

LÁSERES SINTONIZABLES DE FIBRA ÓPTICA

Morales Sánchez Jesus Benjamin (1), Guzmán Chávez Ana Dinora (2), Vargas Rodríguez Everardo (3)

1 [Ingeniería en Informática, Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra.] | [benjamin1995morales@gmail.com]

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

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

Resumen.

En este trabajo se presenta el estudio experimental y teórico de láseres sintonizables de fibra óptica dopada con E^{3+} basados en una rejilla de Bragg y una oblea de silicio. La longitud de onda de emisión del láser con una rejilla de Bragg está gobernada por la longitud de onda de Bragg la cual puede desplazarse aplicándole esfuerzo y/o temperatura a la rejilla. La línea de emisión del láser con una oblea de silicio está gobernada por los picos máximos del espectro de interferencia generado por la oblea de silicio, los cuales también pueden ser desplazados aplicándole temperatura a dicha oblea. Por lo que se muestra la sintonización láser en la banda C de las telecomunicaciones (~1550 nm) con el uso de una rejilla de Bragg y una oblea de silicio. El desplazamiento de la línea de emisión de ambos láseres se corrobora con simulaciones.

Abstract

In this work an experimental and theoretical study of tunable erbium doped fiber lasers based on a fiber Bragg grating and a silicon wafer is presented. The laser wavelength emission with a fiber Bragg grating is governed by the Bragg wavelength which can be shifted applying stress and/or temperature to the grating. The laser emission line with a silicon wafer is governed by the interference spectrum maximum peaks generated by the silicon wafer which can be shifted applying temperature to such wafer. So that it is shown that the laser tuning was in the telecommunications C-band (~1550 nm) with a fiber Bragg grating and a silicon wafer. The emission line shifting of both lasers was corroborated with simulations.

Palabras Clave

Rejilla de Bragg; Oblea de Silicio; Temperatura; Estrés; Caracterizar.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen muchos tipos de láseres, que son de mucha utilidad y que son empleados en distintas labores y áreas de conocimiento. Uno de ellos son los láseres de fibra óptica, que son de mucha importancia actualmente en campos como; las telecomunicaciones, medicina, arqueología, prácticas militares, mecánica y vigilancia, sensores, etc. Los láseres de fibra óptica dopada con E^{3+} (LFDE) han sido ampliamente estudiados por sus características de emisión en la banda C y L de comunicaciones ópticas, que las constituyen en elementos de suma importancia en sistemas de multiplexación por división de longitud de onda [1], y entre otras aplicaciones como en los sensores de fibra [2], espectroscopia [3], etc. Algunas de estas aplicaciones requieren de láseres sintonizables, estos láseres tienen la capacidad de emitir a diferentes longitudes de onda con el solo hecho de modificar las características de su resonador [4]. Hoy en día muchas formas para obtener láseres sintonizables han sido reportadas tales como: por medio de un filtro Fabry-Perot dentro de la cavidad de anillo (FP) [5], usando rejillas de Bragg grabadas en fibra (RB) y fibra de cristal fotónico [6], usando un interferómetro Mach-Zehnder [7].

Los láseres sintonizables con RBs son muy versátiles ya que pueden ser sintonizados fácilmente aplicando esfuerzo y/o temperatura a la RB [8]. Una forma muy reciente de sintonizar finamente un LFDE es con una oblea de silicio (Si) el cual se comporta como interferómetro FP y al aplicarle temperatura su espectro de reflexión se desplaza y por tanto la línea de emisión [9]. Estos elementos pueden ser incluidos tanto en láseres con cavidades FP o en anillo.

En este trabajo se presenta el estudio experimental y teórico de láseres sintonizables de fibra óptica dopada con E^{3+} basados en una rejilla de Bragg y una oblea de Si. En la primera configuración láser, se utilizó una rejilla de Bragg para formar una cavidad Fabry-Perot junto con un Espejo de Faraday. La longitud de emisión del láser está gobernada por la longitud de onda de Bragg la cual se puede desplazarse aplicándole

