



HAL
open science

Nanoparticules dans les fibres optiques : amélioration de la luminescence du thulium et contrôle de leurs tailles

M Vermillac, Hussein Fneich, J.-F Lupi, M. Cabié, D. Borschneck, Ahmad Mehdi, F Peters, P. Vennegues, T Neisius, C Kucera, et al.

► To cite this version:

M Vermillac, Hussein Fneich, J.-F Lupi, M. Cabié, D. Borschneck, et al.. Nanoparticules dans les fibres optiques : amélioration de la luminescence du thulium et contrôle de leurs tailles. JNOG, Jul 2017, Limoges, France. hal-01860739

HAL Id: hal-01860739

<https://hal.science/hal-01860739v1>

Submitted on 23 Aug 2018

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.

NANOPARTICULES DANS LES FIBRES OPTIQUES : AMÉLIORATION DE LA LUMINESCENCE DU THULIUM ET CONTRÔLE DE LEURS TAILLES

M. Vermillac^{1,*}, Hussein Fneich^{1,6}, J.-F. Lupi¹, M. Cabié², D. Borschneck³, Ahmad Mehdi⁶, F. Peters¹, P. Vennéguès⁴, T. Neisius², C. Kucera⁵, J. Ballato⁵, W. Blanc¹

¹Université Côte d'Azur, Institut de Physique de Nice, site Valrose, CNRS UMR 7010, Parc Valrose, 06108 Nice Cedex 2, France

²Université Aix-Marseille - CP2M, Campus St Jérôme, 13397 Marseille cedex 20, France

³CEREGE, Europôle Méditerranéen de l'Arbois - Avenue Louis Philibert - BP 80 - 13545 Aix-En-Provence cedex 04

⁴Centre de Recherche sur l'Hétéro-épitaxie et ses Applications, UPR CNRS 10, 06560 Valbonne Sophia Antipolis, France

⁵Charles H. Townes Optical Science and Engineering Laboratories, Center for Optical Materials Science and Engineering Technologies (COMSET) and the School of Materials Science and Engineering, Clemson University, Clemson, South Carolina 29634 USA

⁶Université de Montpellier, Institut Charles Gerhardt, CMOS, CC 1701 Place Eugène Bataillon 34095 Montpellier Cedex 5, France

* Corresponding author: manuel.vermillac@unice.fr

RÉSUMÉ

L'amélioration des propriétés de luminescence du thulium dans la silice par des nanoparticules ainsi que la limitation des pertes optiques sont discutées.

MOTS-CLEFS : *nanoparticules, luminescence, MCVD, instabilités capillaires*

INTRODUCTION

Le verre de silice est le matériau le plus communément utilisé pour fabriquer des fibres optiques. Cependant, certaines des propriétés de ce verre (énergie de phonon élevée, faible solubilité des ions luminescents ...) sont néfastes pour le développement de nouveaux dispositifs. Une des voies couramment étudiée pour surmonter ces limitations est basée sur l'encapsulation des ions luminescents dans des nanoparticules diélectriques (NPD) [1]. Par exemple, il est possible d'augmenter les transferts d'énergie ou d'élargir la bande spectrale d'émission [2,3]. La présence de nanoparticules induit toutefois de la diffusion de lumière [4]. Il convient donc de trouver un compromis entre les pertes optiques et les modifications spectroscopiques.

Dans cette communication, nous nous intéressons aux propriétés de luminescence du thulium (Tm^{3+}) qui possède des émissions d'intérêt pour les télécommunications (1,47 μm) et lasers (810 nm). Nous présenterons l'effet bénéfique de NPDs riches en lanthane sur la luminescence de cet ion ainsi que de la diffusion de lumière. Enfin, nous montrerons des résultats d'analyses tomographiques qui mettent en évidence la fragmentation de particules durant le fibrage. Nous concluons alors sur la possibilité d'utiliser ce phénomène pour contrôler la taille des particules.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Des nanoparticules de LaF_3 (contenant 0.1 % et 1 % de thulium) ont été dispersées dans la couche poreuse de préformes MCVD par la méthode du dopage en solution [5]. Pour comparaison, des préformes ont aussi été préparées à partir d'un dopage à base de TmCl_3 , LaCl_3 et AlCl_3 . Les préformes ont été fibrées à environ 2000°C avec des tensions de l'ordre de 0,4-0,5 N. Les échantillons ont été analysés par Microscopie Électronique à Balayage (MEB), Spectrométrie photoélectronique X (XPS), Analyse dispersive en énergie (EDX), et Microsonde de Castaing (EPMA). De plus, une fibre riche en particules a été analysée en tomographie par une technique basée sur du MEB et une sonde ionique focalisée (FIB) [6]. Les concentrations en thulium et les pertes optiques ont été mesurées par la méthode « cut-back ». Les durées de vie de luminescence de la bande à 810 nm ont été mesurées sur une fibre pompée à 785 nm.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

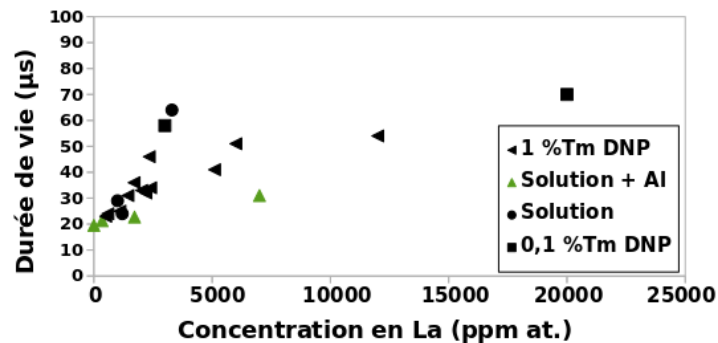


Fig. 1 : Durées de vie de luminescence du thulium en fonction de la concentration en lanthane.

