

CARACTERIZACION EXPERIMENTAL DE UN AMPLIFICADOR OPTICO DE FIBRA DOPADA Er³⁺: PRESTACIONES EN SISTEMAS DE TRANSMISION COHERENTE.

J.Guitart y S.Ruiz-Moreno
 Dept. Teoría de la Señal y Comunicaciones
 ETSIT Barcelona (UPC)
 C/Jorge Girona s/n, 08034 Barcelona

ABSTRACT

In this communication we present an experimental characterization of an Er³⁺-doped fiber amplifier. This kind of amplifier shows high gain and large bandwidth that can be very useful in improving performances of wide band coherent transmission systems. The results obtained also show good agreement with simulations of the theoretical model we have developed.

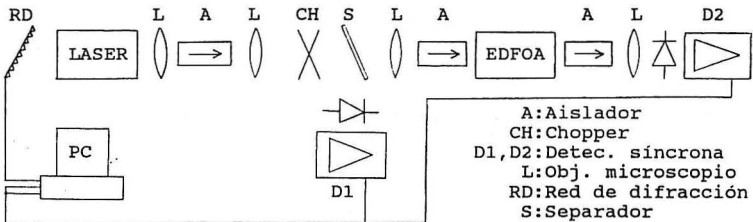


Figura 1

MODELO TEORICO

En esta comunicación se presentan resultados experimentales del espectro de emisión espontánea amplificada (ASE) y de la ganancia espectral de un EDFOA bombeado a la longitud de onda $\lambda_p=1480\text{nm}$. Las medidas realizadas se contrastan con los resultados que predice el modelo teórico que se describe a continuación [1].

Un EDFOA puede caracterizarse a través de un sistema de ecuaciones no lineales y acopladas que describe la evolución longitudinal, en régimen permanente, de las potencias ópticas de bombeo $P_p(z,\lambda)$, de señal $P_s(z,\lambda)$ y de ASE $P_{ASE}(z,\lambda)$ en el núcleo de la fibra dopada [1], [2]. Bajo la hipótesis de que el perfil transversal de los campos propagados es plano en una sección circular de radio 'a' (núcleo de la fibra), se puede escribir el siguiente sistema

de ecuaciones para una configuración en la que el bombeo y la señal se inyectan en el mismo extremo de la fibra:

$$\frac{dP_p(z, \lambda)}{dz} = -\gamma_p(z, \lambda) P_p(z, \lambda) \quad (1.a)$$

$$\frac{dP_s(z, \lambda)}{dz} = [G_e(z, \lambda) - G_a(z, \lambda)] P_s(z, \lambda) \quad (1.b)$$

$$\frac{dP_{ASE}(z, \lambda)}{dz} = G_e(z, \lambda) [P_{ASE}(z, \lambda) + P_0] - G_a(z, \lambda) P_{ASE}(z, \lambda) \quad (1.c)$$

Aquí P_0 es la potencia generada por dos fotones de igual energía, correspondientes a los dos posibles estados de polarización en el ancho de banda de emisión espontánea [3]. Los coeficientes $\gamma_p(z, \lambda)$, $G_e(z, \lambda)$ y $G_a(z, \lambda)$ pueden escribirse, omitiendo la dependencia con z , como

$$\gamma_p(\lambda) = \rho \sigma_p(\lambda_p) \frac{1 + [P_s'(\lambda) + P_{ASE}'(\lambda)]}{1 + [1 + \sigma_a(\lambda) / \sigma_e(\lambda)] [P_s'(\lambda) + P_{ASE}'(\lambda)] + P_p'(\lambda_p)} \quad (2.a)$$

$$G_e(\lambda) = \rho \sigma_e(\lambda) \frac{P_p'(\lambda_p) + [\sigma_a(\lambda) / \sigma_e(\lambda)] [P_s'(\lambda) + P_{ASE}'(\lambda)]}{1 + [1 + \sigma_a(\lambda) / \sigma_e(\lambda)] [P_s'(\lambda) + P_{ASE}'(\lambda)] + P_p'(\lambda_p)} \quad (2.b)$$

$$G_a(\lambda) = \rho \sigma_a(\lambda) \frac{1 + [P_s'(\lambda) + P_{ASE}'(\lambda)]}{1 + [1 + \sigma_a(\lambda) / \sigma_e(\lambda)] [P_s'(\lambda) + P_{ASE}'(\lambda)] + P_p'(\lambda_p)} \quad (2.c)$$

