

CARACTÉRISATION DE LA RÉTRODIFFUSION BRILLOUIN DANS UNE FIBRE OPTIQUE CHALCOGÉNURE $As_{42}S_{58}$ MICROSTRUCTURÉE

J. C. Tchahame^{1*}, J-C. Beugnot¹, L. Brilland², J. Troles³, H. Maillotte¹, et T. Sylvestre¹

¹ Institut FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon

² PERFOS, plateforme R&D de Photonics Bretagne, 11 rue Louis de Broglie, 22300 Lannion

³ Université de Rennes I, UMR CNRS 6226, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes

joelcabrel.tchahame@femto-st.fr

RÉSUMÉ

Dans ce document, nous présentons les résultats de caractérisation de la rétrodiffusion Brillouin dans une fibre optique microstructurée (FOM) en verre de chalcogénure $As_{42}S_{58}$. Les résultats obtenus montrent que cette fibre optique serait appropriée pour des applications en optique non-linéaire basées sur l'effet Brillouin.

MOTS-CLEFS : *Effet Brillouin ; verres chalcogénures ; fibres optiques microstructurées.*

1. INTRODUCTION

Les verres chalcogénures ont été récemment identifiés comme des matériaux optiques très attractifs pour de nombreuses applications aux domaines des capteurs, des télécommunications optiques et de la spectroscopie dans le moyen-infrarouge [1]. Leurs avantages par rapport aux verres à base de silice sont d'une part une grande fenêtre de transparence allant de $1\ \mu\text{m}$ jusqu'à $12\ \mu\text{m}$ et, d'autre part, de très fortes non-linéarités optiques [2]. À titre d'exemple, l'indice non-linéaire Kerr n_2 et le gain Raman g_R peuvent atteindre des valeurs 100 fois supérieures à celles de la silice [2]. Par conséquent, de nombreuses études sont actuellement consacrées à l'étude de ces verres et en particulier au développement de fibres optiques pour notamment réaliser des sources de lumière supercontinuum [3]. Parmi les non-linéarités optiques du troisième ordre, l'effet Brillouin est une interaction acousto-optique fondamentale qui survient également dans les fibres optiques et qui se traduit par une diffusion inélastique de la lumière par des ondes acoustiques. Malgré ses applications potentielles aux domaines des lasers et des capteurs [4], l'effet Brillouin a été relativement peu étudié dans les fibres de verres chalcogénures [5–7].

Dans cette communication, nous présentons les résultats de l'étude expérimentale réalisée dans une nouvelle fibre optique microstructurée avec une composition originale de type $As_{42}S_{58}$. Un des principaux avantages de ce verre par rapport aux autres verres chalcogénures, par exemple à base de Selenium, est sa bien meilleure tenue au flux de puissance. Nos mesures de spectres Brillouin révèlent des coefficients de gain 20 fois supérieurs à des fibres monomodes de silice à 1550 nm, et des largeurs spectrales de gain d'environ 80 MHz.

2. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Afin d'observer et caractériser la rétrodiffusion Brillouin dans la FOM $As_{42}S_{58}$, nous avons réalisé le montage expérimental schématisé sur la figure 1, et dont le principe de mesure repose sur la détection hétérodyne [8]. Pour ce faire, nous utilisons un laser à fibre émettant en régime continu à la longueur d'onde de 1550 nm avec une largeur de raie relativement étroite ($\simeq 10$ kHz). Le faisceau laser est ensuite injecté dans la fibre $As_{42}S_{58}$ à l'aide d'un circulateur optique et d'une fibre à grande ouverture numérique (HNA) afin d'assurer un bon taux de couplage. Les pertes relatives entre les deux fibres sont d'environ 17%. Une caméra infrarouge située en sortie de montage nous permet également de vérifier le caractère unimodal de la fibre. Le signal rétrodiffusé et décalé en fréquence du côté Stokes par effet Doppler est redirigé par le circulateur vers un coupleur 90/10 afin d'effectuer un battement optique avec la source laser initiale. La détection hétérodyne s'effectue ainsi dans le domaine radio-fréquence (RF) au moyen d'une photodiode rapide, d'un amplificateur RF et d'un analyseur de spectre électrique. La fibre microstructurée

