

Laser verre codopé Erbium et Ytterbium pompé par une diode laser de puissance

Eric Tanguy, Jean-Paul Pocholle

► **To cite this version:**

Eric Tanguy, Jean-Paul Pocholle. Laser verre codopé Erbium et Ytterbium pompé par une diode laser de puissance. Optique Hertzienne et Diélectrique, Sep 1997, Clermont-Ferrand, France. <hal-00934656>

HAL Id: hal-00934656

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00934656>

Submitted on 26 Mar 2014

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 verre codopé Erbium et Ytterbium pompé par une diode laser de puissance

Eric Tanguy [1], Jean-Paul Pocholle
Thomson CSF-LCR
Domaine de Corbeville
91404 Orsay cedex

Résumé :

Nous présentons un laser verre codopé Er et Yb pompé optiquement par une diode laser de puissance émettant dans la bande spectrale dit à sécurité oculaire. Ce laser délivre une puissance continue de l'ordre de 100 mW. Le faisceau est parfaitement gaussien et limité par la diffraction. Ce même laser est déclenché par commutation des pertes en insérant un diapason dans la cavité. Dans ces conditions, le laser délivre des impulsions de 50 W crête et de 60 ns de largeur à mi-hauteur avec une fréquence de répétition de 800 Hz. Ce laser a été utilisé pour réaliser un télémètre basé sur la mesure du temps de vol d'une impulsion. La portée de ce système est estimée à 700 m avec une résolution de 3 m.

Abstract :

A TEM₀₀ Er³⁺, Yb³⁺:glass laser end pumped by a broad-area high-power laser diode is demonstrated. This laser emits 100 mW in the eye-safe window. Q-switch operation is also demonstrated by inserting a tuning fork chopper in the cavity. The FWHM pulse duration is about 60 ns, the peak power is about 50 W and the repetition rate is 800 Hz. We have realized a laser rangefinder based on fly time measurement. Bearing and resolution have been estimated respectively around 700 m and 3 m.

1 INTRODUCTION

Les lasers sont des sources optiques extrêmement dangereuses pour l'œil humain en raison de leur grande efficacité et de la directivité des faisceaux. Cependant il existe une bande spectrale s'étendant de 1,5 à 1,55 μm où le seuil d'endommagement de l'œil est plus élevé et où les risques encourus sont moins importants [1]. Cette bande spectrale est dite à « sécurité oculaire ». De plus cette bande spectrale est très utilisée dans les télécommunications par fibre optique car elle correspond au minimum d'atténuation des fibres optiques à base de silice (≈ 0,1 dB/km). Un laser solide pompé par diode laser émettant dans cette bande spectrale doit trouver de nombreuses applications dans les domaines des télécommunications, de la détection d'obstacles et de la télémétrie.

Le laser proposé est fondé sur l'utilisation d'un verre codopé erbium et ytterbium pompé optiquement par une diode laser fibrée de puissance et émettant vers 980 nm.

Les lasers exploitant les propriétés de l'erbium et émettant vers 1,5 μm fonctionnent sur le principe des lasers type « 3 niveaux » : le niveau bas de la transition laser est le niveau fondamental. Ceci implique que la lumière émise à cette longueur d'onde est aussi réabsorbée par le matériau lui-même : ces lasers ont donc des rendements très faibles. Un moyen pour augmenter le rendement de ces systèmes est le codopage de la matrice par des ions ytterbium. En effet, cette terre-rare ne présente que deux niveaux

d'énergie dont la différence correspond à une longueur d'onde de 980 nm. Dans certaines matrices, cette énergie est presque totalement transférée à l'ion erbium. Il est donc possible d'optimiser l'absorption à la longueur d'onde de pompe en modifiant le dopage en ytterbium et d'optimiser l'effet en modifiant le dopage en ytterbium.

2 DONNEES SPECTROSCOPIQUES

Le faisceau de pompe est absorbé par l'ion ytterbium, excitant ainsi ces atomes dans leur niveau d'énergie supérieur (voir Figure 1). Ceux-ci transfèrent leur énergie aux atomes d'erbium, les excitant dans leur niveau ⁴I_{11/2}. Ces atomes se désexcitent de manière non-radiative et très rapidement vers le niveau métastable ⁴I_{13/2}.

