



**HAL**  
open science

# LASER EFFICACE A FIBRE DOPEE THULIUM SYNTHETISEE PAR FRITTAGE ET VITRIFICATION DE POUDRES DOPEES

Romain Dauliat, Dmitry Gaponov, Raphaël Jamier, Stephan Grimm, Kay Schuster, Philippe Roy

► **To cite this version:**

Romain Dauliat, Dmitry Gaponov, Raphaël Jamier, Stephan Grimm, Kay Schuster, et al.. LASER EFFICACE A FIBRE DOPEE THULIUM SYNTHETISEE PAR FRITTAGE ET VITRIFICATION DE POUDRES DOPEES. Journées Nationales de l'Optique Guidée (31ème édition), Jul 2012, Lyon, France. hal-01250431

**HAL Id: hal-01250431**

**<https://hal.science/hal-01250431v1>**

Submitted on 4 Jan 2016

**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.

# LASER EFFICACE A FIBRE DOPEE THULIUM SYNTHETISEE PAR FRITTAGE ET VITRIFICATION DE POUDRES DOPEES

Romain Dauliat<sup>1,2</sup>, Dmitry Gaponov<sup>1</sup>, Raphael Jamier<sup>1</sup>, Stephan Grimm<sup>2</sup>, Kay Schuster<sup>2</sup> et Philippe Roy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut de recherche Xlim, UMR CNRS/Université de Limoges n° 7252, 123 av. Albert Thomas, 87060 Limoges, France

<sup>2</sup> Institut für Photonische Technologien, Albert-Einstein-Straße 9, 07745 Jena, Allemagne  
[romain.dauliat@xlim.fr](mailto:romain.dauliat@xlim.fr)

## RÉSUMÉ

Un laser à fibre dopée thulium a été réalisé à partir d'une fibre synthétisée par une méthode alternative nommée Repusil. Ce laser présente une très bonne qualité de faisceau émis proche de la limite de diffraction et une pente d'efficacité de 43% pour une concentration en ions  $Tm^{3+}$  de 0,93 poids% validant le procédé de fabrication. Une puissance laser de 9W a été obtenue, valeur limitée par la puissance de la diode de pompe.

**MOTS-CLEFS :** fibre dopée thulium ; méthode Repusil ; relaxation croisée, laser fibrée

## 1. INTRODUCTION

Les sources lasers émettant autour de  $\lambda = 2\mu m$  suscitent aujourd'hui un intérêt grandissant aussi bien pour des applications civiles que militaires. La médecine (opération de la cornée [1] ou de la prostate [2]), l'environnement et la défense (détection de polluants ou de matières dangereuses dans l'atmosphère par Lidars [3]) ou encore l'aéronautique (détection de rafales de vents ou de vortex) sont autant de secteurs d'activités demandeurs de sources puissantes, fiables et peu onéreuses. En se basant sur les avantages indéniables des sources lasers fibrées démontrées ces dernières années, les fibres dopées aux ions de terres rares thulium apparaissent comme d'excellentes candidates pour relever les défis précités. Ces fibres actives présentent plusieurs bandes d'émission dont une en particulier, centrée autour de 1900nm (cf. figure 1a). Bien que leur rendement quantique soit par nature relativement faible (limite de Stokes  $\sim 40\%$ ), il peut être largement accru grâce au processus de relaxation croisée [4] : un ion  $Tm^{3+}$  peut, en se désexcitant sur le niveau métastable  $^3F_4$ , transférer son énergie à un ion  $Tm^{3+}$  voisin, permettant à ce dernier de passer également sur le niveau  $^3F_4$  (cf. figure 1b). Pour un dopage en  $Tm^{3+}$  d'au moins 1,15 poids% [4], l'absorption d'un photon de pompe induit ainsi l'émission stimulée de deux photons signal. Le rendement théorique peut donc atteindre 80% (65% démontré expérimentalement [5]). En outre, un ratio  $Al^{3+}:Tm^{3+}$  d'au moins 5:1 est nécessaire afin de limiter l'influence de l'up-conversion par transfert d'énergie.

