



**HAL**  
open science

## Etude théorique de l'efficacité de conversion d'un mélange à quatre ondes dans des micro-résonateurs intégrés en verres de chalcogénures

Enguerran Delcourt, Loïc Bodiou, Joël Charrier, Pauline Girault, Aldo Gutierrez, Yannick Dumeige, Nathalie Lorrain, Mohammed Guendouz, Luiz Poffo

### ► To cite this version:

Enguerran Delcourt, Loïc Bodiou, Joël Charrier, Pauline Girault, Aldo Gutierrez, et al.. Etude théorique de l'efficacité de conversion d'un mélange à quatre ondes dans des micro-résonateurs intégrés en verres de chalcogénures. 14ème Colloque international francophone sur les Méthodes et Techniques Optiques pour l'Industrie / 16ème congrès français du club FLUVISU/SFO (CMOI-FLUVISU 2015), Nov 2015, Pleumeur-Bodou, France. pp.171-176. hal-02429366v1

**HAL Id: hal-02429366**

**<https://hal.science/hal-02429366v1>**

Submitted on 6 Jan 2020 (v1), last revised 13 Jan 2020 (v2)

**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.

# Etude théorique de l'efficacité de conversion d'un mélange à quatre ondes dans des micro-résonateurs intégrés

*Enguerran Delcourt, Loïc Bodiou, Joël Charrier, Pauline Girault, Yannick Dumeige, Nathalie Lorrain, Mohammed Guendouz et Luiz Poffo*

*UMR FOTON, CNRS, Université de Rennes 1, Enssat, F22305 Lannion, France*

## 1. Introduction

Depuis ces dernières années, l'optique non-linéaire a vu le champ de ses applications se diversifier remarquablement. Les effets non-linéaires sont à la base de l'amplification paramétrique, de la génération d'harmonique, de la diffusion Raman stimulée et bien d'autres phénomènes optiques utilisés en métrologie et dans les télécommunications. Il est nécessaire de recenser les indices de réfraction non-linéaires des matériaux afin de pouvoir exploiter leur potentiel tout en se protégeant des effets pouvant dégrader les optiques et la propagation des faisceaux. Les méthodes permettant la mesure des indices de réfraction non linéaires se basent sur la variation d'observables spatiales par auto-focalisation (Z-Scan) ou temporelle (technique pompe-sonde colinéaire). Dans cet article, nous détaillons des simulations présentant l'efficacité d'un effet non-linéaire d'ordre 3 appelé mélange à 4 ondes selon les paramètres d'une structure résonante en hippodrome. Cette efficacité de conversion du mélange à 4 ondes pourrait ensuite être utilisée pour quantifier l'indice de réfraction non-linéaire ( $n_2$ ).

## 2. Mélange à 4 ondes dégénéré et structures résonantes

Le mélange à 4 ondes utilise l'amplification paramétrique pour transférer l'énergie d'une onde signal (s) vers une onde complémentaire (c) en présence de deux ondes pompes (p). Dans une cavité optique, par exemple avec un micro-résonateur intégré en forme d'hippodrome, la densité de puissance peut être augmentée d'un facteur noté FE en raison de la résonance de la structure. Ainsi, l'efficacité de conversion notée ( $\eta_{FWM}$ ) dépend de la puissance des pompes ( $P_p$ ), du paramètre non-linéaire ( $\gamma$ ), de la longueur effective de l'échantillon ( $L_{eff}$ ), du désaccord de phase ( $\Delta k$ ) et du facteur d'amélioration de la densité de puissance (FE) suivant l'équation (1). Avec de telles structures intégrées et résonantes, la mesure de l'indice de réfraction non-linéaire est rendue possible par l'optimisation du FE en modifiant les dimensions géométriques du guide et du micro-résonateur et les propriétés du matériau. Comme le montre l'équation (2), FE est lié au taux de couplage ( $\kappa$ ), de transmission ( $\tau$ ) (Figure 1) et aux pertes par tour ( $a$ ). Le taux de couplage ainsi que les indices effectifs permettant d'estimer le désaccord de phase sont calculés à partir des vecteurs d'ondes obtenus par la méthode de Marcatili [1].

$$\eta_{FWM} = (P_p \cdot \gamma \cdot L_{eff})^2 \text{sinc}^2\left(\frac{\Delta k L_{eff}}{2}\right) FE^8 \quad (1)$$

$$FE = \sqrt{\frac{\kappa^2 a^2}{(1 - a \cdot \tau)^2}} \quad (2)$$

$$\Delta k \approx \Delta\beta = \frac{n_{eff,s} w_s + n_{eff,c} w_c - 2n_{eff,p} w_p}{c} \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{2\pi n_2}{\lambda A_{eff}} \quad (4)$$

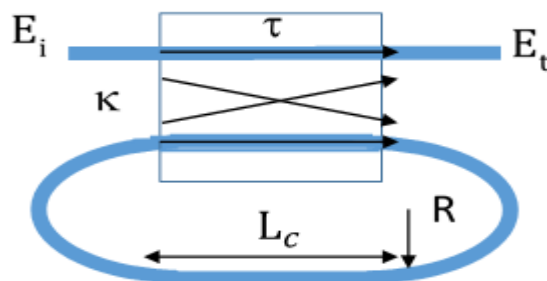


Fig. 1 : Représentation schématique d'un micro-résonateur avec son guide d'accès

### 3. Simulation de l'efficacité de conversion par mélange à 4 ondes

Afin de valider notre modèle, une comparaison entre les résultats de simulations et des valeurs expérimentales de  $\eta_{FWM}$  obtenues à  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$  dans des micro-résonateurs en Silicium [2] et en Hydex<sup>®</sup> [3] a été réalisée. Les dimensions et les gaps des structures utilisées dans [2,3] permettent un confinement suffisant du champ pour utiliser la méthode de Marcatili.

