

FILTRES DE BRAGG EN CASCADE : BRISER LA COHERENCE DE PHASE POUR RENFORCER LA REJECTION

**Dorian Oser¹, Carlos Alonso Ramos¹, Florent Mazeas², Xavier Le Roux¹, Sébastien Tanzilli²,
Laurent Labonté², Laurent Vivien¹, Éric Cassan¹**

¹ *Centre de Nanosciences et Nanotechnologies, Université Paris-Saclay, 10 Boulevard Thomas Gobert, 91120 Palaiseau, France*

² *Institut de Physique de Nice, Université Nice-Sophia Antipolis, Parc Valrose, 06108 Nice, France*

dorian.oser@c2n.upsaclay.fr

RÉSUMÉ

Le filtrage à haut taux d'extinction sur puce est une fonctionnalité fondamentale de la photonique qui a des applications dans de nombreux circuits avancés. Cependant, la rejection des composants intégrés est limitée par l'accumulation de phase aléatoire générée par des imperfections dues à la fabrication. Pour remédier à ce problème, nous proposons et démontrons une nouvelle stratégie basée sur une mise en série de filtres de Bragg multimodes à réflexion dans un mode d'ordre supérieur. En exploitant cette propriété, il est possible de briser l'interaction entre les morceaux de filtres en incluant des sections de guide d'onde monomode entre deux réseaux individuels. Cette approche, qui est indépendante de la plateforme technologique, permet d'augmenter significativement le niveau de rejection pour une longueur de filtre donnée. Ce concept nous a permis de démontrer expérimentalement l'intégration d'un filtre de Bragg en silicium dont la rejection est supérieure à 80dB dans la bande C des télécoms.

MOTS-CLEFS : *SFWM ; multimode ; Bragg ; filtre optique*

1. INTRODUCTION

La plateforme silicon-on-insulator (SOI) permet de miniaturiser les circuits optiques tout en les fabriquant dans les fonderies CMOS actuelles. Ces composants photoniques à hautes performances optiques sont utilisés dans une pléthore d'applications, comme les télécoms [1], la spectroscopie [2], les technologies quantiques [3,4], etc. Dans diverses situations, la réalisation de filtres optiques hautement sélectifs est recherchée. Elle est facilement accessible par des structures interférométriques intégrées mais se complique notablement dès lors que des facteurs de réjection élevés sont recherchés ($\gg 40$ dB). Un bon exemple sont les sources de paires de photons sur silicium, qui ont un grand potentiel pour les applications de distribution de clés de cryptage quantique [5]. Ces sources exploitent le mélange à quatre ondes spontanées du silicium (SFWM) amplifié par une cavité pour générer des paires de photons intriquées sur de multiples modes spectraux, à partir d'un pompage optique. L'exploitation des photons générés par interaction non linéaire nécessite alors une rejection sur puce de plus de 100dB pour éliminer le signal de pompe [7].

2. CONCEPTION ET FABRICATION

Nous présentons ici une nouvelle stratégie pour l'implémentation sur puce de filtres à fort taux de rejection qui ne nécessitent aucun contrôle actif des composants. L'approche proposée, Fig. 1, exploite un guide d'onde multimode avec une corrugation de Bragg qui minimise les erreurs de fabrication [8]. La géométrie du filtre a été choisie pour que sa réflexion se fasse dans un mode guidé d'ordre supérieur. Cette réflexion est alors radiée par le guide monomode qui connecte les

sections de filtres entre elles. Cette stratégie générique permet une implémentation de forts taux de rejection sans l'utilisation de contrôle actif.

Des échantillons ont été fabriqués sur un substrat SOI avec une couche de silicium de 220 nm d'épaisseur. Le circuit a été écrit par lithographie électronique en seulement une étape et aucun composant actif n'a été inclus. Toutes les sections de filtres ont été naturellement alignées par le processus de fabrication choisi.

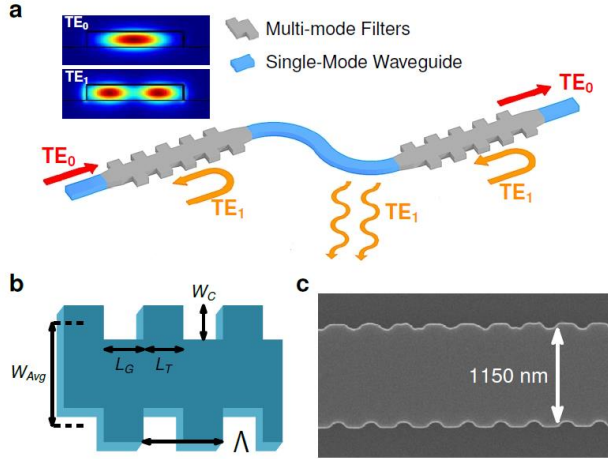


Fig. 1 : (a) Vue schématique du fonctionnement des filtres cascades, le mode fondamental (TE_0) est réfléchi dans le premier mode d'ordre supérieur (TE_1). Un guide monomode séparant les filtres radie la réflexion dans le mode TE_1 , minimisant l'interaction entre deux filtres successifs. (b) Schéma de la géométrie du filtre multimode. (c) Image par microscope électronique à balayage (MEB) de la structure.

