

GENERATION D'UN SPECTRE ULTRAVIOLET DE 350 A 391 NM DANS UNE FIBRE OPTIQUE A CRISTAL PHOTONIQUE EN SILICE UV-GRADE

S. Perret¹, C. Poudel³, A. N. Ghosh¹, G. Fanjoux¹, L. Provino², T. Taunay², A. Monteville², D. Landais², C. Kaminski³, J. M. Dudley¹, and T. Sylvestre¹

¹ Institut FEMTO-ST, CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté, 25000 Besançon, France

² Photonics Bretagne (Product line PERFOS), 22300 Lannion, France

³ Département of Chemical Engineering and Biotechnology, University of Cambridge, UK

solveig.perret@femto-st.fr

RÉSUMÉ

Nous reportons la fabrication d'une fibre optique micro-structurée fortement non-linéaire à base de verre UV-Grade et nous démontrons expérimentalement la génération d'un spectre UV allant de 350 nm à 391 nm par cascade Raman et génération paramétrique intermodale. Ces résultats représentent une étape significative vers la génération efficace de supercontinuum ultraviolet dans une fibre tout silice.

MOTS-CLEFS : *Optique non linéaire, Ultraviolet ; Fibre à cristaux photoniques ; Interaction modales*

1. INTRODUCTION

Un des challenges majeurs dans la recherche et le développement des sources supercontinuum (SC) à fibre optique est d'étendre leur large spectre d'émission à l'ultraviolet (UV) en dessous de 400 nm et dans l'infrarouge moyen (MIR) au-delà de 2,5 μm [1]. Un besoin particulier existe pour l'UV par exemple, dans le domaine de l'imagerie de fluorescence afin d'obtenir l'excitation simultanée de nombreux fluorophores. La génération d'UV dans les systèmes conventionnels à fibre silice est cependant extrêmement difficile à atteindre en raison de plusieurs verrous comme l'absorption du matériau, la forte dispersion normale, la stabilité du verre, la solarisation ainsi que le vieillissement de la silice. Il y a donc une forte motivation pour trouver de nouvelles approches pour dépasser ces difficultés, comme par exemple les fibres optiques à cœur creux remplies de gaz, qui permettent de générer de l'UV profond jusqu'à 124 nm [2,3]. Bien que ces résultats soient très prometteurs, leur compatibilité avec les plateformes tout silice reste encore un problème. Ainsi, l'intérêt pour la génération d'UV utilisant des fibres en silice dopée résistante à l'UV reste d'actualité [4]. Dans ce papier, nous présentons une nouvelle fibre à cristal photonique (PCF) fabriquée à partir de verre silice UV F110 résistant à l'UV, et permettant de générer des spectres étendus entre 350 nm et 391 nm, par cascade Raman et génération paramétrique intermodale.

2. CARACTERISTIQUE DE LA FIBRE

La figure 1(a) montre l'image de la section transverse de la fibre microstructurée UV-Grade PERFOS avec du verre F110 d'Heraeus [5]. Elle a été conçue avec des dimensions spécifiques pour être à la fois fortement non linéaire et légèrement multimode dans l'UV de façon à favoriser la conversion de fréquence par mélange à quatre ondes intermodales. A 355 nm, la longueur d'onde du laser de pompe, la fibre possède 7 modes principaux, avec des dispersions relativement importantes, comme le montre respectivement les figures 1(b) et (c).

