



HAL
open science

Observation de la diffusion Brillouin dans un guide d'ondes intégré de silice dopée à haut indice

M Zerbib, V T Hoang, J C Beugnot, K P Huy, B Little, S T Chu, D J Moss,
R Morandotti, Benjamin Wetzel, T Sylvestre

► **To cite this version:**

M Zerbib, V T Hoang, J C Beugnot, K P Huy, B Little, et al.. Observation de la diffusion Brillouin dans un guide d'ondes intégré de silice dopée à haut indice. Journées Nationales de l'Optique Guidée (JNOG 2023), SFO, Jul 2023, Lyon, France. hal-04308199

HAL Id: hal-04308199

<https://hal.science/hal-04308199v1>

Submitted on 27 Nov 2023

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.

Observation de la diffusion Brillouin dans un guide d'ondes intégré de silice dopée à haut indice

M. Zerbib¹, V. T. Hoang², J. C. Beugnot¹, K. P. Huy¹, B. Little³, S. T. Chu⁴, D. J. Moss⁵,
R. Morandotti⁶, B. Wetzels², and T. Sylvestre^{1,*}

1. Institut FEMTO-ST, CNRS-Université de Franche-Comté, 25030 Besançon, France

2. Université de Limoges, XLIM, UMR CNRS 7252, 123 Avenue A. Thomas, 87060 Limoges, France

3. QXP Technologies Inc., Xi'an, China

4. Department of Physics, City University of Hong Kong, Tat Chee Avenue, Hong Kong, SAR, China

5. Optical Sciences Centre, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Victoria, Australia

6. INRS-EMT, 1650 Boulevard Lionel-Boulet, Varennes, J3X 1S2, Québec, Canada

*Email: thibaut.sylvestre@univ-fcomte.fr

RESUME

Nous rapportons la première observation de la rétrodiffusion Brillouin dans un guide d'ondes de silice dopée à haut indice de 50 cm de long, et nous montrons que le décalage de fréquence de Brillouin mesuré à 16 GHz est en très bon accord avec les simulations numériques de l'équation élasto-dynamique.

MOTS-CLEFS : *Photonique intégrée; diffusion Brillouin stimulée*

1. INTRODUCTION

La diffusion Brillouin stimulée (SBS), par laquelle la lumière cohérente stimule et interagit avec les ondes élastiques d'un matériau optique, est un des premiers effets d'optique non linéaire avec des nombreuses applications pour le traitement tout optique du signal, des filtres micro-ondes, les capteurs distribués, les peignes de fréquence et les lasers à haute cohérence. Bien que cette diffusion inélastique ait été exploitée très tôt dans les fibres optiques pour réaliser ces fonctions optiques, ce n'est que récemment qu'elle a été observée dans des guides d'ondes intégrés compatibles CMOS à base de verre de silice (SiO_2), de chalcogénure (ChG), de silicium (Si), ou de nitrure de silicium (SiN) dans sa composition stoechiométrique (Si_3N_4) [1-4].

Dans cet article, nous rapportons l'observation de cette rétrodiffusion Brillouin dans un nouveau guide d'onde intégré en verre de silice dopée à indice élevé ($n=1.7$ à 1550 nm) [5], dont une coupe transversale est schématisée sur la figure 1(a). La puce photonique est constituée d'un guide d'onde à haut indice de dimension $1.5 \mu\text{m}$ par $1.52 \mu\text{m}$, intégré dans de la silice (SiO_2) et déposé sur un oxyde thermique et un substrat de silicium (Si). Les pertes totales d'insertion du guide en spirale de 50 cm de long ont été mesurées à 8.86 dB à $\lambda = 1550$ nm à l'aide d'un réflectomètre optique à haute résolution spatiale (OBR Luna Tech., résolution : $10 \mu\text{m}$). La trace OBR est montrée sur la Figure 1(b). Les pertes linéaires sont de 0.1 dB/cm, ce qui correspond à la valeur attendue : environ 1.5-2 dB par coupleur et environ 3-5 dB sur la propagation.

2. RESULTATS

Le spectre Brillouin a été mesuré à l'aide d'un montage hétérodyne [6], schématisé à la figure 1(b) [6], dans laquelle le signal Brillouin rétrodiffusé par la puce et décalé en fréquence interfère de manière cohérente avec un oscillateur local. Ce battement est ensuite détecté à l'aide d'une photodiode ultra-rapide et un analyseur de spectre électrique (ESA). Le spectre RF expérimental obtenu est illustré à la figure 1(d) pour une puissance d'entrée continue de 18 dBm à 1550 nm. Le pic Brillouin mesuré et sa largeur à mi-hauteur (FWHM) sont respectivement de $\nu_B=16$ GHz et $\Delta\nu_B\sim 200$ MHz. Ceci correspond à une vitesse de l'onde acoustique longitudinale équivalant à $V_L = (\nu_B\lambda)(2n_{\text{eff}}) = 7700 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, avec $n_{\text{eff}} = 1.61$, l'indice effectif du mode optique fondamental calculé numériquement avec COMSOL (cf. encart de la figure 1(e)). Ceci est en bon accord avec la prédiction théorique et la simulation numérique illustrée à la Figure 1(e), où nous avons tracé le spectre Brillouin calculé numériquement à partir de l'équation élasto-dynamique incluant l'électrostriction [6], représenté par la densité d'énergie cinétique en fonction de la fréquence acoustique. Les encarts de la figure 1(c) montrent les profils d'intensité du mode optique fondamental (en haut) et du mode acoustique (en bas) calculés aussi numériquement.

