FIBRES MICROSTRUCTUREES SULFURES ET SUPERCONTINUUM INFRAROUGE: POTENTIALITES ET INCONVENIENTS

O. Mouawad, F. Amrani, B. Kibler, J. Picot-Clémente, C. Strutynski, J. Fatome, F. Désévédavy, G. Gadret, J-C Jules, O. Heintz, E. Lesniewska, and F. Smektala

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB), UMR 6303 CNRS - Université de Bourgogne, 9 Av. Alain Savary, BP 47870, 21078 Dijon, France frederic.smektala@u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ

Le vieillissement à l'atmosphère de fibres optiques microstructurées (FOM) en verre de sulfure As₂S3 est étudié, ainsi que son impact sur la génération de supercontinuum (SC) infrarouge. La qualité optique des fibres décroit avec leur exposition à l'atmosphère ambiante, du fait d'une absorption parasite croissante liée à des groupements OH et de la dégradation de la surface du guide d'onde. La prise en compte de ce vieillissement permet d'obtenir un bon accord entre les spectres de SC expérimentaux et leur simulation numérique basée sur l'équation de Schrödinger non linéaire généralisée.

MOTS-CLEFS: Fibres optiques microstructurées; chalcogénures; supercontinuum; spectroscopie IR.

1. Introduction

L'un des moyens d'obtention d'une source supercontinuum est de pomper une fibre optique très non linéaire avec une source de puissance suffisante, en régime de dispersion anormale, à proximité de la longueur d'onde de zéro dispersion du guide d'onde [1]. Des sources fibrées large bande dans le moyen infrarouge, opérant donc dans la région de signature spectrale de nombreuses molécules chimiques ou biologiques, peuvent trouver de nombreuses applications dans le domaine de la détection, du diagnostic médical, du contrôle environnemental...[2-6]. Les fibres microstructurées chalcogénures constituent un type de guide d'onde possible dans cette perspective, du fait de leur grande transparence infrarouge associée à une importante non linéarité et grâce aux importants progrès réalisés ces dernières années dans la maitrise de leur fabrication [7-9]. Cependant, lors de travaux précédents, nous avons constaté un écart significatif entre les performances expérimentales de génération de supercontinuum dans ces fibres (de 1 à 3.2 µm) et les simulations numériques correspondantes indiquant un élargissement théorique jusqu'à plus de 5 µm [8]. Un meilleur accord pouvait alors être obtenu en surévaluant l'atténuation expérimentale de la fibre, en particulier autour des bandes d'absorption associées aux groupements chimiques OH et SH présent dans la fibre. Ceci nous a conduit à considérer une évolution temporelle possible de l'atténuation de ces fibres, que l'on peut qualifier de vieillissement, inhérente aux verres [10-11]. Dans le but d'éclaircir ce phénomène nous avons entrepris une étude approfondie du comportement temporel des FOM en verre de sulfure As₂S₃, par spectroscopie IR à Transformée de Fourier (FTIR), par Microscopie à Force Atomique (AFM) et par Spectroscopie de Photo-électron X (XPS).

2. SIMULATIONS NUMERIQUES DE GENERATIONS DE SUPERCONTINUUM

Nous avons dans un premier temps simulé la génération de supercontinuum dans des fibres microstructurées en verre As_2S_3 , en considérant différent niveaux de pertes optiques associées à des absorptions de groupements OH (centrées sur 2.9 μ m) et SH (centrées sur 4.0 μ m) de sorte à obtenir au final un accord satisfaisant avec un spectre expérimental de génération de SC obtenu lors de

travaux précédents [8]. Les résultats sont présentés figure 1. Il est nécessaire d'augmenter les pertes jusqu'à 25 dB/cm pour l'absorption OH et 75 dB/cm pour l'absorption SH, ce qui correspond à des concentrations de l'ordre de 200 et 2500 ppm respectivement, très supérieures à celles mesurées dans la fibre initiale, où seulement quelques ppm de ces groupements chimiques sont présents, ce qui indique un possible vieillissement.

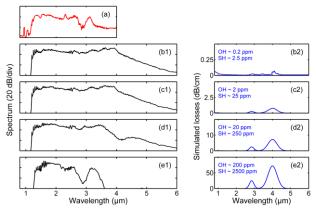


Fig. 1: (a) Spectre expérimental de génération de SC dans 45-mm-long d'une MOF As₂S₃, (b1-e1) Simulations numériques prenant en compte différents niveaux de pertes optiques associés à des concentrations croissantes de groupements OH et SH.

3. VIEILLISSEMENT DES FOM AS₂S₃.

Des analyses FTIR, AFM (Fig.2) et XPS (Fig.) ont été conduites sur fibres et sur verre massif afin de confirmer ce phénomène de vieillissement. Les transmissions FTIR obtenues correspondent à la transmission exclusive du cœur de la FOM.

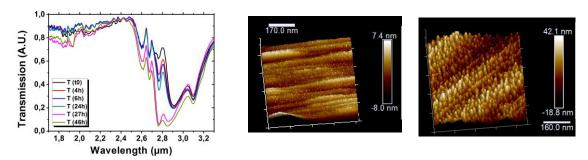


Fig. 2: (a) : Spectres de transmission d'une FOM As_2S_3 exposée à l'air ambiant enregistrés en fonction du temps; (b) Images AFM de la surface d'un échantillon de verre As_2S_3 fraichement synthétisé (b), exposé à l'air ambiant pendant 7 jours (c).