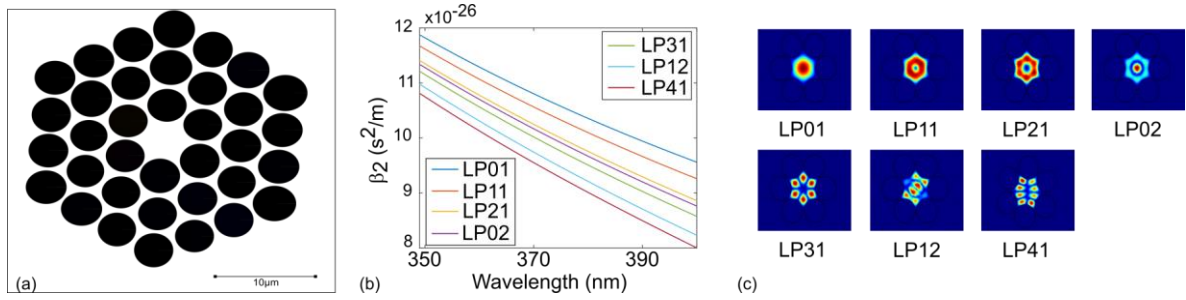


Figure 1 : (a) Image de la fibre microstructurée UV-Grade PERFOS avec du verre F110 [4] mise en noir et blanc venant de la photographie au microscope électronique à balayage (MEB). (b) Courbes du coefficient de dispersion de vitesse de groupe β_2 calculées pour les sept premiers modes linéairement polarisés (LP) en fonction de la longueur d'onde. (c) Profils calculés des sept principaux modes LP guidés.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

La fibre a été étudiée avec un microlaser Nd:YAG picoseconde à 355 nm d'une puissance moyenne de 20 mW et une cadence de 1 kHz (Teemphotonics). La figure 2(a) montre les résultats expérimentaux avec un pompage dans le cœur de la fibre, générant une série de bandes paramétriques symétriques à 350,6 nm et à 358,9 nm à faible puissance, puis deux autres bandes à 351,5 nm et 358,1 nm et enfin une autre à 362,2 nm. Ces bandes sont essentiellement générées par mélange à quatre ondes avec un accord de phase intermodal faisant intervenir les différents modes de la figure 1(c). La figure 2(b) montre par ailleurs une cascade Raman avec un autre type de pompage dans les jonctions [2]. A forte puissance, la cascade Raman est générée jusqu'au 6^{ème} ordre de 355 nm à 391 nm.

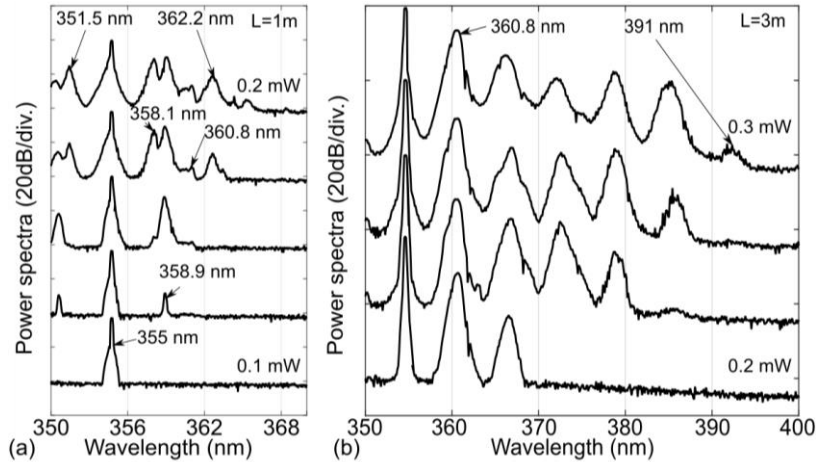


Figure 2 : (a) Spectres expérimentaux de la sortie de fibre montrant des mélanges à quatre ondes multiples impliquant des modes spatiaux couplés ($L=1\text{ m}$). La puissance en sortie de fibre varie de 0,1 mW à 0,2 mW (de bas en haut). (b) Spectres expérimentaux de la sortie de fibre pour une longueur de fibre de 3 m montrant la génération d'une cascade de la diffusion Raman de 355 nm à 391 nm. La puissance en sortie de fibre varie de 0,2 mW à 0,3 mW (de bas en haut).

