

# ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LÁSERES DE FIBRA ÓPTICA CON DISTINTOS TIPOS DE CAVIDAD

Cárcoba Valadez, Jessica Alejandra (1), Guzmán Chávez, Ana Dinora (2), Vargas Rodríguez, Everardo (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería Biomédica, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato] | [ja.carcobavaladez@ugto.mx]

2 [Departamento de Estudios Multidisciplinarios, División de Ingenierías, Campus Irapuato Salamanca, Sede Yuririra, Universidad de Guanajuato] | [ad.guzman@ugto.mx]

3 [Departamento de Estudios Multidisciplinarios, División de Ingenierías, Campus Irapuato Salamanca, Sede Yuririra, Universidad de Guanajuato] | [evr@ugto.mx]

## Resumen

En este trabajo se presenta el estudio experimental de láseres de fibra óptica dopada con  $\text{Er}^{3+}$  con cavidades Fabry-Perot y en anillo. De acuerdo con las diferentes configuraciones propuestas, se probó que las configuraciones con cavidad Fabry-Perot con mejor eficiencia fueron Rejilla de Bragg-Rejilla de Bragg y Rejilla de Bragg-Espejo de Faraday, cavidades con elementos con altas reflectividades y bajas pérdidas de inserción. Por lo que el láser con cavidad de anillo con una rejilla de Bragg mostró mayor eficiencia que con una oblea de Silicio. Todas las configuraciones mostraron espectros de emisión estables y líneas de emisión a la longitud de onda  $\sim 1.5 \mu\text{m}$ . Se muestra que los láseres pueden ser sintonizados cambiando la temperatura de la rejilla de Bragg o aplicándole esfuerzo, por lo que también pueden ser utilizados como sensores de dichas variables

## Abstract

In this work, the experimental study of  $\text{Er}^{3+}$  doped optical fiber lasers with Fabry-Perot and ring cavities is presented. According to the different configurations proposed, it was proved that the cavity Fabry-Perot with the best efficiency are Fiber Bragg Grating-Fiber Bragg Grating and Fiber Bragg Grating-Faraday Rotator Mirror, cavities with elements with high reflectivities and low insertion losses. So that the laser with ring cavity showed greater efficiency than with a silicon wafer. All configurations showed stable emission spectra and emission lines at wavelength  $\sim 1.5 \mu\text{m}$ . It is shown that the lasers can be tuned changing the temperature of the fiber Bragg grating or applying strain, so that they can also be used as sensors of these variables.

## Palabras Clave

Rejilla de Bragg; Espejo de Faraday; Oblea de Silicio.

## INTRODUCCIÓN

El diseño de los láseres de fibra óptica con fibras dopadas es debido a su uso potencial como sensores o en telecomunicaciones [1,2]. Los láseres de fibra dopada con  $\text{Er}^{3+}$  (LFDE) son ampliamente utilizados debido a que emiten en la tercera ventana de transmisión ( $\sim 1.5 \mu\text{m}$ ) coincidiendo con la región de menor pérdida en las fibras de sílice [3].

Para la construcción de un LFDE, el amplificador, es decir, la fibra óptica dopada con  $\text{Er}^{3+}$  se coloca dentro de una cavidad [3], la cual puede ser de configuración Fabry-Perot [4] o de anillo [5]. Los elementos más comunes para formar dichas cavidades son espejos reflectores [2], rejillas de Bragg [1], filtros como por ejemplo filtros Fabry-Perot o Mach-Zehnder todos fibra [6] y obleas de Silicio [7]. Las propiedades de los materiales de estos elementos tales como las propiedades termo-ópticas, de expansión térmica, etc.; proporcionan características particulares a los láseres de fibra óptica, que les permiten ser utilizados como sensores con altas sensibilidades [2-5] o como láseres sintonizables en toda la banda de transmisión de las telecomunicaciones [8].