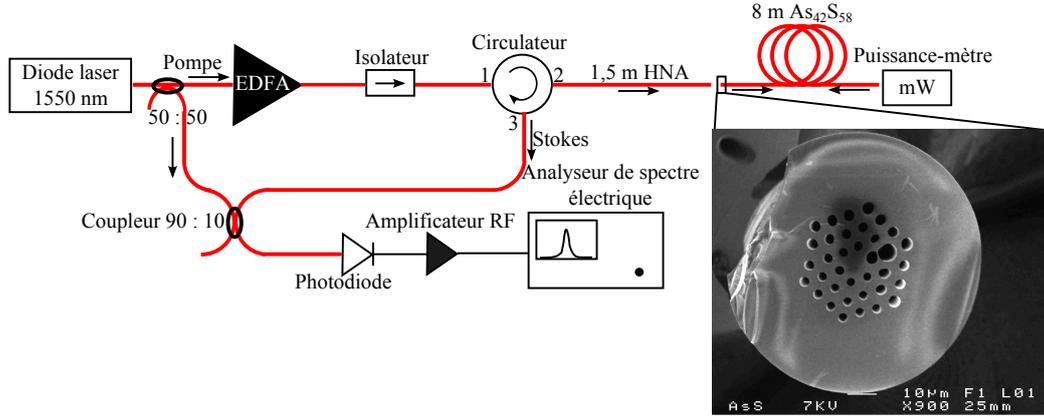


FIGURE 1 : Montage expérimental et image prise au microscope électronique à balayage de la fibre chalcogénure.

testée possède une maille triangulaire avec un cœur de diamètre $d_c = 8,24 \mu\text{m}$. Les trous d'air, bien que peu uniformes, ont en moyenne un diamètre $d = 3,2 \mu\text{m}$ sur la première couronne autour du cœur. Le pas moyen Λ est de $5,48 \mu\text{m}$ et $\frac{d}{\Lambda} \simeq 0,6$. L'indice de réfraction du verre $\text{As}_{42}\text{S}_{58}$ est de 2,37 à 1550 nm [9] et l'atténuation d'environ 1 dB/m . À l'aide du logiciel de calcul COMSOL basé sur les éléments finis, nous avons estimé numériquement l'indice effectif du mode fondamental $n_{\text{eff}} \simeq 2,36$ et son aire effective à $16,13 \mu\text{m}^2$. Le spectre du signal Brillouin est mesuré pour plusieurs puissances injectées. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 2. On note clairement une augmentation de la courbe de gain Brillouin

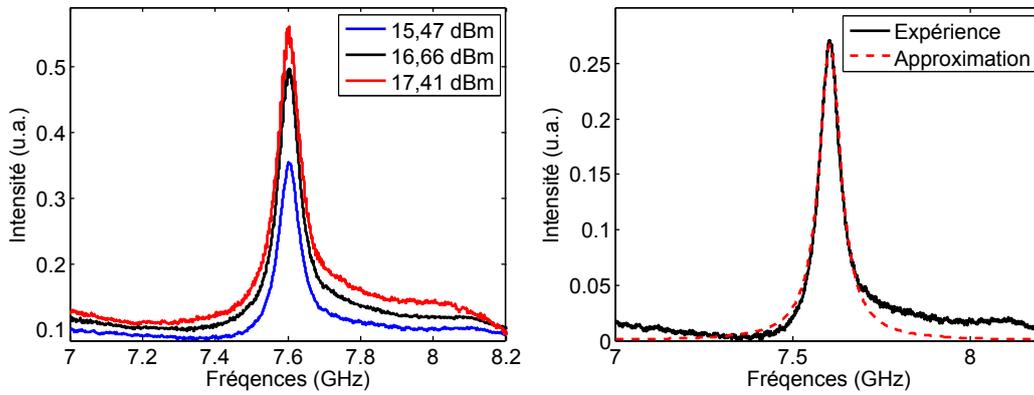


FIGURE 2 : Spectres Brillouin expérimentaux de la fibre microstructurée $\text{As}_{42}\text{S}_{58}$ de longueur 8 m. (a) Mesures du spectre pour plusieurs puissances incidentes, les réflexions de Fresnel sont en compte. (b) Approximation lorentzienne du spectre à 15,47 dBm pour la détermination de la largeur à mi-hauteur.

en fonction de la puissance incidente. Plus la puissance incidente se rapproche du seuil de puissance critique (théoriquement estimé à 24,6 dBm), plus le signal rétrodiffusé est prononcé. Le décalage en fréquence Brillouin ν_B induit par l'onde acoustique longitudinale est de 7,605 GHz, fréquence à laquelle sont centrés nos signaux. Cette mesure est en bon accord avec l'équation de la fréquence Brillouin donnée par $\nu_B = 2n_{\text{eff}}v_A/\lambda$, où v_A est la vitesse acoustique longitudinale et λ la longueur d'onde du laser dans le vide [7]. Un traitement numérique incluant moyennage et débruitage nous permet d'extraire la largeur à mi-hauteur $\Delta\nu_B$ des spectres et d'estimer théoriquement le gain Brillouin g_B à partir de la relation 1 [4]. ρ_0 est la densité volumique, $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ et p_{12} le coefficient photoélastique.