Une attention spéciale a été ensuite apportée aux couplages intermodaux, comme ceux montrés à la figure 3, où l'on voit un spectre expérimental avec quatre bandes paramétriques et l'image de leur mode associé. Un premier est à 358.1 nm pour un mode LP_{11} , un deuxième à 359,8 nm pour un mode LP_{21} , un troisième à 363,4 nm avec une image élargie due à la présence d'un élargissement spectral et un quatrième signal à 369 nm pour un mode LP_{11} .

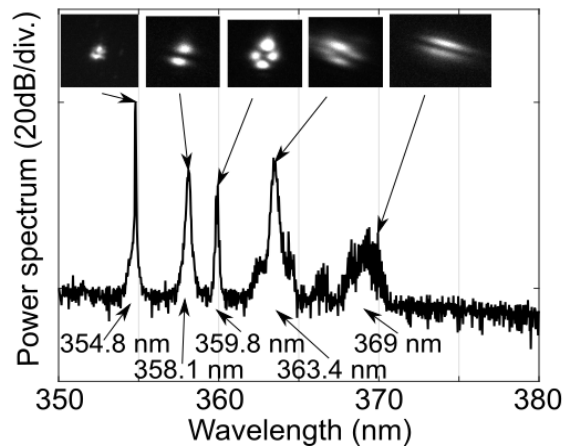


Fig. 4 : Spectre expérimental de sortie de fibre montrant différents processus paramétriques avec l'image des modes respectifs.

Ces couplages intermodaux ont pu être prédits avec les calculs d'accord de phase utilisant les coefficients de dispersion de vitesse de groupe simulés (cf. Fig. 1). L'accord entre les mesures expérimentales et la théorie du mélange à quatre ondes est très bon, ce qui nous permet de continuer notre étude sur la génération de l'élargissement spectral, dû à la cascade Raman qui se produit lors d'un couplage en dehors du cœur de la fibre, dans le but d'augmenter si possible l'élargissement spectral.

CONCLUSION

Nous avons fabriqué une nouvelle fibre micro-structurée en verre silice UV-Grade résistante à l'UV et permettant, lors d'un pompage dans l'UV à 355 nm avec un laser picoseconde, de générer soit des processus paramétriques intermodaux précisément prédits via les simulations avec le design de cette fibre ; soit un fort élargissement spectral de 355 nm à 391 nm par diffusion Raman stimulée en cascade. Ces résultats montrent une nouvelle voix pour la génération de supercontinuum dans l'UV avec une UV-Grade PCF robuste à la tenue en puissance dans le temps et sans solarisation dû à l'exposition UV.

RÉFÉRENCES

- [1] J.C. Travers, "Blue extension of optical fibre supercontinuum generation", J. Opt. 12 113001, (2010).
- [2] X. Jiang, N.Y. Joly, M.A. Finger, F. Babic, G. K. L. Wong, J.C. Travers and P.St.J. Russell, "Deep-Ultraviolet to mid-infrared supercontinuum generated in solid-core ZBLAN photonic crystal fiber", Nature Photon. 10 1038, (2014).
- [3] F. Belli, A. Abdolvand, W. Chang, J.C. Travers, and P. St. J. Russell, "Vacuum-ultraviolet to infrared supercontinuum in hydrogen-filled photonic crystal fiber", Optica, 2, 292, (2015). Michel Goossens, Frank Mittelbach, Alexander Samarin. *The LATEX companion*. Addison-Wesley, 1994.
- [4] T. Sylvestre, A. R. Ragueh, M. W. Lee, B. Stiller, G. Fanjoux, B. Barviau, A. Mussot, and A. Kudlinski, "Black-light continuum generation in a silica-core photonic crystal fiber," Opt. Lett. 37, 130-132 (2012). Highlight in Nature Photonics, « Fiber black-light » 6, 138 (2012).
- [5] https://www.heraeus.com/media/media/hqs/doc_hqs/products_and_solutions_8/optical_fiber/Specialty_Fiber_Preforms_EN.pdf.