siendo ρ la densidad de iones Er^{3+} , y $\sigma_p(\lambda)$, $\sigma_a(\lambda)$ y $\sigma_e(\lambda)$ las secciones rectas de absorción del bombeo, de absorción de la señal y de fluorescencia, respectivamente. P_p' , P_s' y P_{ASE}' son, en este orden, los valores normalizados de las potencias P_p , P_s y P_{ASE} según

$$P_p'(\lambda_p) = P_p(\lambda_p) / P^{th}(\lambda_p) \quad (3.a)$$

$$P_{s, ASE}'(\lambda) = \frac{\sigma_e(\lambda) \lambda_p}{\sigma_p(\lambda_p) \lambda} \cdot \frac{P_{s, ASE}(\lambda)}{P^{th}(\lambda_p)} \quad (3.b)$$

Implícitamente se ha supuesto una potencia de bombeo monocromática a la longitud de onda λ_p . P^{th} es la potencia de bombeo para alcanzar el umbral de fluorescencia a esa longitud de onda para la cual se ha despreciado el efecto de la absorción por estados excitados en el Erblio [2].

El comportamiento espectral del EDFOA, cuya caracterización experimental se describe a continuación, ha sido simulado en base a este modelo teórico de ecuaciones.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para medir los espectros de ASE y de ganancia de un EDFOA se ha dispuesto, en el laboratorio del Département FOG del Centre National d'Etudes des Télécommunications (CNET) de Lannion, Francia, un banco de medida óptico que incorpora un laser monomodo con cavidad externa sintonizable entre $1.43\mu\text{m}$ y $1.59\mu\text{m}$. El montaje realizado se muestra en la Figura 1. La señal emitida por la fuente es modulada a través de un chopper (CH) cuya frecuencia de giro sirve de referencia a las detecciones síncronas (D1,D2). La ventaja de modular la señal de entrada es la posibilidad que la modulación ofrece de separar, a la salida del EDFOA, la señal amplificada de la componente de ASE. Previamente, un separador (S) permite tomar una muestra de la señal de entrada de manera a establecer un factor de transmisión del banco óptico $T=D2/D1$. Durante la medida, tanto la red de difracción (RD) que forma la cavidad externa del laser como las dos detecciones síncronas son controladas por ordenador. El montaje realizado sirve para medir la ganancia fibra a fibra del EDFOA una vez se ha calibrado el banco de medida y se conoce el factor de transmisión $T'=D2'/D1'$ en ausencia del amplificador de fibra.

Las características del EDFOA con el que se ha experimentado se presentan en la Tabla I, así como los perfiles de las secciones rectas de absorción y fluorescencia, σ_a y σ_e , en función de la longitud de onda (Figura 2).

Longitud del EDFOA	8	m
Concentración Er3+	2.10^{18}	cm^{-3}
Longitud de onda de bombeo	1480	nm
Sección recta de absorción del bombeo	$10,21.10^{-21}$	cm^2
Ancho de banda ASE (a -36dB)	46	nm
Potencia de bombeo umbral	3	mW