En este trabajo se llevó a cabo la caracterización espectral y en potencia de LFDE con cavidad Fabry-Perot (FP) y anillo en diferentes configuraciones utilizando elementos como rejillas de Bragg (RB), espejo de Faraday (EF) y oblea de Silicio (Si). De acuerdo con las diferentes configuraciones propuestas, se probó que las cavidades del tipo Fabry-Perot con mejor eficiencia, es decir, con la que se requiere menor potencia de entrada para generar una mayor potencia de salida son RB1-RB2 y RB1-EF, cavidades con elementos con altas reflectividades y bajas pérdidas de inserción, por lo que para la cavidad de anillo se mostró mayor eficiencia con una rejilla de Bragg que con una oblea de Si. Todas las configuraciones mostraron espectros de emisión estables y líneas de emisión a la longitud de onda  $\sim 1.5 \mu\text{m}$ . Se muestra el potencial de los láseres para

ser sintonizados por medio de temperatura y tensión, por lo que también pueden ser utilizados como sensores de dichas variables.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la figura 1a se muestra la configuración FP. En este caso la luz del diodo laser (BL976-SAG300 THORLABS) que emite a  $\lambda=976\text{nm}$ , suministrando una potencia máxima de 300 mW se acopló a un multiplexor de división de longitud de onda (WDM, WD202A-FC THORLABS), para bombear a una fibra dopada con  $\text{Er}^{3+}$  (FDE, T6 –EFD-T6 Newport) de 2.45 m de longitud, pasando primero por una rejilla de Bragg (RB1, O/E Land) de  $\lambda_{B1}=1549.97\text{nm}$  con  $R=53.66\%$  utilizada como espejo reflector. Para completar la cavidad láser, al final de la FDE se tuvo la opción de empalmar uno de los siguientes tres elementos: Espejo de Faraday (EF, MFI-1550 THORLABS), Rejilla de Bragg (RB2, O/E Land) de  $\lambda_{B2}=1549.91$  con  $R=82.34$  y oblea de Si y con un corte a  $90^\circ$ . El puerto 1550 nm del WDM se utilizó para analizar la salida del LFDE utilizando un analizador de espectros ópticos (OSA, AQ6370C YOKOGAWA) y un medidor de potencia (PM20 THORLABS). En la figura 1b se muestra otra configuración con cavidad FP, se quita la RB1 y la luminiscencia generada por la FDE viajó a través del acoplador 50/50 (TW1064R5A2A THORLABS). El 50% de la señal fue reflejada por la oblea Si y el otro 50% de la señal se analizó con el OSA y el medidor de potencia. El EF se empalmó en el puerto 1550 nm del WDM para completar la cavidad.

En la figura 2a se muestra la configuración de cavidad de anillo. Al igual se utilizó el WDM para bombear a la FDE (M5-980-125 THORLABS) de 3.2m de longitud. La luminiscencia generada viajó a través del brazo del 50% del acoplador 50/50; en el común del acoplador se empalmó la RB2 utilizada como filtro. El otro 50% de la señal se empalmó al aislador de polarización independiente (10-H-1550 THORLABS) para garantizar unidireccionalidad de la emisión láser, la cual pasa a través del puerto 1550nm del WDM para cerrar la cavidad del anillo.

La cola libre de la RB2 se utilizó para realizar el análisis espectral y de potencia.

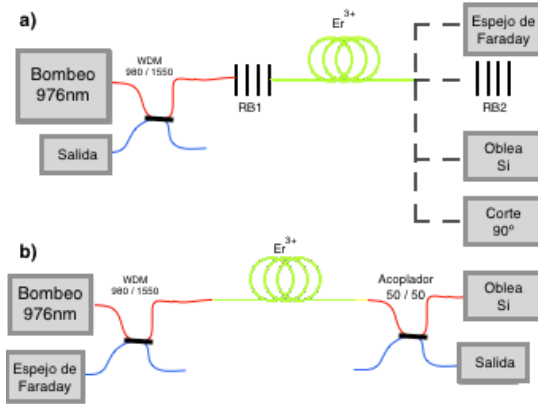


Figura 1: Láseres con cavidad Fabry-Perot. a) Arreglo en combinación de rejilla de Bragg con cada uno de los elementos: espejo de Faraday, rejilla de Bragg, oblea de Silicio y corte a 90°. b) Arreglo con oblea de Silicio y espejo de Faraday.

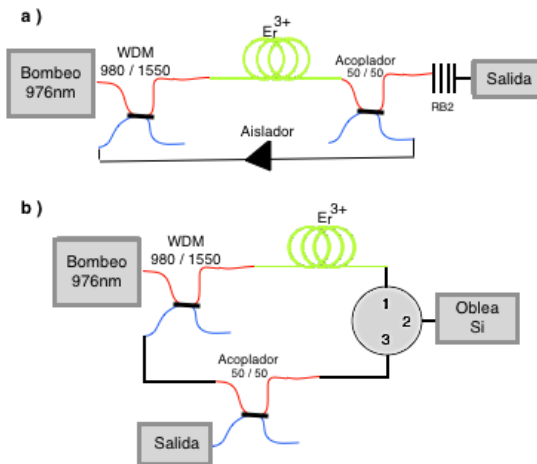


Figura 2: Tipos de cavidad de anillo utilizadas. a) Con una rejilla de Bragg y un aislador y b) una oblea de Silicio y un circulator de tres puertos.

