IMPLICATION DES IONS Er^{3+} DANS LE PROCESSUS DE NOIRCISSEMENT DES FIBRES OPTIQUES DOPÉES ERBIUM

Yasmine Mebrouk, Franck Mady, Jean Bernard Duchez et Mourad Benabdesselam

Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Université Nice Sophia Antipolis, UMR CNRS 7336, Parc Valrose, 06108 NICE CEDEX, France

mebrouk@unice.fr

RÉSUMÉ

Cet article est consacré à l'étude de la sensibilité aux radiations des fibres optiques dopées erbium. D'après les résultats expérimentaux de thermoluminescence et d'absorption, nous montrons qu'en plus de la création des centres colorés, l'irradiation affecte directement les ions Er^{3+} induisant une diminution significative de leur densité.

MOTS-CLEFS : *Fibres optiques; Erbium; radiations; centres colorés*

1. INTRODUCTION

Les performances des amplificateurs à fibres optiques en silice dopée erbium (FDE) utilisés dans des milieux radiatifs (l'espace, centrale nucléaires...) sont dégradées lors de l'interaction rayonnement-silice. Le gain autour de 1.5 μm de l'amplificateur baisse significativement et peut même s'annuler lorsque l'amplificateur est soumis à de fortes doses de radiations ionisantes [1]. Aucune étude n'a encore permis d'acquérir une vision claire des mécanismes physiques mis en jeu dans le processus de noircissement des fibres (i.e. dégradation sous radiations ionisantes). Il est admis que le noircissement des FDE trouve son origine dans l'absorption radio-induite (ARI) des défauts créés par irradiation [2, 3, 4]. En effet, l'ionisation a pour conséquence de convertir des défauts précurseurs (intrinsèques à la silice ou introduits par le dopage) en centres colorés (CC) par piégeage de trous ou d'électrons. Ces CC sont caractérisés par une superposition de larges bandes d'absorption s'étendant de l'UV au proche infra-rouge (PIR). Ainsi, la puissance de pompe (à 975 nm) nécessaire à l'amplification est réduite sous irradiation par l'ARI à cette longueur d'onde, entrainant dans sa chute la baisse considérable du gain. À ce jour, seuls les défauts liés aux dopants (Ge, Al, P ...) ont été mis en cause dans la dégradation des FDE sous radiation excluant l'implication des ions Er^{3+} [5, 6]. Grâce au croisement des résultats de spectrophotométrie et de thermoluminescence (TL), nous montrons au contraire dans cet article que les ions Er^{3+} sont impliqués dans le processus de noircissement.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les échantillons sous test sont issus de préformes de fibres optiques fabriquées par MCVD au LPMC. Ils se présentent sous forme de disques de 1 mm d'épaisseur et 1 cm de diamètre. Le coeur d'environ 1 mm de diamètre est dopé soit avec de l'Al et Er (échantillon nommé "AS :Er") soit uniquement avec de l'Al ou de l'Er ("AS" et "SiO_2 :Er" respectivement). Le coeur de l'échantillon "SiO_2" ne contient aucun dopant et correspond à des couches de silice déposées par MCVD. Ces échantillons ont été irradiés à température ambiante avec des rayons X (45 kV). Les mesures d'absorption du coeur des préformes ont été effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre Perkin-Elmer λ 1050. La TL est mesurée avec un lecteur Harshaw TLD 3500.

Il a été démontré récemment que le processus de développement de l'ARI s'intègre parfaitement dans le schéma standard d'interprétation de la TL [7, 8]. L'étude par TL des fibres irradiées permet de révéler l'ensemble des centres optiquement actifs et des défauts dont l'état de valence se trouve modifié par l'irradiation, que ces derniers soient émissifs ou non. Le principe de la TL consiste en la détection de la luminescence émise par chauffage linéaire (2 °C s^{-1}) d'un échantillon préalablement irradié. Sous l'effet de cet apport d'énergie thermique, les porteurs piégés peuvent être libérés dans leur bande respective

et par suite se recombiner avec les centres ionisés présentant une polarité opposée. Cette recombinaison achève de relaxer l'énergie initialement communiquée aux porteurs par la radiation et ramène les centres dans leur état de valence initial. La recombinaison est radiative et l'énergie de relaxation est émise sous forme de photons qu'il est possible de détecter. La réponse de la TL en fonction de la température, appelé thermogramme, fait apparaître une succession de pics plus ou moins résolus. La répartition des pics reflète la distribution en profondeur des pièges (plus un piège est profond, plus le pic associé apparaît à une température élevée). De manière complémentaire, l'analyse spectrale de la TL à une température donnée permet de caractériser les centres de recombinaison.