esfuerzo y/o temperatura a la rejilla. La segunda configuración láser fue con una cavidad de anillo donde se utilizó una oblea de Si como filtro Fabry-Perot. La línea de emisión está gobernada por los picos máximos del espectro de interferencia del interferómetro Fabry-Perot, los cuales también pueden ser desplazados aplicándole temperatura a la oblea de Si. Por lo que se muestra la sintonización láser en la banda C de las telecomunicaciones (~ 1550 nm) con el uso de una rejilla de Bragg y una oblea de Si. El desplazamiento de la línea de emisión de ambos láseres se corrobora con simulaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la figura 1a se muestra el diagrama experimental del LFDE sintonizable por medio de una RB. Un diodo laser de bombeo (BL976-SAG300 Thorlabs) que emite a la longitud de onda $\lambda=976$ nm, suministrando una potencia máxima de 300 mW se empalmó al puerto de 980 nm de un multiplexor por división de longitud de onda (WDM, WD202A-FC Thorlabs), y el común de éste se empalmó a la RB (O/E Land) con $\lambda=1549.97$ nm y $R=53.66\%$ y el extremo de ésta se empalmó a la fibra dopada con Er^{3+} (FDE, F-EDF-T6 Newport Corporation) de 2.45 m y para completar la cavidad FP finalmente se le empalmó un espejo de Faraday (MFI-1550 Thorlabs). La salida del láser se tomó del puerto de 1550 nm del WDM. La señal se obtuvo con un analizador de espectros ópticos (OSA, AQ6370C Yokogawa).

En la figura 1b se muestra el diagrama experimental del LFDE sintonizable por medio de una oblea de Si. Se utilizó el WDM para bombear la FDE (M5-980-125 Thorlabs) de 3.2 m. Después se empalmó al puerto uno del circulador (6015-3 THORLABS), al puerto dos se le acopló la oblea de Si la cual fue puesta sobre un enfriador termoelectrónico para variar su temperatura. El puerto tres se empalmó al acoplador 50/50 (TW1064R5A2A Thorlabs), donde el 50% de la señal se empalmó al puerto 1550 nm del WDM para cerrar la cavidad y el otro 50% se utilizó para el análisis de la señal.

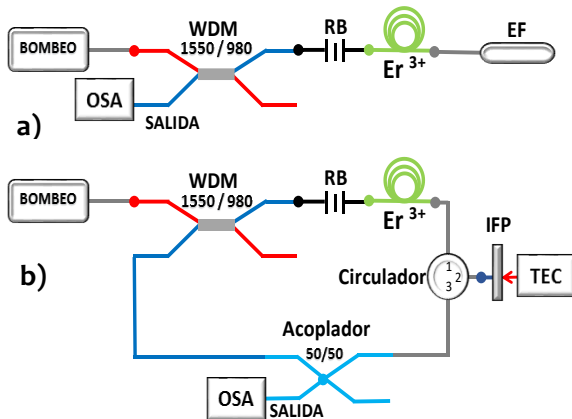


Figura 1: Diagramas de los láseres sintonizables con a) rejilla de Bragg y b) oblea de Silicio.

La longitud de onda de emisión del láser con la RB está gobernada por el espectro de la RB, el cual está descrito como [10]:

$$R = \frac{\Omega^2 \sinh^2(sl)}{\Delta k^2 \sinh^2(sl) + s^2 \cos^{-1} \theta \cosh^2(sl)} \quad (1)$$

Donde Ω 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,

$k = \frac{2\pi n}{\lambda_B}$ es la constante de propagación y

$$s^2 = \Omega^2 - \Delta k^2.$$

El cambio en la longitud de onda de Bragg ($\Delta \lambda_B$) debido a cambios en temperatura y someter a un esfuerzo a la RB, se describe como [10]:

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

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

donde $P_e = 0.212$ es la constante de estrés-óptico efectivo, E es el esfuerzo y ΔT 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 de sílice respectivamente.

La longitud de onda de emisión de láser con la oblea de Si está gobernado por su espectro de

interferencia reflejado, el cual está descrito como [9]:

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \frac{4Rn}{(1-Rn)^2} \sin^2 \left[\frac{4\pi nd}{2\lambda} \right]} \quad (4)$$

Donde n es el índice de refracción, λ es la longitud de onda y $d = 372 \text{ } \mu\text{m}$ es el grosor de la oblea.

Los picos máximos del espectro de interferencia pueden ser desplazados aplicándole temperatura a la oblea, debido a que el Si tiene un alto coeficiente termo-óptico $1.5 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, por lo que el valor del índice de refracción está descrito como [9]:

$$n = 3.4169 + \frac{0.13849}{\lambda^2 - 0.028} + \frac{0.1392}{(\lambda^2 - 0.028)^2} - 2.09 \times 10^{-5} \lambda^2 + 1.48 \times 10^{-7} \lambda^4 + 1.5 \times 10^{-4} (T - T_0) \quad (5)$$

donde T es la temperatura del Si respectivamente, $T_0 = 293 \text{ K}$ es la temperatura de referencia y λ es la longitud de onda.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se muestran los resultados teóricos del cambio de la λ_B de la RB cuando se le aplica temperatura. Se puede observar que es posible desplazar la $\lambda_B \sim 2 \text{ nm}$ en un rango de $\sim 120 \text{ } ^\circ\text{C}$. En la inserción se muestra como se desplaza el espectro de reflexión de la RB (ver ecuación (1)) cuando se le aplica temperatura. Se puede observar como el pico máximo de reflexión se desplaza hacia longitudes de onda mayores cuando la temperatura aumenta (ecuación (3)).

