

Étude Systématique de l'Implication des Dopants dans la Dégradation Radio-induite des Fibres Optiques en Silice

Franck MADY, Mourad BENABDESSELAM, Jean-Bernard DUCHEZ, Yasmine MEBROUK

Université de Nice Sophia Antipolis, Laboratoire de Physique de la Matière Condensée (LPMC) CNRS UMR 7336, Nice
franck.mady@unice.fr

Abstract: L'analyse croisée de la thermoluminescence résolue spectralement, de l'atténuation radio-induite et du blanchiment thermique d'échantillons de préformes présentant des compositions de complexité croissante (silice, silice dopée aluminium ou ytterbium, alumino-silicate dopée ytterbium, alumino-silicate co-dopée ytterbium et cérium) permet de préciser les implications de chacun des co-dopants dans les processus d'ionisation et de capture de charges. Cette approche systématique permet de mieux apprécier les mécanismes de dégradation radio-induite et de guérison des fibres optiques en silice.

La dégradation des fibres optiques en silice sous l'effet de rayonnements ionisants est classiquement associée à la formation de centres colorés induisant d'importantes pertes optiques sur une gamme spectrale s'étendant de l'ultra-violet au proche infrarouge. Fondamentalement, l'apparition de tels centres répond de la rupture de liaisons chimiques (comme les liaisons silicium-oxygène) mais aussi de l'excitation et de la capture de charges libres (électrons et trous). Une modification de l'état de valence, due à une ionisation directe ou bien à la capture de charges libérées par ionisation, est alors responsable de la mutation de certains « précurseurs » en centres optiquement absorbants. Les défauts optiquement actifs de la silice, qu'ils soient intrinsèques ou liés aux dopants courants dans les fibres (aluminium, phosphore, germanium...), ont été largement décrits (voir par exemple [1]). Dans leur détail, les mécanismes de dégradation radio-induits sont pourtant loin de faire l'objet d'un large consensus. Dans les fibres actives, l'implication des ions de terre rare [2,3] est notamment l'objet de controverses.

L'étude des mécanismes repose habituellement sur l'identification des centres radio-induits qui s'articule elle-même autour de mesures post-irradiation de l'atténuation radio-induite (ARI), de photoluminescence ou de résonance paramagnétique électronique. La tâche est cependant délicate dans les fibres de composition standard, d'une part parce que la présence de plusieurs co-dopants complique notablement l'analyse (nombreuses bandes se chevauchant dans les spectres d'ARI par exemple) et d'autre part parce que les techniques citées sont difficilement capables de révéler les corrélations existant dans l'apparition (ou la guérison) des divers centres mis en évidence.

Ce travail a été entrepris pour tenter de surmonter ces deux difficultés. Il s'est appuyé sur une série d'échantillons de préformes de fibre optiques dont la composition du cœur a été progressivement compliquée : verre silicate non dopé, verre alumino-silicate, silicate dopé ytterbium ou erbium, alumino-silicate dopé ytterbium ou erbium, alumino-silicate co-dopé ytterbium et cérium. L'ensemble de ces préformes ont été fabriquées au LPMC par les techniques standards de MCVD et de dopage en solution. Chaque composition a été soumise à une analyse croisée des mesures de thermoluminescence (TL) et de leur résolution spectrale avec les mesures d'ARI et de blanchiment thermique. La technique de TL, appliquée de manière originale à l'étude de la dégradation des fibres optiques au LPMC, permet de relaxer totalement les effets ionisants induits par l'irradiation (au cours de la lecture TL). Elle révèle ainsi les défauts dont la valence est modifiée sous irradiation. Couplée aux mesures d'ARI, elle permet de mieux cerner les corrélations existant dans l'apparition et la guérison des centres colorés. L'approche systématique, consistant à caractériser progressivement l'implication des co-dopants (individuellement ou en combinaison) conduit à préciser le rôle de chacun d'entre eux, en fonction de leur combinaison avec d'autres éléments, sous irradiation.

Pour les fibres actives, l'implication des terres rares (ytterbium, erbium) dans les processus radio-induits est à nouveau démontrée. L'effet d'une adjonction de cérium est par ailleurs particulièrement discuté. Ce type de co-dopage revêt un intérêt technologique certain puisqu'il est reconnu pour induire un « durcissement » du verre vis à vis des radiations ionisantes [4]. Nous montrerons notamment que le cérium introduit en premier lieu des pièges à électrons entrant en compétition avec les autres terres rares.

Références

- [1] L. Skuja, "Optically active oxygen-deficiency-related centers in amorphous silicon dioxide," *J. Non Cryst. Sol.* **239**, 16-48 (1998).
- [2] F. Mady, M. Benabdesselam and W. Blanc, "Thermoluminescence characterization of traps involved in the photodarkening of ytterbium-doped silica fibers," *Opt. Lett.* **35**, 3541-3543 (2010).
- [3] Y. Mebrouk, F. Mady, M. Benabdesselam, J-B. Duchez and W. Blanc, "Experimental evidence of Er³⁺ ion reduction in the radiation-induced degradation of erbium-doped silica fibers," *Opt. Lett.* **39**, 6154-6157 (2014).
- [4] E.J. Friebele, "Radiation protection of fiber optic materials: effects of cerium doping on the radiation-induced absorption," *Appl. Phys. Lett.* **27**, 210-212 (1975).