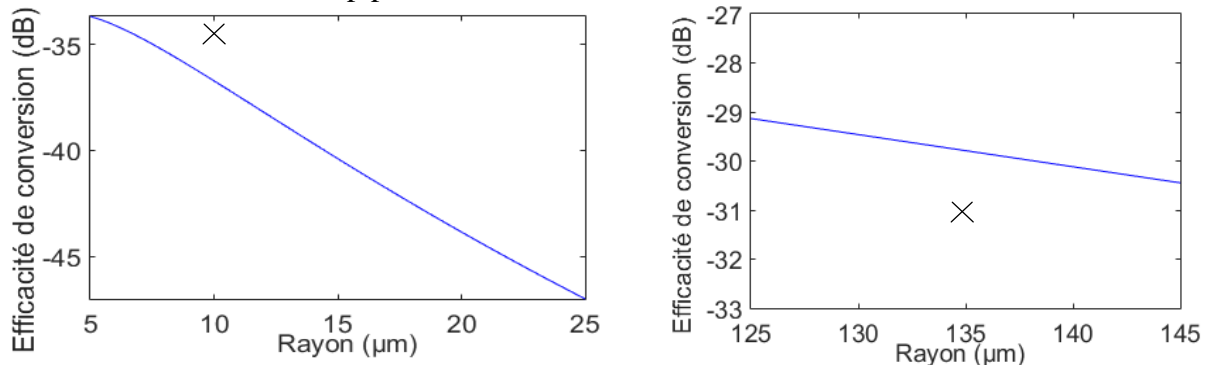


Fig. 2 (a) : Evolution de  $\eta_{FWM}$  en fonction du rayon de l'anneau pour un résonateur (a) en Silicium [2], avec une largeur du guide de  $0.4 \mu\text{m}$ , une hauteur de  $0.3 \mu\text{m}$ , un gap de  $0.2 \mu\text{m}$ ,  $\alpha = 3 \text{ dB/cm}$  et  $P_p = 1 \text{ mW}$ , (b) en Hydex<sup>®</sup> [3], avec une largeur du guide de  $1.5 \mu\text{m}$ , une hauteur de  $1.5 \mu\text{m}$ , un gap de  $0.8 \mu\text{m}$ ,  $\alpha = 0.06 \text{ dB/cm}$  et  $P_p = 8.8 \text{ mW}$ . Points expérimentaux.

Des résonateurs ayant un petit périmètre et donc un intervalle spectral grand présentent un désaccord de phase élevé. Au contraire, FE augmente pour les faibles périmètres de résonateurs.  $\eta_{FWM}$  peut toutefois être optimisée en tenant compte de ces effets antagonistes et de  $L_{\text{eff}}$ . Les Figures 2.a et 2.b montrent des résultats de simulations comparables aux résultats expérimentaux [2, 3] pour des  $n_2$  de  $6.5 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{W}$  pour le Silicium et de  $1.1 \times 10^{-19} \text{ m}^2/\text{W}$  pour l'Hydex<sup>®</sup>. Ces simulations sont donc adaptables pour une large gamme de  $n_2$  et de dimensions des guides. L'écart entre les simulations et les points expérimentaux peut être expliqué par l'utilisation dans les simulations du cas dégénéré tandis que les points expérimentaux sont obtenus pour des pompes non-dégénérées.

### 4. Conclusion

Un modèle de mélange à 4 ondes dans des structures résonantes a été développé et validé. Le modèle permet de calculer les dimensions géométriques optimales de résonateurs afin de maximiser  $\eta_{FWM}$  et de quantifier l'indice de réfraction non-linéaire sur une large gamme d'indice de réfraction non-linéaire. Ces simulations permettront de dimensionner des micro-résonateurs en verres de chalcogénures ou en polymères et de mesurer leur  $n_2$  à  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ .

### 5. Bibliographie

1. E. A. J. MARCATILI, « Dielectric Rectangular Waveguide and Directional Coupler for Integrated Optics », The Bell System Technical Journal, vol. 48, pp. 2071-2102, 1969
2. A. C. TURNER, M. A. FOSTER, A. L. GAETA & M. LIPSON, « Ultra-low power parametric frequency conversion in a silicon microring resonator », Opt.Express, vol. 16, n° 7, 2008
3. M. FERRERA, D. DUCHESNE, & L. RAZZARI, « Low power four wave mixing in an integrated micro-ring resonator with Q = 1.2 million », Opt.Express, vol. 17, n° 16, 2009