La figura 2b muestra otra configuración de anillo. La luminiscencia de la FDE viajó al circulator (6015-3 THORLABS), del puerto uno al dos donde se acopló la oblea Si. El puerto tres se empalmó al acoplador, donde el 50% de la señal se lanzó al puerto de 1550nm del WDM para cerrar la cavidad y el otro 50% se utilizó para realizar el análisis de la señal.

Para la cavidad con una RB, la línea de emisión está gobernada por el espectro de reflexión de la RB está descrito como [9]:

$$R(l, \lambda) = \frac{\Omega^2 \sinh^2(sl)}{\Delta k^2 \sinh^2(sl) + s^2 \cosh^2(sl)} \quad (1)$$

Donde  $\Omega$  es el coeficiente de acoplamiento que para variaciones sinusoidales del índice de perturbación a lo largo del eje de la fibra está dado por  $\Omega = \frac{\pi \Delta n}{\lambda_B} M_p$ , donde  $M_p$  es la potencia del modo de la fibra contenido en el núcleo de la misma,  $\Delta k = k - \frac{\pi}{\lambda_B}$  es el vector de sintonización de onda,  $k = \frac{2\pi n_0}{\lambda_B}$  es la constante de propagación y  $s^2 = \Omega^2 - \Delta k$ .

El cambio en la longitud de onda de Bragg ( $\Delta\lambda_B$ ) debido a cambios en temperatura y someter a un esfuerzo la RB, se describe como [9]:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B (1 - P_e) E \quad (2)$$

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B (\alpha_\Lambda + \alpha_n) \Delta T \quad (3)$$

donde  $P_e = 0.2120$  es la constante efectiva de estrés óptico,  $E$  es el esfuerzo y  $\Delta T$  el cambio de temperatura,  $\alpha_\Lambda = 0.55 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  y  $\alpha_n = 8.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  son los coeficientes de expansión térmica y termo óptico de la fibra respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento en potencia de los LFDEs con cavidades FP y de anillo en sus diferentes configuraciones se muestra en la figura 3. Con base a los resultados obtenidos se observa que la configuración con cavidad FP con mejor eficiencia en potencia (Figura 3a) es en la que se utilizan dos RBs, seguida por la configuración RB1-EF; debido a que son los elementos que presentan mayores reflectividades. De las configuraciones EF-oblea de Si y RB1-oblea de Si, la de menor eficiencia en potencia es la que tiene la RB1; ya que el EF tiene un 100% de reflectividad. Se puede observar que la configuración con menor eficiencia en potencia es como se esperaba utilizando un corte de 90° en la

fibra dopada, debido a que solo se tiene el ~4% de reflectividad por la interfaz sílice-aire.

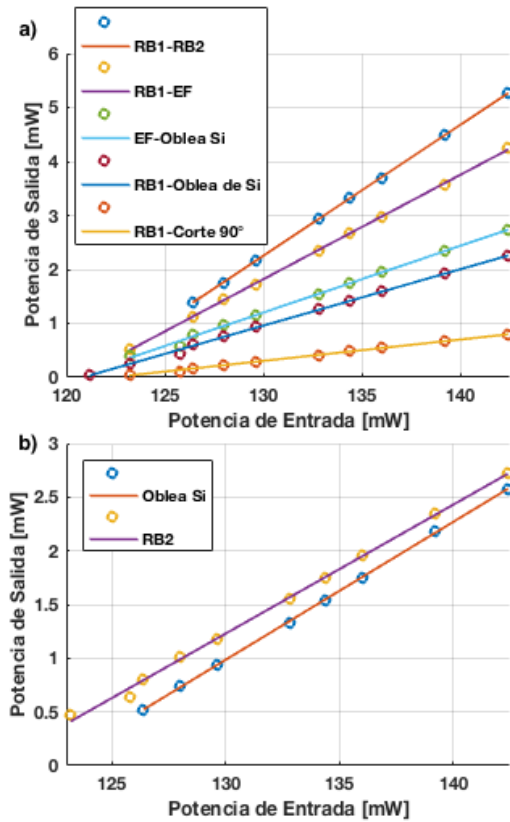


Figura 3: Potencia de salida con respecto a la potencia de entrada o de bombeo para las distintas configuraciones de LFDEs con cavidades a) Fabry-Perot y b) cavidades de anillo.