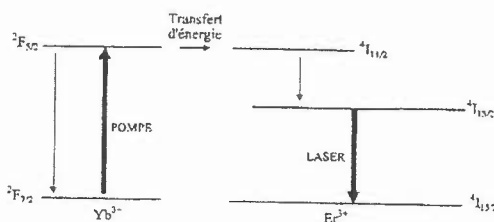


Figure 1 : Schéma énergétique des ions Erbium et Ytterbium

Il est donc possible d'obtenir l'inversion de population entre ce niveau et le niveau fondamental (⁴I_{5/2}).

Le spectre d'absorption du verre codopé erbium et ytterbium présente un maximum de 27,3 cm⁻¹ au voisinage de 975 nm correspondant au spectre

* Nouvelle adresse : Groupe de Physique du Solide pour l'Electronique
Faculté des sciences et des techniques de Nantes
2, rue de la Houssinière, BP 92208
44322 Nantes cedex 03

d'émission des diodes laser à base de InGaAsP (voir Figure 2).

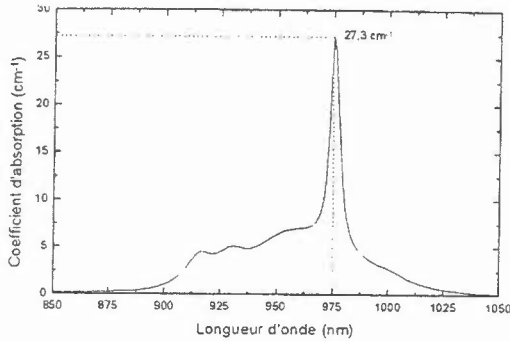


Figure 2 : Spectre d'absorption du verre codopé Er et Yb au voisinage de 975 nm.

Le spectre de fluorescence de cette matrice présente un maximum d'émission vers 1,53 μm correspondant à la zone de sécurité oculaire (voir Figure 3).

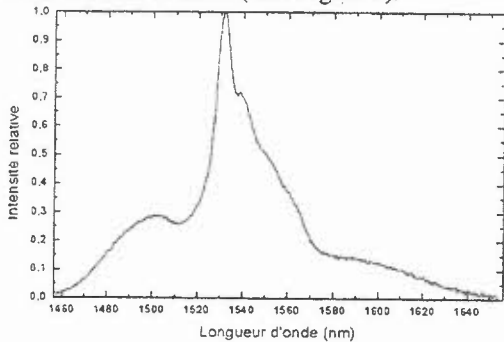


Figure 3 : Spectre d'émission du verre codopé Er et Yb au voisinage de 1,5 μm .

Ces propriétés spectroscopiques nous ont donc permis de réaliser un laser verre codopé erbium et ytterbium pompé optiquement par une diode laser de puissance fibrée.

3 PERFORMANCES DU LASER EN REGIME CONTINU

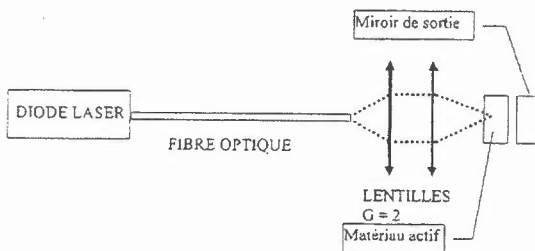


Figure 4 : Schéma de principe du laser verre codopé Er et Yb pompé par une diode laser fibrée.

La sortie de la fibre optique est imagée avec un grandissement de 2 dans le matériau actif. Le matériau actif a une épaisseur de 2 mm et un diamètre de 10 mm, une de ses faces est traitée R_{max} à 1,535 μm et T_{max} à 980 nm alors que l'autre face est traitée

antireflet pour 980 nm et 1,535 μm . Le miroir de sortie de la cavité laser présente un coefficient de réflexion de 99% à 1,535 μm et est positionné à environ de 2 mm du matériau actif.