Tabla I

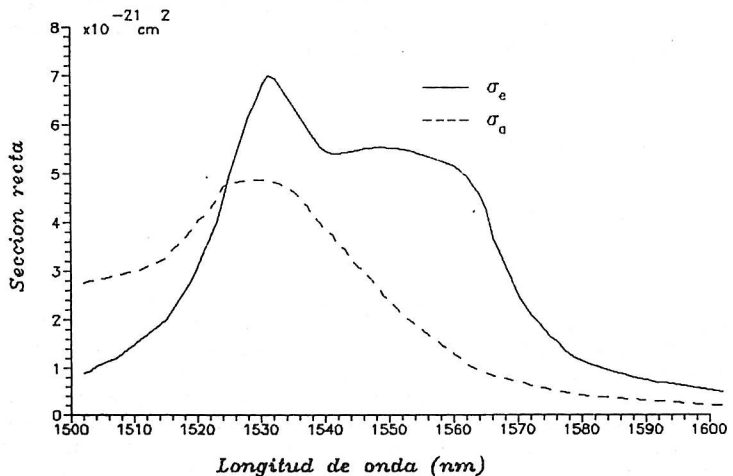


Figura 2

En primer lugar se ha obtenido el espectro de ASE del EDFOA. Para ello se ha realizado un montaje más simple (Figura 3) en el que se ha medido con un analizador de espectro óptico de espectro óptico y en ausencia de señal de entrada el espectro de ASE para una potencia de bombeo $P_p=40\text{mW}$ (Figura 4). Lógicamente se observa que el espectro de ASE presenta, aproximadamente, el mismo perfil que el de la sección recta de fluorescencia, σ_e , de la Figura 2 [2], [3]. El espectro de ASE nos sirve para determinar el margen de longitudes de onda a explorar en el cálculo de la ganancia.

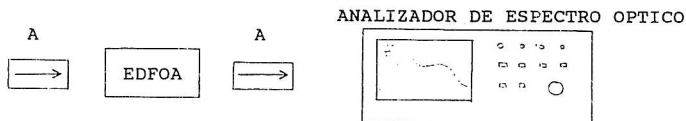


Figura 3

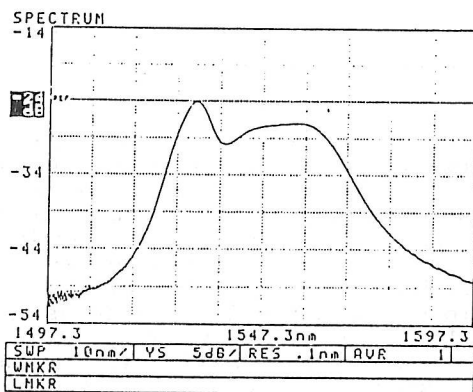


Figura 4

A continuación se ha realizado la medida de la ganancia en función de la longitud de onda bajo la hipótesis de pequeña señal, con una potencia de entrada $P_S=2\mu\text{W}$. Mediante ordenador se ha controlado el barrido en longitudes de onda de la fuente laser desde 1525nm hasta 1565nm y se ha medido la ganancia del EDFOA como $G=T-T'$ (dB) cada 5nm. El resultado de dicha medida se muestra en la Figura 5 junto a la curva teórica continua obtenida mediante simulación de (1). En esta figura se aprecia que el modelo teórico desarrollado a partir de (1), (2) y (3) se ajusta perfectamente a los resultados obtenidos experimentalmente. En cuanto a la ganancia espectral del EDFOA, se observa que el perfil medido es muy similar al que presenta la ASE, lo que corrobora la hipótesis de pequeña señal: se obtiene un máximo de ganancia de 28dB a la longitud de onda de 1531nm (pico de ASE) y un ancho de banda de 11nm a -3dB (7nm para la ASE) y de 36nm a -6dB (38nm para la ASE). En una situación de saturación, potencias de señal elevadas a la entrada del EDFOA deforman el espectro de ganancia reduciendo tanto su valor máximo como el ancho de banda [4]. Sin embargo, este régimen no lineal podría presentar ventajas en

cuanto a la figura de ruido respecto a una situación lineal, [5]. Este aspecto será motivo de una próxima publicación.

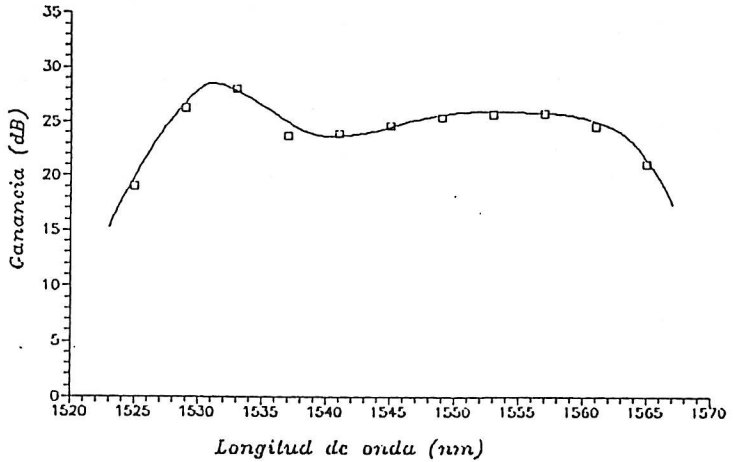


Figura 5

Longitud de onda (nm)