La eficiencia del láser con cavidad de anillo es mejor utilizando la RB2 que la que utiliza la oblea de Si (Figura 3b). Esto debido a que hay pérdidas de inserción al acoplar la fibra óptica a la oblea resultando una mayor reflectividad con la RB2. En la figura se puede observar también que debido a las pérdidas dentro de la cavidad, mayores con la oblea de Si, la potencia umbral es mayor que con la RB2.

En la figura 4a se puede observar que la línea de emisión para la configuración con cavidad FP es diferente en los tres casos. Para la cavidad EF-oblea de Si la emisión estuvo en ~1530nm, debido a que en esta longitud de onda se tiene mayor

ganancia, para la cavidad RB1-Corte 90° la emisión fue en ~1550nm, la cual estuvo gobernada por la  $\lambda_B$ , longitud de onda con la mayor reflectividad y para la cavidad RB1-oblea de Si la emisión estuvo en ~1560nm, la cual estuvo gobernada por los picos máximos del espectro de interferencia generado por la oblea de Si; además de que la FDE permite alta ganancia en la banda L de las telecomunicaciones se pudo tener emisión láser en dicha longitud de onda.

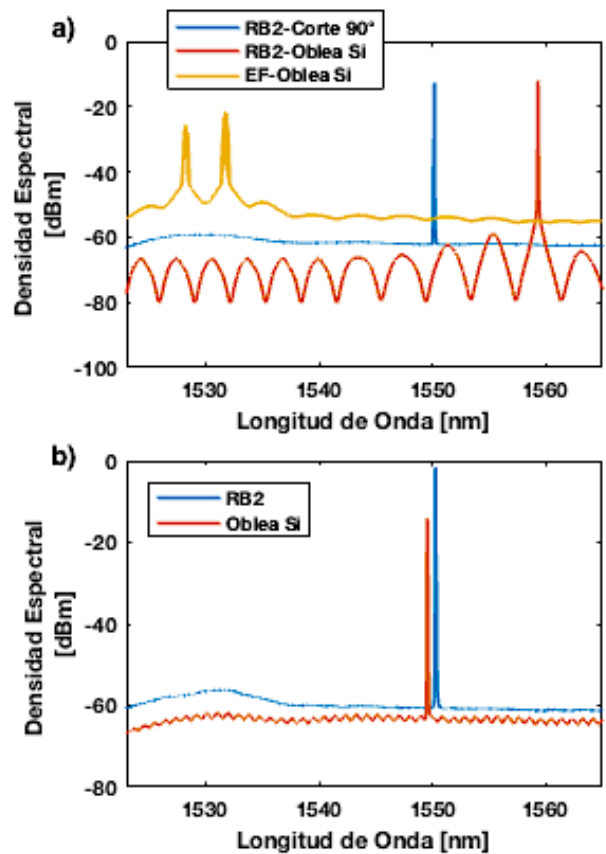
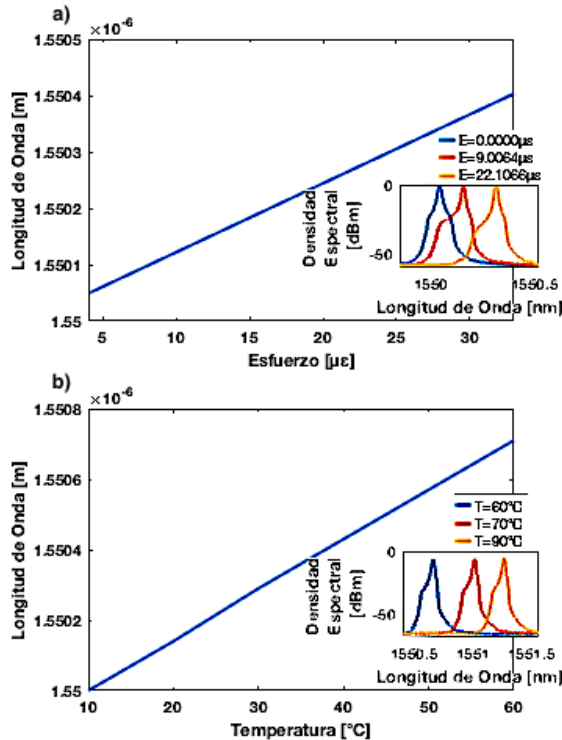


Figura 4: Espectros de emisión de las distintas configuraciones de LFDEs con cavidades a) Fabry-Perot y b) cavidades de anillo.