3. L'IMPLICATION DES IONS ER^{3+} DANS LE PROCESSUS DE NOIRCISSEMENT

Les courbes de TL normalisées de la Fig. 1 sont composées principalement de trois groupes de pics : un premier pic autour de 100 °C élargi par la composante TL à 200 °C qui constitue le second pic et un troisième pic TL autour de 300 °C. La position des pics TL (i.e. type de défauts) est quasiment identique quel que soit l'échantillon. Cela signifie qu'aucun des dopages Al, Er ou Al :Er ne peut être associé à l'introduction d'un nouveau type de pièges mais seulement à l'augmentation de leurs concentrations (par exemple, le troisième pic TL est plus prononcé dans le cas du codopage Al :Er). Sur toute la gamme de température (de l'ambiante à 450 °C), l'analyse spectrale de la TL des échantillons contenant de l'Er (Fig. 2) présente uniquement une luminescence bleu-verte aux longueurs d'onde d'émission des ions Er^{3+}. Cette luminescence est la signature de la recombinaison de ces ions. Contrairement à ce qui a été rapporté dans la littérature [5, 6], l'Er^{3+} serait donc impliqué dans le processus de noircissment. Sa présence ne semble pas introduire de niveau piège supplémentaire, il joue le rôle de centre de recombinaison.

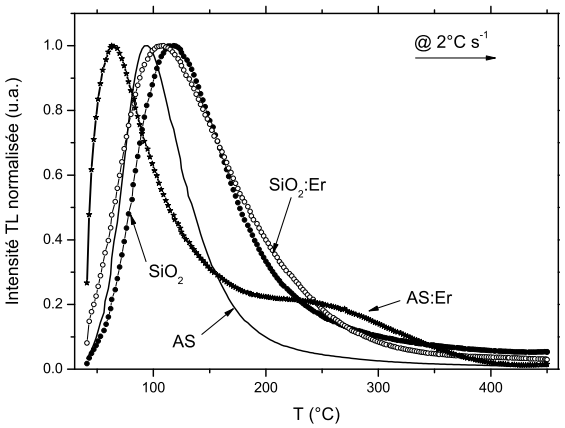

FIGURE 1 : Courbes de TL normalisées

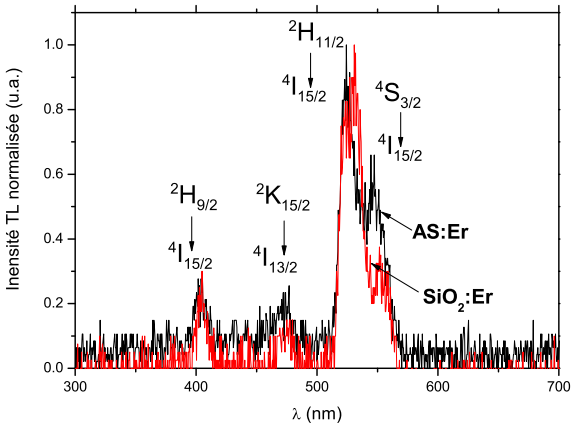

FIGURE 2 : Résolution spectrale de la TL

Le résultat de la différence entre l'absorption après et avant irradiation (i.e. ARI) est présentée sur la Fig. 3. Ces spectres correspondent à une superposition de bandes d'absorption liées aux défauts intrinsèques à la silice (SiE',NBOHC...) ainsi que celles liées aux dopants. Sur le spectre d'ARI de l'échantillon AS on distingue les bandes d'absorption des défauts relatif à la présence d'Al [9] : AlE' (@ 300 nm) et Al-OHC (@550 nm) qu'on retrouve également sur le spectre de la préforme AS :Er. Les spectres d'ARI des préformes codopées Er présentent des "creux" aux longueurs d'onde d'absorption, à partir de l'état fondamental, des ions Er^{3+} : à 378 nm ($^4I_{15/2} \longrightarrow^2 G_{11/2}$) et à 521 nm ($^4I_{15/2} \longrightarrow^4 S_{3/2}$). Cela signifie que l'absorption des ions Er^{3+} baisse après irradiation. Cette diminution peut avoir deux origines possibles. Le coefficient d'absorption α (m^{-1}) est défini comme le produit de la section efficace d'absorption σ (m^2) par la densité des ions N (m^{-3}) : $\alpha = \sigma \times N$. Une diminution de l'absorption peut être due soit à une diminution de σ ou de N. Une variation de σ résulterait en un changement de la forme ainsi que la largeur des bandes. Pour vérifier cela, les bandes d'absorption à 378 et 521 nm ont été extraites des spectres avant/après irradiation par une interpolation de la ligne de base, le résultat est présenté sur la