CONCLUSION

En esta comunicación se ha presentado la caracterización experimental de un amplificador óptico de fibra dopada Er^{3+} en cuanto a espectros de emisión espontánea amplificada y ganancia en pequeña señal. Los resultados experimentales obtenidos han permitido comprobar la exactitud del modelo teórico desarrollado en [1]. Las medidas realizadas han demostrado, para este amplificador de fibra, valores de ganancia superiores a 20dB en un amplio margen de longitudes de onda (entre 1525nm y 1565nm). Estas elevadas prestaciones hacen del amplificador de fibra dopada Er^{3+} un dispositivo idóneo en sistemas de transmisión coherente de banda ancha y multiplexación en longitud de onda enlaces a larga distancia [6].

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Département FOG del CNET de Lannion, Francia, y especialmente al Dr.J.C.Simon, su interés y colaboración en la realización de las medidas experimentales. El trabajo experimental desarrollado en Francia no hubiera sido posible sin una beca de Formación de Investigadores concedida por la Direcció General d'Universitats a J.Guitart.

REFERENCIAS

- [1] J.Guitart, S.Ruiz-Moreno, M.J.Soneira y J.A.Calvo, Simposium Nacional URSI'90.
- [2] D.Neveux, Tesis Doctoral, 1991.
- [3] E.Desurvire and J.R.Simpson, J.Light.Tech., Vol.7, No.5, pp.835-845, 1989.
- [4] G.R.Walker, Electronics Lett., Vol.27, pp.744-745, 1991.
- [5] E.Desurvire, Applied Optics, Vol.29, pp.3118-3125, 1990.
- [6] C.R.Giles, E.Desurvire, J.R.Talman, J.R.Simpson and P.Becker, J.Light.Tech., Vol.7, No.4, pp.651-656, 1989.

PARAMETROS CARACTERISTICOS DEL CONTROL POR AUTOINYECCION DE LOS MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE UN ARRAY DE DIODOS LASER.

H. Lamela, J.J. Ayuso, A. Abella, P. Acedo y G. Carpintero
Departamento de Ingeniería Electrónica.
E.T.S.I.T. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid.

ABSTRACT

By external control with a master laser, the output emission of a semiconductor laser array is a single lobe, diffraction limit and single frequency. A self injection experiment is considered in this work where some laser array output beam is coupling into the array acting as an injection signal. The Fabry-Perot filter parameters are characterized in order to get a single frequency master laser. The conditions when the laser array is a single mode: selfinjection signal level, coupling into the laser array and transversal mode selection are as well analyzed.

I.- INTRODUCCION

Las principales características de los láseres de semiconductores: pequeñas dimensiones, alta eficiencia, fácil adaptación con dispositivos electrónicos y su alto grado de desarrollo, los hace muy atractivos para su uso en las comunicaciones ópticas entre satélites. Con el fin de aumentar las prestaciones de estos enlaces, es deseable que los láseres de semiconductores emitan potencias superiores a los 100 mW con un haz de luz de salida que tenga un solo lóbulo, en el límite de la difracción y con una alta tasa de fiabilidad [1].

La obtención de potencias elevadas en láseres de semiconductor se consigue aumentando el área de emisión (láseres de área ancha), o utilizando varios emisores láser acoplados en fase (array láser acoplados por campo evanescente). Sin embargo, su espectro de emisión presenta varios modos transversales que hace que el haz de luz emitido tenga dos lóbulos de emisión y su anchura es superior al límite de la difracción. Diferentes técnicas se están desarrollando para la obtención de un sólo lóbulo en campo lejano y en el límite de la difracción. Podemos distinguir fundamentalmente: métodos internos al array y métodos externos al array. Los primeros se basan en modificar la estructura interna del array para que este funcione en el modo fundamental que tiene un sólo lóbulo de emisión (supermodo $L=1$ [2]) mediante estructuras en Y, espaciado uniforme entre cavidades láser, anchuras de las cavidades láser variables, o a través del acoplo entre guías por difracción o interferométricamente. Los métodos externos al array pueden actuar cambiando la fase del haz de luz de salida o controlando la oscilación del array láser [2]. En estos últimos el control del régimen de oscilación del array se puede realizar mediante tres esquemas: inyección por bloqueo, autoinyección y realimentación por cavidad externa. Sus ventajas más importantes son: obtener un funcionamiento estable con un haz de salida monofrecuencia en el