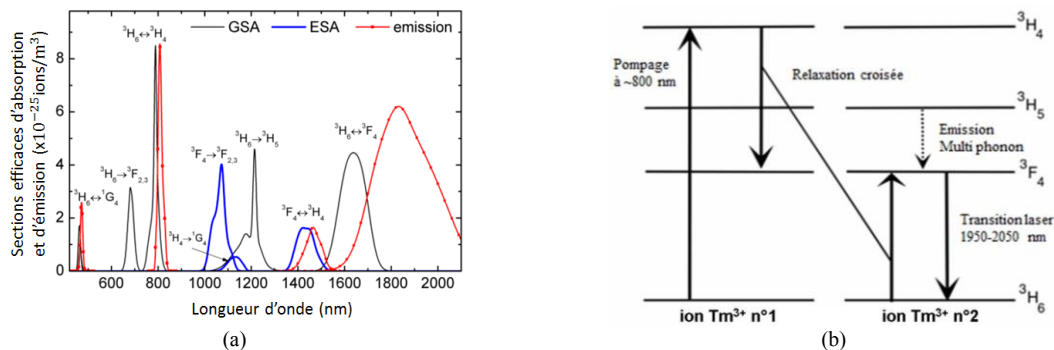


Fig. 1 : (a) Sections efficaces d'absorption (noir), et d'émission (rouge) de l'ion  $Tm^{3+}$  incorporé dans une matrice silice. (b) Diagramme d'énergie simplifié de deux ions  $Tm^{3+}$  mettant en évidence le phénomène de relaxation croisée (d'après la référence [4]).

Dans cette communication, nous proposons la fabrication d'une fibre dopée thulium à partir d'un procédé technologique alternatif nommé « Répasil » dont les intérêts (volume dopé record, bonne homogénéité, efficacité à l'état de l'art...) ont récemment été démontrés à  $\lambda = 1\mu\text{m}$  [6,7]. La composition du cœur de la fibre a été choisie de manière à pouvoir comparer les performances obtenues avec celles rapportées dans la référence [4] afin de valider le procédé de fabrication. Les résultats expérimentaux obtenus en configuration laser sont présentés.

## 2. FABRICATION D'UNE FIBRE DOPEE $\text{Al}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$ PAR LE PROCÉDE REPUSIL

Afin d'outrepasser les limitations en terme d'homogénéité indicielle et de diamètre de cœur qui caractérisent et pénalisent la méthode MCVD, nous proposons ici d'utiliser un procédé de fabrication alternatif nommé « Repusil ». Le mode opératoire est le suivant. Une suspension aqueuse de particule de  $\text{SiO}_2$  très pure est dopée par voie liquide avec un brassage constant afin d'accroître l'homogénéité. Cette solution est déshydratée afin de ne conserver que des granulats de silice dopée. Une étape de séchage permet de supprimer les résidus d' $\text{H}_2\text{O}$ . Ces granulats sont ensuite comprimés en cylindre puis placés, après une phase de purification par  $\text{Cl}_4$  visant à éliminer les traces d' $\text{O}_2$ , dans un four de frittage en vue de fixer les particules de poudres entre elles. Enfin, ces cylindres sont placés dans un tube de silice pure, puis vitrifiés par flamme à l'aide d'un banc de MCVD. Cette méthode permet d'obtenir avec une très bonne reproductibilité des tiges de silice dopée aux terres rares de 10 à 30mm de diamètre présentant une très bonne homogénéité (faible variation radiale et longitudinale du profil d'indice de réfraction, de l'ordre de  $0,4 \cdot 10^{-3}$ , comme on peut l'observer sur la figure 2a) et sans aucune bulle d'air [7]. Le contrôle du niveau de l'indice de réfraction en fonction de la concentration en terres rares est précis, de l'ordre de  $1 \cdot 10^{-4}$ .

