous utilisons une diode continue ajustable pour estimer l'efficacité de couplage en mesurant la puissance de sortie à l'aide d'un puissance-mètre. Étant donnée la plage limitée de la diode ajustable, nous générons également un supercontinuum dans une fibre hautement non-linéaire afin de contrôler les limites réelles du réseau. Dans ce cas, nous utilisons plutôt un analyseur de spectre pour estimer l'efficacité de couplage.

Plusieurs guides associés à des réseaux dont la période va de 1300 nm à 1500 nm, par pas de 25 nm, ont été fabriqués. Il s'avère que le réseau de période  $P=1375$  nm apporte expérimentalement la meilleure efficacité de couplage pour une longueur d'onde de 1550 nm.

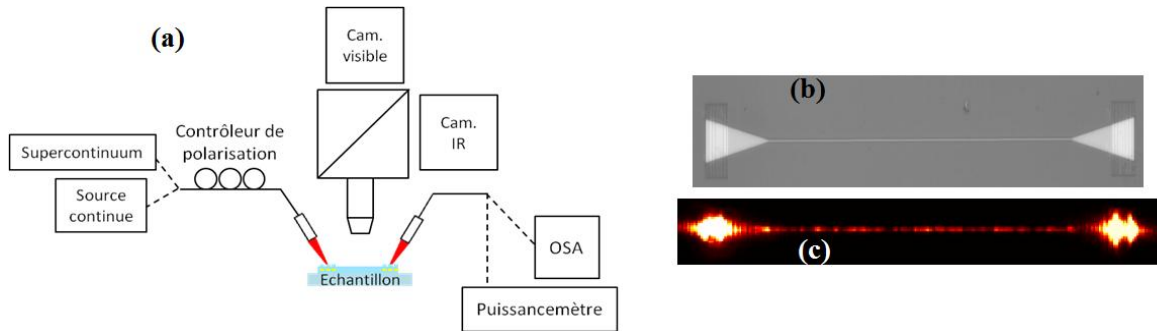


Fig. 2 : (a) Montage expérimental (b) Observation au microscope optique d'un guide avec tapers et réseaux aux extrémités. (c) Propagation de lumière infrarouge vue du dessus par une caméra IR

Nous observons Figure 3 que l'efficacité de couplage atteint -8 dB pour une bande passante de 86 nm à -3 dB. Il y a un accord qualitatif avec les simulations. Le désaccord de 4 dB sur l'efficacité maximale découle de plusieurs facteurs : les épaisseurs des couches et des réseaux, présence d'une couche d'accroche, pertes dues aux *focusers* (estimées à environ 1.5 dB par facette), défauts de fabrication...

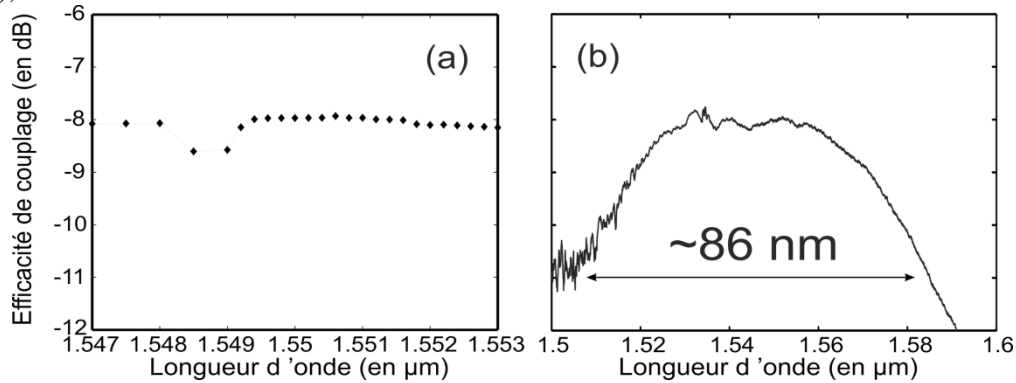


Fig. 3 : Courbe d'efficacité de couplage en fonction de la longueur d'onde (a) avec une source continue ajustable et (b) avec un supercontinuum généré dans une fibre optique

## CONCLUSION

Nous avons montré, pour la première fois, la fabrication de réseaux métalliques en or enterrés dans un guide en dioxyde de titane. Cela nous a permis de démontrer des pertes totales de couplage de 16 dB soit 8 dB en entrée et de même en sortie pour un signal dans la bande C des télécommunications et en polarisation TM. Les réseaux ont une bande passante de 50 nm et 86 nm à 1dB et à 3dB respectivement. Des voies restent à explorer pour augmenter encore les performances dont la possibilité de placer une couche métallique au fond du taper d'entrée servant de miroir [4] ou encore de considérer des réseaux paraboliques.

## REFERENCES

- [1] L. Chen, C. R. Doerr, Y. K. Chen, and T. Y. Liow, "Low-Loss and Broadband Cantilever Couplers Between Standard Cleaved Fibers and High-Index-Contrast Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> or Si Waveguides," *IEEE Photonic Tech. L.* 22, 1744-1746 (2010).
- [2] D. Taillaert, P. Bienstman, and R. Baets, "Compact efficient broadband grating coupler for silicon-on-insulator waveguides," *Opt. Lett.* 29, 2749-2751 (2004).
- [3] S. Scheerlinck, J. Schrauwen, F. Van Laere, D. Taillaert, D. Van Thourhout, and R. Baets, "Efficient, broadband and compact metal grating couplers for silicon-on-insulator waveguides," *Opt. Express* 15, 9625-9630 (2007).
- [4] W. S. Zaoui, M. F. Rosa, W. Vogel, M. Berroth, J. Butschke, and F. Letzkus, "Cost-effective CMOS-compatible grating couplers with backside metal mirror and 69% coupling efficiency," *Opt. Express* 20, B238-B243 (2012).