$$g_B = \frac{2\pi n^7 p_{12}^2}{\lambda^2 \rho_0 v_A c \Delta\nu_B} \quad (1)$$

Dans le tableau suivant nous avons regroupé les résultats de mesures. Les coefficients $P_{12} = 0,299$, $\rho_0 = 3198 \text{ kg/m}^3$, $v_A = 2600 \text{ m.s}^{-1}$ [10] sont ceux de la composition As_2S_3 , qui est stoechiométriquement proche de $\text{As}_{42}\text{S}_{58}$. Dans le tableau 1, on peut constater que $\Delta\nu_B$ croît avec la puissance incidente,

| Puissances incidentes (dBm) | 15,47 | 16,66 | 17,41 |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| $\Delta\nu_B$ (MHz) | 74 | 77 | 94 |
| $g_B (\times 10^{-10} \text{ m/W})$ | 5,3 | 5,1 | 4,2 |

TABLE 1 : Largeur à mi-hauteur des spectres mesurés à 1550 nm pour plusieurs puissances incidentes et estimations du gain Brillouin.

contrairement à ce qui est généralement observé dans les fibres optiques de silice. Nous trouvons également un gain Brillouin moyen de $4,9 \times 10^{-11} \text{ m.W}^{-1}$ qui est presque 20 fois supérieur à celui d'une fibre monomode de silice ($g_{\text{silice}} = 2,71 \times 10^{-11} \text{ m.W}^{-1}$ [7]), malgré une largeur spectrale de gain relativement importante.

CONCLUSION

Nous avons observé et caractérisé la rétrodiffusion Brillouin dans une fibre optique microstructurée en verre chalcogénure $\text{As}_{42}\text{S}_{58}$, révélant ainsi un facteur de gain Brillouin moyen de $4,9 \times 10^{-10} \text{ m.W}^{-1}$, 20 fois supérieur à celui d'une fibre monomode de silice. Ces résultats montrent un potentiel applicatif intéressant de ces fibres chalcogénures pour la réalisation de laser Brillouin à fibre dans le proche et moyen-infrarouge ainsi que des capteurs répartis à fibre pour mesurer la température ou la contrainte.

RÉFÉRENCES

- [1] B. J. Eggleton, B. Luther-Davies, and K. Richardson, "Chalcogenide photonics," *Nat. Photon.* 5, 141-148 (2011).
- [2] R. E. Slusher, G. Lenz, J. Hodelin, J. Sanghera, L. B. Shaw, and I. D. Aggarwal, "Large Raman gain and nonlinear phase shifts in high-purity As_2Se_3 chalcogenide fibers," *J. Opt. Soc. Am. B* 21, 1146 (2004).
- [3] O. Mouawad, J. Picot-Clémente, F. Amrani, C. Strutyński, J. Fatome, B. Kibler, F. Désévéday, G. Gadret, J.-C. Jules, D. Deng, Y. Ohishi, and F. Smektala, "Multioctave midinfrared supercontinuum generation in suspended-core chalcogenide fibers," *Opt. Lett.* 39, 2684-2687 (2014).
- [4] K. H. Tow, Y. Leguillon, P. Besnard, L. Brilland, J. Troles, P. Toupin, D. Méchin, D. Trégoat, and S. Molin, "Relative intensity noise and frequency noise of a compact Brillouin laser made of $\text{As}_{38}\text{Se}_{62}$ suspended-core chalcogenide fiber," *Opt. Lett.* 37, 1157-1159 (2012).
- [5] K. Ogusu, H. Li, and M. Kitao, "Brillouin-gain coefficients of chalcogenide glasses," *J. Opt. Soc. Am. B* 21, 1302-1304 (2004).
- [6] K. S. Abedin, "Observation of strong stimulated Brillouin scattering in single-mode As_2Se_3 chalcogenide fiber," *Opt. Express* 13, 10266-10271 (2005).
- [7] J.-C. Beugnot, R. Ahmad, M. Rochette, V. Laude, H. Maillotte, and T. Sylvestre, "Reduction and control of stimulated Brillouin scattering in polymer-coated chalcogenide optical microwires," *Opt. Lett.*, vol. 39, no. 3, pp. 482-485, 2014.
- [8] J.-C. Beugnot, T. Sylvestre, D. Alasia, H. Maillotte, V. Laude, A. Monteville, L. Provino, N. Traynor, S. Foaleng Mafang, and L. Thévenaz, "Complete experimental characterization of SBS in photonic crystal fiber," *Opt. Express* 15, 15522 (2007).
- [9] J. Hu, N.-N. Feng, N. Carlie, L. Petit, J. Wang, A. Agarwal, K. Richardson, and L. Kimerling, "Low-loss high-index-contrast planar waveguides with graded-index cladding layers," *Opt. Express*, vol. 15, no. 22, pp. 14 566-14 572, Oct 2007.
- [10] T. Shchurova and N. Savchenko, "Correlation between mechanical parameters for amorphous chalcogenide films," 2001.