Cette technologie a permis d'atteindre de très bonnes efficacités de l'ordre de 81% dans le cas des fibres dopées ytterbium et des puissances émises pouvant atteindre 4kW [6]. Nous avons donc entrepris la transposition de ce procédé de fabrication au développement de fibres co-dopées thulium/aluminium (cf. figure 2). La fibre fabriquée ici présente un profil à saut d'indice, l'objectif étant de caractériser le matériau de cœur composé de silice dopée avec des ions  $\text{Tm}^{3+}$  (1500ppm.mol soit 0,93 poids%) et un ratio  $\text{Al}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$  de 10:1. Le cœur de la fibre étirée est non-circulaire de dimensions  $7\mu\text{m} \times 9,7\mu\text{m}$ . Ceci est due à une répartition inhomogène des tensions mécaniques lors de l'assemblage des cannes constituant la préforme. La gaine interne, en forme de D pour accroître l'interaction entre le faisceau de pompe multimode et la zone de gain, mesure  $122\mu\text{m} \times 146\mu\text{m}$ .

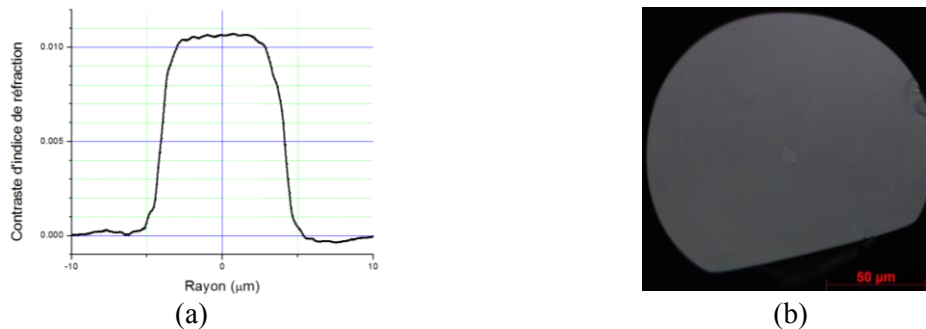


Fig. 2 : Fibre dopée  $\text{Tm}^{3+}/\text{Al}^{3+}$  réalisée par la méthode Répasil : (a) mesure du contraste d'indice  $\Delta n$ , (b) image de la section transverse.

## 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX EN CONFIGURATION LASER

Les pertes de fond de la fibre ont été mesurées et sont égales à : 0,1dB/m à  $\lambda = 930\text{nm}$  et 0,5dB/m à  $\lambda = 1335\text{nm}$ . L'absorption du milieu à gain est de l'ordre de 5dB/m à  $\lambda = 792\text{nm}$ . Cette fibre a alors été caractérisée en configuration laser ( $L_{\text{fibre}} = 5\text{m}$ ). Le montage expérimental comprend une diode laser de pompe émettant à  $\lambda = 792\text{nm}$ , un miroir dichroïque à  $22,5^\circ$  permettant d'extraire le signal émis et une lentille d'injection. La cavité est formée par la face d'entrée clivée de la fibre et un miroir de fond de cavité totalement réfléchissant, permettant un double passage de l'onde de pompe.

La puissance de signal émise en sortie de la cavité laser a été mesurée en fonction de la puissance de pompe injectée (cf. figure 3). La puissance de pompe seuil est proche de 1W et la pente d'efficacité est égale à 43%. Cette dernière est légèrement supérieure à la limite de Stokes, ce qui démontre une faible contribution des effets de relaxation croisée. Il est toutefois important de noter que cette valeur est légèrement supérieure à celle obtenue dans la référence [4] et valant ~ 34%, à niveau de dopage en ions  $Tm^{3+}$  équivalent. Ces résultats montrent que la méthode de synthèse alternative employée ici n'entraîne aucune dégradation de la qualité optique des verres fabriqués par rapport aux méthodes de production habituelles. De plus, une puissance émise de 9W a été mesurée en sortie, celle-ci étant limitée par la puissance de la diode de pompe utilisée. La distribution de l'intensité lumineuse en sortie de la cavité a également été observée à l'aide d'une caméra CCD. L'émission s'effectue sur un régime monomode transverse (cf. figure 3b). Enfin, le spectre d'émission a été mesuré à l'aide d'un spectromètre à réseau (cf. figure 3b) mettant en évidence la présence d'une raie laser autour de  $\lambda = 1980nm$ .