3. RESULTATS

Pour démontrer les capacités de rejection optique de la stratégie que nous proposons, nous avons fabriqué un filtre d'une longueur totale de 2,5 mm, contenant 10 miroirs de Bragg modaux d'une longueur individuelle de 250 μm . La réponse du filtre a été mesurée grâce à système de scan en longueur d'onde et de détection automatique (CT400 de Yenista) et un photon-détecteur à haut sensibilité. Pour comparaison, nous avons inclus la réponse spectrale d'un guide de référence de 3,5 mm. Cette longueur inclut la longueur des miroirs (2,5 mm). Le filtre en question possède des pertes d'insertion mesurées hors de la bande interdite négligeables, dans les limites de précision imposées par l'alignement de la fibre et des tolérances de fabrication. La transmission du filtre dans la résonance est au niveau du bruit de notre analyseur spectral, et est de (au moins) 80dB de rejection sur puce. Cette rejection est, à notre connaissance, la plus grande démontrée pour des filtres de Bragg silicium.

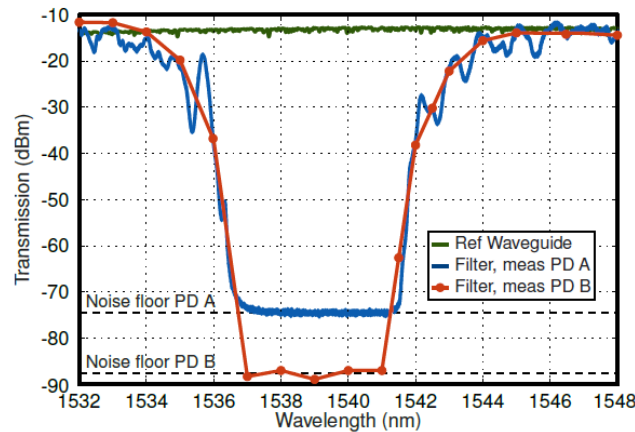


Fig. 2 : Spectre de transmission du filtre de Bragg modal cascadié avec une longueur totale de 2,5 mm, contenant 10 sections de Bragg de 250 μm de longueur individuelle. Les mesures ont été effectuées automatiquement par scan en longueur d'onde (CT400 de Yenista) PD A, et avec un photodétecteur à haute sensibilité PD B d'un analyseur spectral (Anritsu MS9710B). La transmission d'un guide de 3,5 mm de long est incluse pour comparaison.

Nous avons inclus ce filtre dans une source de paires de photons constituée d'une cavité en anneau et du filtre précédemment décrit. Dans cette première démonstration, le démultiplexage a été effectué hors de la puce avec seulement 20dB d'isolation. Cette source a généré des paires de photons télécom avec une visibilité brute $>95\%$. Ce résultat indique la très bonne rejection de la pompe effectuée par le filtre intégré.

CONCLUSION

Nous avons démontré une nouvelle stratégie utilisant des miroirs de Bragg cascades pour rejeter une pompe optique de forte puissance dans le but d'extraire un signal pour des applications d'optique quantique sur puce. Cette source de paires de photons complètement passive contient un filtre de rejection de pompe et constitue une étape importante vers l'intégration complète d'une source de photons annoncés. Les faibles pertes et la simplicité de cette approche permettent l'intégration de sources de paires de photons à haute fréquence de génération basées sur une seule étape de lithographie. Les paires générées ont une visibilité proche de 1, avec une pénalité négligeable sur la fréquence des paires créées par la cavité.

Ce filtre est prometteur pour la distribution de clés quantiques par une source de photons intriqués facilement intégrable.

REFERENCES

- [1] Frédéric Boeuf, Sebastien Cremer, Enrico Temporiti, Massimo Fere, Mark Shaw, Charles Baudot, Nathalie Vulliet, Thierry Pinguet, Attila Mekis, Gianlorenzo Masini, et al. Silicon photonics r&d and manufacturing on 300-mm wafer platform. *J. Light. Technol.*, 34(2):286–295, 2016.
- [2] Adrián Fernández Gavela, Daniel Grajales García, Jhonattan C Ramirez, and Laura M Lechuga. Last advances in silicon-based optical biosensors. *Sensors*, 16(3):285, 2016.
- [3] Emanuel Knill, Raymond Laflamme, and Gerald J Milburn. A scheme for efficient quantum computation with linear optics. *Nature*, 409(6816):46, 2001.
- [4] Florent Mazeas, Michele Traetta, Marco Bentivegna, Florian Kaiser, Djeylan Aktas, Weiwei Zhang, CA Ramos, LA Ngah, Tommaso Lunghi, E Picholle, et al. High-quality photonic entanglement for wavelength-multiplexed quantum communication based on a silicon chip. *Opt. Express*, 24(25):28731–28738, 2016.
- [5] Paul Jouguet, Sébastien Kunz-Jacques, Anthony Leverrier, Philippe Grangier, and Eleni Diamanti. Experimental demonstration of long-distance continuous-variable quantum key distribution. *Nature photonics*, 7(5):378–381, 2013.
- [6] Stefano Azzini, Davide Grassani, Michael J Strain, Marc Sorel, LG Helt, JE Sipe, Marco Liscidini, Matteo Galli, and Daniele Bajoni. Ultra-low power generation of twin photons in a compact silicon ring resonator. *Optics express*, 20(21):23100–23107, 2012.
- [7] Mateusz Piekarek, Damien Bonneau, Shigehito Miki, Taro Yamashita, Mikio Fujiwara, Masahide Sasaki, Hirotaka Terai, Michael G Tanner, Chandra M Natarajan, Robert H Hadfield, et al. High-extinction ratio integrated photonic filters for silicon quantum photonics. *Optics letters*, 42(4):815–818, 2017.
- [8] D. Oser, F. Mazeas, X. Le Roux, D. Perez-Galacho, O. Alibart, S. Tanzilli, L. Labonte, D. Marris-Morini, L. Vivien, E. Cassan, C. Alonso-Ramos, Coherency-broken Bragg filters: surpassing on-chip rejection limitations. *arXiv:1806.08833* (2018)