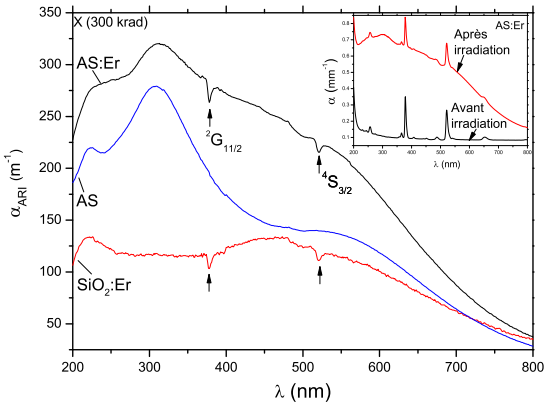

FIGURE 3 : Absorption radio-induite après irradiations aux rayons X (300krad) : différence entre les spectres avant et après irradiation

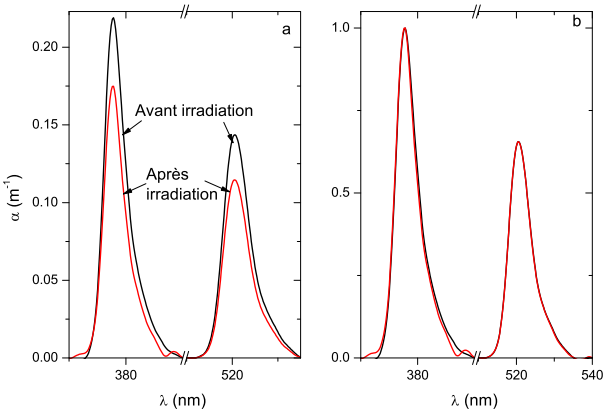

FIGURE 4 : Bandes d'absorption à 378 et 521 nm de l'Er^{3+} extraites des spectres : (a) avant et après irradiation, (b) Normalisation

Fig. 4-a. La normalisation de ces bandes (Fig. 4-b) montre une superposition quasi parfaite des spectres avant/après irradiation. Ainsi, ni la forme ni la largeur des spectres n'ont été modifiées par l'irradiation, σ ne varierait donc pas. Seule la diminution de la densité d'ions induirait la baisse de l'absorption de l'Er^{3+}. Cela est en parfait accord avec les résultats de TL : l'augmentation de la température lors de la lecture TL permet le vidage progressif des pièges accompagné de la recombinaison des ions Er^{3+} réduits par irradiation.

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons montré que les ions Er^{3+} étaient directement affectés par l'irradiation : Leurs section efficace d'absorption demeure inchangée mais leur densité baisse après irradiation. L'apport d'énergie thermique permet la recombinaison des ions Er^{3+} ainsi que leur totale guérison après chauffage jusqu'à 600 °C (@ 2 °C s^{-1}). Cet effet est de plus significatif. La densité des ions réduits par irradiation X (300 krad) est d'au moins 20% soit plus de 35 dB de pertes à 1530 nm.

RÉFÉRENCES

[1] S. Girard *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci., **60**, 2015 (2013)

[2] H. Henschel *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci., **45**, 1552 (1998)

[3] B.P. Fox *et al.*, J. Non Cryst. Solids, **378**, 79 (2013)

[4] T.S. Rose, *et al*, J. Light. Technol., **19**, 1918 (2001)

[5] B. Tortech *et al.*, J. Non Cryst. Solids, **353**, 477 (2007)

[6] S. Girard *et al.*, Opt. Lett., **39**, 2541 (2014)

[7] F. Mady, *et al.*, Opt. Lett., **35**, 3541 (2010)

[8] F. Mady, *et al*, IEEE Trans. Nucl.Sci.,**60**, 4341 (2013)

[9] H. Hosono, H. Kawazoe, Nucl. Instrum. Methods B, **91**, 395 (1994)