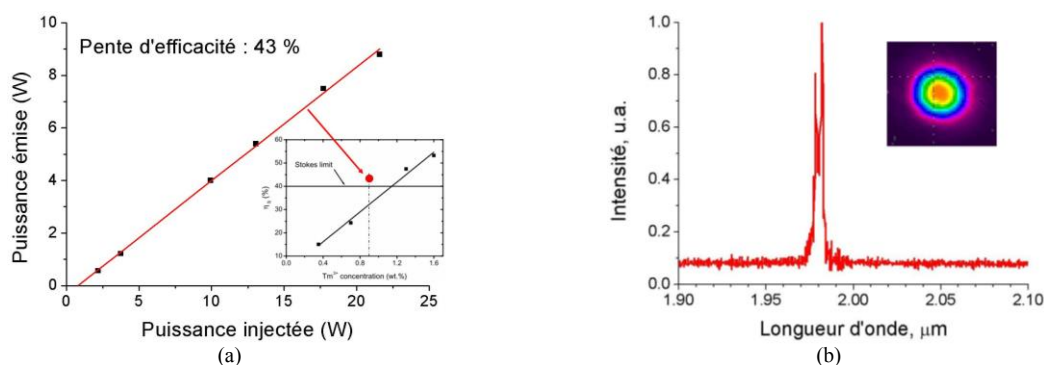


Fig. 3 : (a) Mesure de la puissance de signal émise en sortie de la fibre ( $L = 5 m$ ) en fonction de la puissance de pompe injectée. En insert : évolution de la pente d'efficacité en fonction du dopage en ions  $Tm^{3+}$ , résultat issu de la référence [4]. (b) Mesure du spectre d'émission. En insert : observation en champ proche de la répartition de l'intensité lumineuse du signal émis.

## CONCLUSION

Nous proposons dans cette communication la première fibre dopée thulium fabriquée par un procédé alternatif nommé « Repusil ». Cette fibre a été utilisée pour réaliser un laser à  $\lambda = 1980nm$  démontrant une efficacité proche de la limite quantique et à l'état de l'art compte tenu de sa composition chimique. La puissance maximale émise s'élève à 9W et est seulement limitée par la puissance de la diode de pompe. Ces résultats valident l'intérêt de la méthode de synthèse et permettent d'envisager son application à la réalisation de fibres actives spécifiques pour l'émission de faisceaux transversalement monomodes et puissants autour de  $\lambda = 2\mu m$ .

*Ces travaux, menés dans le cadre du projet AVANTAGE, ont été cofinancés par l'Union européenne. L'Europe s'engage en Limousin avec le Fonds Européen de Développement Régional. Les auteurs remercient J.L. Auguste et A. Schwuchow pour leur contribution à la caractérisation des paramètres opto-géométriques de la fibre fabriquée.*

## REFERENCES

- [1] A.A. Alekhin *et al.*, "In vitro femtosecond laser subsurface micro-disruption inside human cornea and pre-cleared sclera", Laser Physics Letters, vol.7, n°6, p463-466, 2010
- [2] R.M. Kuntz *et al.*, "Laser treatment of benign prostatic hyperplasia", World Journal of Urology, vol.25, p.241-247, 2007
- [3] G.J. Koch *et al.*, "Coherent differential absorption lidar measurements of  $CO_2$ ", Applied Optics, vol.43, n°26, p.5092-5099, 2004
- [4] S. D. Jackson, "Cross relaxation and energy transfer upconversion processes relevant to the functioning of  $2 \mu m Tm^{3+}$ -doped silica fibre lasers", Optics Communications, vol. 230, p.197-203, 2004
- [5] T.McComb *et al.*, "High power widely tunable thulium fiber lasers", Applied Optics, vol.49, n°32, p.6236-6242, 2011
- [6] A.Langner *et al.*, "Multi-kW single fiber laser based on an extra-large mode area design", Photonics West, Papier 8237-44, San Francisco (Etats Unis), 2012
- [7] M.Leich *et al.*, "Highly efficient Yb-doped silica fibers prepared by powder sinter technology", Optics Letters, vol.36, n°9, p1557-1559, 2011