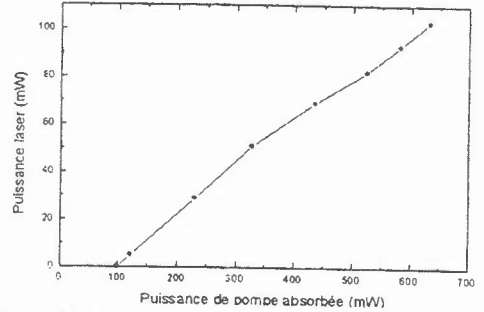


Figure 5 : Puissance laser en fonction de la puissance de pompe absorbée.

Dans cette configuration nous obtenons une puissance absorbée au seuil de l'ordre de 100 mW et un rendement différentiel d'environ 19 % (voir Figure 5). Le laser est limité par la diffraction ($M^2 \approx 1$), sa divergence est d'environ 6 mrad et le rayon du mode intra-cavité est de l'ordre de 80 μm . Le profil du faisceau est parfaitement gaussien (voir Figure 6).

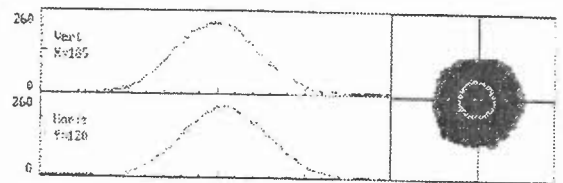


Figure 6 : Profil spatial du faisceau laser.

4 PERFORMANCES DU LASER EN REGIME DECLENCHE PAR COMMUTATION DES PERTES

Le gain du laser étant faible (2 à 3 % pour un aller et retour dans la cavité), il n'était pas possible d'utiliser des systèmes de commutation traditionnels (électro-optique, acousto-optique, ...) car ils introduisent des pertes dans la cavité supérieures au gain obtenu. Nous avons déjà démontré le déclenchement par insertion d'un disque tournant présentant un certain nombre d'ouvertures dans la cavité [2]. Dans cet article, nous présentons le déclenchement par insertion d'un diapason dans la cavité. Le schéma de la cavité est le même que celui présenté sur la Figure 4. Le diapason est inséré entre le matériau actif et le miroir de sortie. La fréquence de résonance du diapason est de 800 Hz et l'amplitude des oscillations est de l'ordre de 2 mm. Dans ce régime, cinq ou six impulsions sont obtenues (voir Figure 7) car le temps pendant lequel la cavité reste ouverte est plus long que dans le cas du disque tournant. La largeur à mi-hauteur de la première impulsion est $\tau = 60$ ns. Pour une puissance de pompe de 700 mW, l'énergie totale émise est mesurée à l'aide d'un joulemètre et d'un amplificateur. L'énergie totale

mesurée est de 6 μJ . L'énergie contenue dans la première impulsion est $E' = 3 \mu\text{J}$.

La puissance crête est donc : $P_c = \frac{E'}{\tau} = 50 \text{ W}$

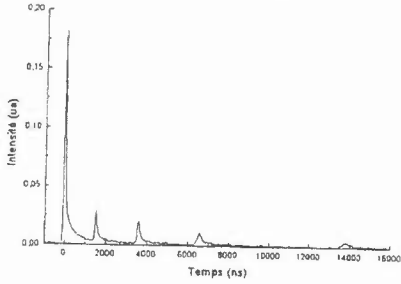


Figure 7 : Evolution de l'intensité laser en fonction du temps.

Si on néglige les impulsions qui suivent la première, nous obtenons des impulsions de 50 W crête et de 60 ns de largeur à mi-hauteur à une fréquence de répétition de 800 Hz. Ces performances nous ont permis de réaliser un télémètre.

5 PERFORMANCES DU TELEMETRE

Le principe du télémètre est fondé sur la mesure du temps de vol d'une impulsion. Le détecteur D1 recueille l'impulsion initiale qui, dès qu'elle dépasse une certaine tension, déclenche un compteur. Le flux rétrodiffusé par la cible est collecté par une lentille de Fresnel de diamètre $\Phi \approx 6\text{cm}$ qui le focalise sur le détecteur D2 (voir Figure 8). L'apparition de l'impulsion de retour arrête le compteur (voir Figure 9). Connaissant le temps d'aller et retour de l'impulsion entre l'appareil et la cible et la vitesse de la lumière dans l'air, on peut ainsi connaître la distance les séparant.