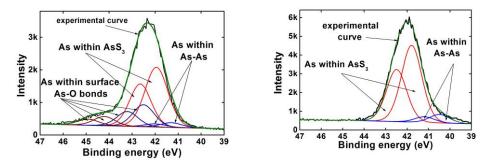


Fig. 4: Spectres XPS d'échantillons de verre As_2S_3 : (a) fraichement synthétisé; (b): exposé à l'air ambiant pendant 7 jours.

Ces différentes analyses et leurs interprétations seront présentées plus en détails sur place. Elles démontrent une interaction entre le verre et l'atmosphère et permettent de proposer un mécanisme de vieillissement des FOM. L'eau atmosphérique, diffusant dans les trous de la FOM, est dans un premier temps adsorbée à la surface du cœur, et conduit rapidement à l'apparition de groupements OH et SH absorbants dans la fibre. La réaction chimique se poursuit conduisant à des liaisons chimiques As-O évoluant vers la formation du composé As₂O₃ et provoquant une augmentation de la rugosité de surface. Ces phénomènes résultent en une dégradation des propriétés optiques de la FOM et altèrent le développement de supercontinuum dans l'infrarouge.

4. CONCLUSION

Le vieillissement de FOM As₂S₃ à l'air ambiant est démontré à l'aide de différentes analyses expérimentales. Un mécanisme est proposé. L'utilisation pratique de ces fibres impose un stockage et une manipulation spécifique afin de prévenir la dégradation de leurs propriétés optiques.

5. REMERCIEMENTS

Remerciements au Conseil Régional de Bourgogne, à la DGA au Labex ACTION (contrat ANR-11-LABX-0001-01) pour leur soutien.

RÉFÉRENCES

- [1] J. M. Dudley, and J. R. Taylor, *Supercontinuum generation in optical fibers* (Cambridge University Press, 2010).
- [2] 2. J. S. Sanghera, L. B. Shaw, and I. D. Aggarwal, "Applications of chalcogenide glass optical fibers," Comptes Rendus de Chimie 5, 873-883 (2002).
- [3] 3. T. M. Monro, S. Warren-Smith, E. P. Schartner, A. François, S. Heng, H. Ebendorff-Heidepriem, and S. Afshar V, "Sensing with suspended-core optical fibers," Optical Fiber Technology **16**, 343-356 (2010).
- [4] 4. V. Ta'eed, N. J. Baker, L. Fu, K. Finsterbusch, M. R. E. Lamont, D. J. Moss, H. C. Nguyen, B. J. Eggleton, D.-Y. Choi, S. Madden, and B. Luther-Davies, "Ultrafast all-optical chalcogenide glass photonic circuits," Optics Express 15, 9205-9221 (2007).
- [5] 5. J. S. Sanghera, L. Brandon Shaw, and I. D. Aggarwal, "Chalcogenide Glass-Fiber-Based Mid-IR Sources and Applications," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, **15**, 114-119 (2009).
- [6] 6. L. Brilland, F. Charpentier, J. Troles, B. Bureau, C. Boussard-Plédel, J. L. Adam, D. Méchin, and D. Trégoat, "Microstructured chalcogenide fibers for biological and chemical detection: case study: a CO2 sensor," (2009), pp. 750358-750358-750354.
- [7] S. D. Le, D. M. Nguyen, M. Thual, L. Bramerie, M. Costa e Silva, K. Lenglé, M. Gay, T. Chartier, L. Brilland, D. Méchin, P. Toupin, and J. Troles, "Efficient four-wave mixing in an ultra-highly nonlinear suspended-core chalcogenide As38Se62 fiber," Optics Express 19, B653-B660 (2011).
- [8] 11. I. Savelii, O. Mouawad, J. Fatome, B. Kibler, F. Désévédavy, G. Gadret, J. C. Jules, P. Y. Bony, H. Kawashima, W. Gao, T. Kohoutek, T. Suzuki, Y. Ohishi, and F. Smektala, "Mid-infrared 2000-nm bandwidth supercontinuum generation in suspended-core microstructured Sulfide and Tellurite optical fibers," Optics Express 20, 27083-27093 (2012).
- [9] 12. O. Mouawad, J. Picot-Clémente, F. Amrani, C. Strutynski, J. Fatome, B. Kibler, F. Désévédavy, G. Gadret, J. C. Jules, D. Deng, Y. Ohishi, and F. Smektala, "Multioctave midinfrared supercontinuum generation in suspended-core chalcogenide fibers," Optics Letters **39**, 2684-2687 (2014).
- [10] I. Gris S'anchez, "Fabrication and Applications of low OH Photonic Crystal Fibers", PhD Thesis, University of Bath, UK, (2012).
- [11] P. Toupin, L. Brilland, D. Mechin, J. Adam, and j. Troles, "Optical Aging of Chalcogenide Microstructured Optical Fibers," Journal of Lightwave Technology **32**, (13) 2428-32 (2014).