La Fig. 1 montre l'évolution de la durée de vie de luminescence du niveau $^3\text{H}_4$ du thulium (temps pour que $I(t) = I_{t=0}/e$) en fonction de la concentration mesurée en lanthane [7]. Les séries de points proviennent des différentes des recettes de fabrication des échantillons. Les échantillons « 0.1%Tm DNP » et « 1%Tm DNP » sont obtenus par un dopage non standard de nanoparticules de LaF_3 (contenant 0.1 et 1 % de thulium). Les échantillons « Solution » sont issus d'un dopage en solution avec des solutions contenant du TmCl_3 et du LaCl_3 . Les échantillons « Solution+Al » contiennent en plus du AlCl_3 .

La tendance générale illustrée par cette figure est que le lanthane permet une augmentation de la durée de vie du niveau $^3\text{H}_4$. L'aluminium, qui avait été rapporté pour avoir un effet bénéfique sur la durée de vie, induit pourtant une tendance plus faible pour les échantillons « Solutions+Al » [8]. En effet, l'aluminium inhibe totalement la formation de DNP pour ces concentrations et diminue l'impact du lanthane. Les nanoparticules favorisent donc les propriétés de luminescence, mais augmentent aussi les pertes optiques. Celles-ci évoluent entre 0,01 dB/m et 2000 dB/m pour l'échantillon le plus dopé en lanthane. Il est donc primordial de contrôler la taille des nanoparticules afin d'obtenir un compromis entre l'amélioration des propriétés de luminescence et la réduction des pertes optiques.

La Fig. 2 présente la reconstruction du cœur d'une fibre optique [9]. Les nanoparticules riches en lanthane sont représentées en jaune. Certaines particules sont très fortement allongées dans le sens de l'étréage, leurs longueurs pouvant dépasser les 5 μm (hauteur de la zone analysée). On observe aussi un signe de coalescence (étiquette « 4 » sur la figure 2) et la présence de chapelets de

particules (« 2 »). Ces chapelets sont induits par la fragmentation des particules allongées durant l'écoulement (l'étirage). Ils démontrent la possibilité de modifier la taille des nanoparticules au cours de l'étirage via un procédé « top-down ».

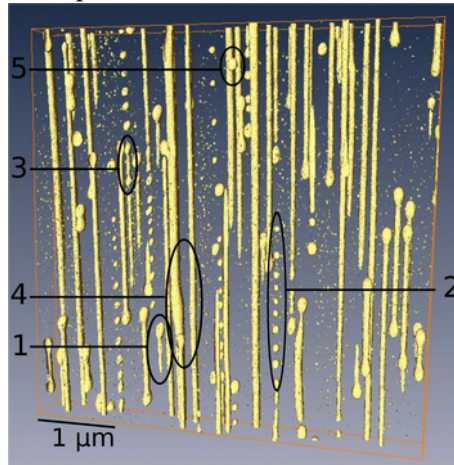


Fig. 2 : Reconstruction 3D de particules riches en lanthane dans le cœur d'une fibre optique en silice. L'axe d'étirage est vertical. La largeur du volume reconstruit par FIB/MEB est de 5 µm.

CONCLUSION

En conclusion, nous avons fabriqué des fibres optiques en silice contenant du lanthane et du thulium. L'effet bénéfique de la présence de nanoparticules a été montré sur les propriétés de luminescence du thulium. Les pertes par diffusion, qui peuvent atteindre 2000 dB/m, montrent l'importance de contrôler la taille des nanoparticules. Nous proposons alors d'utiliser les instabilités capillaires qui apparaissent au cours du fibrage afin de contrôler la taille des nanoparticules et d'améliorer les propriétés spectroscopiques des fibres optiques en silice.

REMERCIEMENTS

Tous les auteurs tiennent à remercier F. Georgis pour les analyses XPS (Mines-ParisTech CEMEF, Sophia-Antipolis, France) et Michel Fialin (IPGP Comparis, Paris, France) pour les analyses EPMA. Ce travail est financé par l'Agence Nationale de la Recherche, (ANR-14-CE07-0016-01, Nice-DREAM).

REFERENCES

- [1] W. Blanc, *et al.*, *J. Optics* **45**, (2016) 247-254
- [2] C. Kucera *et al.*, *Opt. Lett.*, **34**(15), (2009) 2339-2341 .
- [3] W. Blanc *et al.*, *J. Amer. Ceram. Soc.*, **94**(8), (2011) 2315-2318 .
- [4] H.C. Van de Hulst, Dover Publications, Inc. (1981).
- [5] J. Townsend, *et al.*, *Electron. Lett.* **7** (23), (1987) 329e331.
- [6] L. Holzer, *et al.*, *J. Microsc.* **216**, (2004) 84–95.
- [7] M. Vermillac, *et al*, *Opt. Mater.* **21** (2016, published online).
- [8] B. Faure, *et al.*, *J. of Non-Cryst. Sol.*, **353**(29), (2007) 2767-2773 .
- [9] M. Vermillac, *et al*, *J. Amer. Ceram. Soc.* (2017, published online).