En la figura 4b se observa que los espectros de emisión están en ~1550 nm, de igual forma para el caso de la RB2 la línea de emisión estuvo gobernada por la  $\lambda_B$  y para el caso de la oblea de Si la emisión estuvo gobernada por su espectro de interferencia y por la forma de la ganancia de la

FDE, la cual es mayor en la banda C de las telecomunicaciones.



**Figura 5: Desplazamiento de la  $\lambda_B$  cuando se le aplica a la RB1 diferentes valores de a) esfuerzo y b) cambios de temperatura. En las figuras insertadas se muestra las diferentes longitudes de onda de emisión de los LFDE cuando la  $\lambda_B$  se desplaza.**

En la figura 5 se muestran las simulaciones del cambio de la  $\lambda_B$  al aplicarle a la RB1 cambios de temperatura y esfuerzo. Como se mencionó anteriormente, la línea de emisión del láser está gobernada por la RB, por lo que al cambiar la  $\lambda_B$  se puede lograr la sintonización del mismo. En las figuras insertadas en la figura 5 se muestran los resultados experimentales de sintonizar un láser por medio de esfuerzo y temperatura. Esto es debido a las propiedades termo-ópticas, de expansión térmica y de estrés-óptico de la sílice de la RB.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó la caracterización espectral y en potencia de LFDEs de diferentes configuraciones. La emisión de la señal del láser depende de la reflectividad de los elementos que forman la cavidad así como de las pérdidas por el acoplamiento de los mismos. El mejor comportamiento en potencia de las configuraciones Fabry-Perot y de anillo son utilizando RB debido a las altas reflectividades y bajas pérdidas de inserción que presentan en comparación con la oblea de Silicio. El comportamiento lineal de la longitud de onda de Bragg al aplicarle esfuerzo y temperatura permitirá que los láseres de fibra puedan ser sintonizados y utilizados como sensores.

## REFERENCIAS

- [1] M. May-Alarcón, M.A. Basurto-Prensado, M.G. Shlyagin, I. Marquez-Borbón (2002). Sensor láser de fibra óptica con una cavidad de 8.6 Km formada por dos rejillas de Bragg usadas como espejos. Revista Mexicana de Física 48(5) 434-437.
- [2] Yuichi Takushima, Shinji Yamashita, Kazuro Kikuchi and Kazuo Hotate (1996). Single-Frequency and Polarization-Stable Oscillation of Fabry-Perot Fiber Laser Using a Nonpolarization-Maintaining Fiber an Intracavity Etalon. IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 8, No. 11, November 1996.
- [3] G.P. Agrawal, Applications of nonlinear fiber optics, (Academic Press, San Diego, California 2001). Chapter 5, pp.201.
- [4] D. Johlen, P. Klose, H. Renner y E. Brinkmeyer. (2000). J. Lightwave Technol. 18(2000)553.
- [5] J.D. Causado-Buevas, N.D. Gómez-Cardona, P. Torres, J.A. Gómez. Láser Sintonizable En Anillo de Fibra Óptica Dopada con Er3+. Revista Bistua: Universidad de Pamplona Colombia (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. ISSN 01204211.
- [6] M.S. Cano-Velazquez (2015). Implementación y caracterización de un láser de fibra óptica dopada con Er3+ en régimen continuo y pulsado. Universidad de Valladolid: Facultad de Ciencias.
- [7] Gallegos-Arellano, E. Vargas-Rodríguez, E. Guzmán-Chávez, A.D. Cano-Contreras, M. Cruz, J.L. and Raja-Ibrahim, R.K. (2016). Finely tunable laser based on a bulk silicon wafer for gas sensing applications. IOPscience. Laser Phys. Lett. 13 (2016) 065102 (6pp). doi:10.1088/1612-2011/13/6/065102.
- [8] J.M. Orza ,(1997). Aplicaciones Industriales de los láseres de Fibra óptica. Revista de Metalurgia: Vol.34, No,2(1998). Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- [9] A. Othonos and K. Kalli. (1999). Fiber Bragg Gratings: Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing Chapter 3. Boston, London: Artech House.