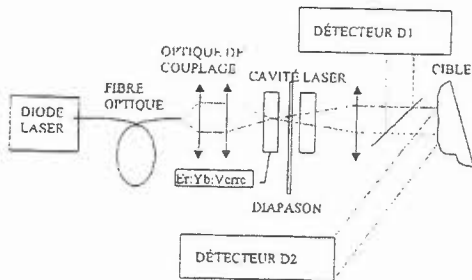


Figure 8 : Schéma de principe du télémètre.

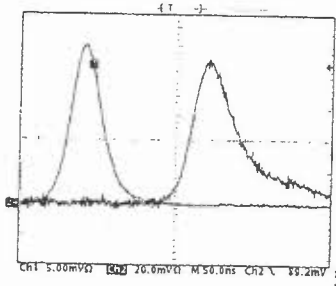


Figure 9 : Impulsion émise et reçue par le télémètre.

La portée du télémètre est donnée par la puissance minimale détectable du signal de retour imposée par le

$$\text{bruit de la chaîne de détection : } R_{S/B} = \frac{S^2 P_s^2}{P_D B + J}$$

$R_{S/B}$: rapport signal à bruit,

S : sensibilité de la chaîne de détection (V/W),

P_s : puissance reçue (W),

P_D : puissance de bruit en l'absence de signal optique dans une bande de 1Hz (W/Hz),

B : bande passante de la chaîne de détection (Hz),

J : composante du bruit de grenaille.

Le bruit de grenaille est négligeable (non mesurable) pour le système de détection utilisé.

En prenant un rapport signal à bruit de 50 ($R_{S/B}=50$), $P_D=1,2 \cdot 10^{-18}$ W/Hz, $B=100$ Mhz et $S=6540$ V/W, on trouve un signal minimal détectable de 12 nW. La portée est alors donnée par la loi de Bouguer [3] qui permet de calculer la puissance rétrodiffusée par une

$$\text{cible lambertienne d'albédo : } P_s = \rho \frac{P_{\text{laser}} \Phi^2 T_{\text{atm}}}{4d^2}$$

ρ : caractérise le pouvoir rétrodiffusant de la cible,

Φ : diamètre de la pupille de réception,

d : distance cible,

P_{laser} : puissance laser,

T_{atm} : transmission de l'atmosphère à la longueur d'onde utilisée.

En prenant un albédo de 0,1 pour la cible et en optimisant la bande passante de détection, on obtient une portée de 700 m. La résolution est estimée à 3 m.

6 CONCLUSION

Nous avons réalisé un laser à base d'un verre codopé Er et Yb pompé optiquement par une diode laser de puissance émettant dans la bande spectrale de sécurité oculaire. Ce laser délivre une puissance continue de l'ordre de 100 mW. Le faisceau est parfaitement gaussien et limité par la diffraction. Ce même laser a été déclenché par commutation des pertes en insérant un diapason dans la cavité. Dans ces conditions, le laser délivre des impulsions de 50 W crête et de 60 ns de largeur à mi-hauteur avec une fréquence de répétition de 800 Hz. Ce laser a été utilisé pour réaliser un télémètre basé sur la mesure du temps de vol d'une impulsion. La portée de ce système est estimée à 700 m avec une résolution de 3 m.

[1] « Safety with lasers and other optical sources », D. Sliney, M. Wolbarsht, Plenum press, New York, 1980, p. 145.

[2] « Mechanically Q-switched codoped Er-Yb glass laser under Ti:sapphire and laser diode pumping », E. Tanguy, J.P. Pocholle, G. Feugnet, C. Larat, M. Schwarz, A. Brun et P. Georges, Electronics Letters, 1995, Vol 31 N° 6, pp 458-459.

[3] « Étude et réalisation d'un imageur actif laser à compression d'impulsions », B. Rémy, Thèse de doctorat en sciences, Université d'Orsay (1986).