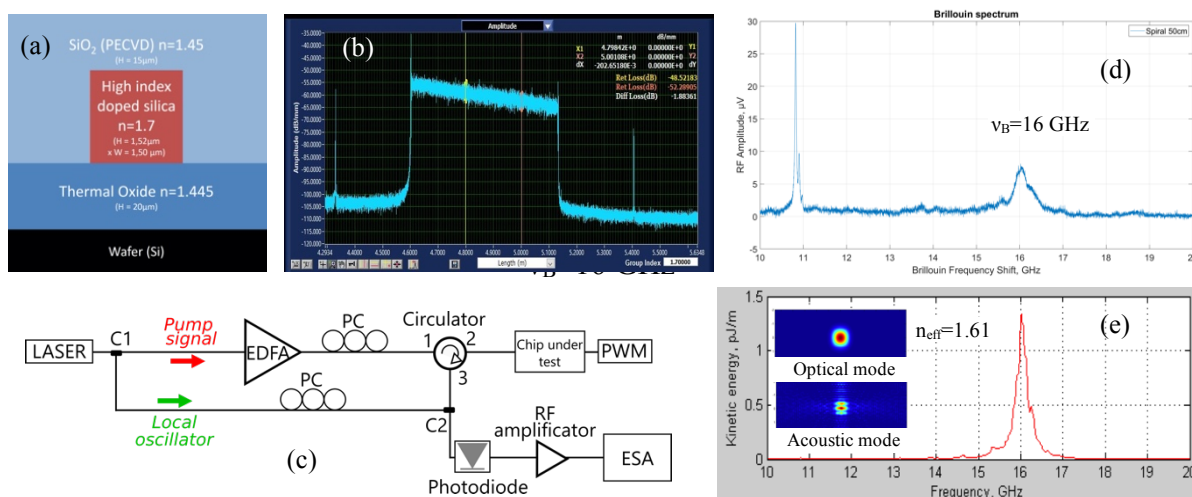


Figure 1 : (a) Schéma de la section transverse de la puce photonique de silice dopée à indice élevé utilisée pour l'observation de la rétrodiffusion Brillouin. (b) Mesure de pertes du guide avec un réflectomètre OBR Luna. (c) Schéma du montage hétérodyne pour mesurer le spectre de rétrodiffusion Brillouin (PWM : Powermeter ; ESA : Electrical Spectrum Analyser). (d) Spectre Brillouin expérimental mesuré pour une puissance d'entrée de 18 dBm à 1550 nm, montrant les pics Brillouin à 16 GHz de la puce à indice élevé et à 11 GHz pour les fibres silice SMF-28 présents dans le montage. (e) Simulation numérique du spectre de Brillouin (densité d'énergie cinétique en fonction de la fréquence acoustique). Les encarts montrent les distributions d'intensité des modes optique (en haut) et acoustique (en bas) dans le guide.

CONCLUSION

En conclusion, nous avons étudié la diffusion Brillouin dans une puce photonique de silice dopée avec un indice de réfraction relativement élevé ($n=1.7$). Nous avons observé, pour la première fois, la rétrodiffusion Brillouin de ces guides d'ondes intégrés de grande longueur (50 cm en spirale) et de pertes relativement faibles. Nous avons également comparé la fréquence Brillouin mesurée avec la théorie et trouvé un bon accord. Ces guides d'ondes peuvent être fabriqués dans une plate-forme intégrée polyvalente et à faible perte, et peuvent potentiellement conduire à de nombreuses applications en photonique micro-onde (filtre étroit hyper-fréquence), des lasers à faible largeur de raie, ou encore des peignes de fréquences optiques intégrés.

RÉFÉRENCES

1. B. J. Eggleton, C. G. Poulton, P. T. Rakich, M. Steel, G. Bahl, "Brillouin integrated photonics," *Nat. Phot.* 13 (10), 664-677 (2019).
2. R. Pant, C. G. Poulton, D.-Y. Choi, H. Mcfarlane, S. Hile, E. Li, L. Thevenaz, B. Luther-Davies, S. J. Madden, and B. J. Eggleton, "On-chip stimulated Brillouin scattering," *Opt. Express* 19, 8285-8290 (2011).
3. E. Kittlaus, H. Shin, P. Rakich, "Large Brillouin amplification in silicon," *Nature Photon* 10, 463–467 (2016).
4. F. Gyger, J. Liu, Fan Yang, Jijun He, Arslan S. Raja, Rui Ning Wang, Sunil A. Bhave, Tobias J. Kippenberg, and Luc Thévenaz, "Observation of Stimulated Brillouin Scattering in Silicon Nitride Integrated Waveguides," *Phys. Rev. Lett.* 124, 013902 (2020).
5. M. Ferrera, L. Razzari, D. Duchesne, R. Morandotti, Z. Yang, M. Liscidini, J.E. Sipe, S. Chu, B.E. Little, D. J. Moss, "Low-power continuous-wave nonlinear optics in doped silica glass integrated waveguide structures. *Nature Photon* 2, 737–740 (2008).
6. A. Godet, A. Ndao, T. Sylvestre, V. Pécheur, S. Lebrun, G. Pauliat, J.-C. Beugnot, and K. P. Huy, "Brillouin spectroscopy of optical microfibers and nanofibers," *Optica* 4, 1232-1238 (2017).