En la figura 3 se muestran los resultados experimentales del cambio en la longitud de onda de emisión del láser en función de la temperatura. En la inserción se muestra el espectro de emisión laser a diferentes temperaturas. Se sabe que la longitud de onda de emisión está gobernada por el espectro de la RB. Se puede observar que si cambia la λ_B entonces la longitud de onda de emisión del láser también cambia. Por lo que está en congruencia los resultados teóricos con los experimentales.

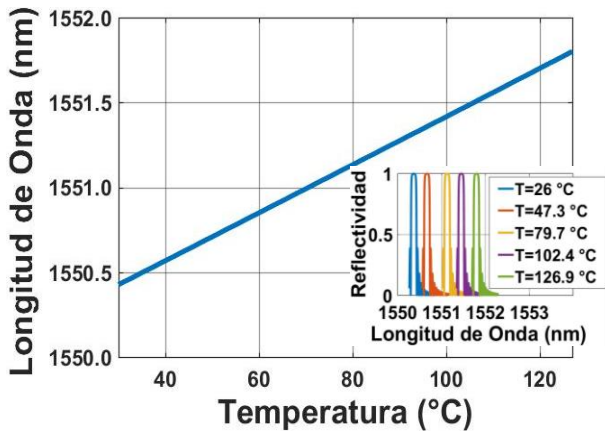


Figura 2: Simulación del desplazamiento de la longitud de onda de Bragg cuando se le aplica temperatura a la RB.

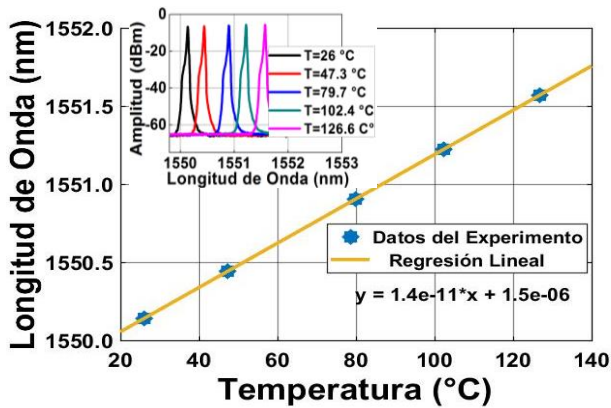


Figura 3: Desplazamiento de la longitud de onda de la línea de emisión láser en función de la temperatura aplicada a la RB.

En la figura 4 se muestran los resultados teóricos del cambio de la λ_B de la RB cuando se le aplica esfuerzo. Se puede observar que se desplaza la longitud de onda ~ 100 pm cuando se le aplica un esfuerzo de $\sim 80 \mu\epsilon$. En la inserción de la figura 4 se muestra cómo se desplaza el espectro de reflexión de la rejilla cuando se le aplican varios valores de esfuerzo. También se puede observar como el pico máximo de reflexión se desplaza hacia longitudes de onda mayores cuando el esfuerzo aumenta como se muestra en la ecuación 2.

En la figura 5 se muestran los resultados experimentales del cambio en la longitud de onda de emisión del láser en función del esfuerzo. En la inserción de la figura 5 se muestra como el láser

se sintoniza cuando se le aplica diferentes valores de esfuerzo a la RB.

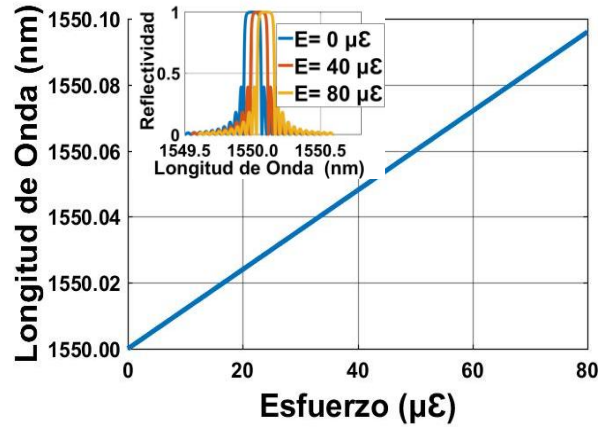


Figura 4: Simulación del desplazamiento de la longitud de onda de Bragg cuando se le aplica esfuerzo a la RB.

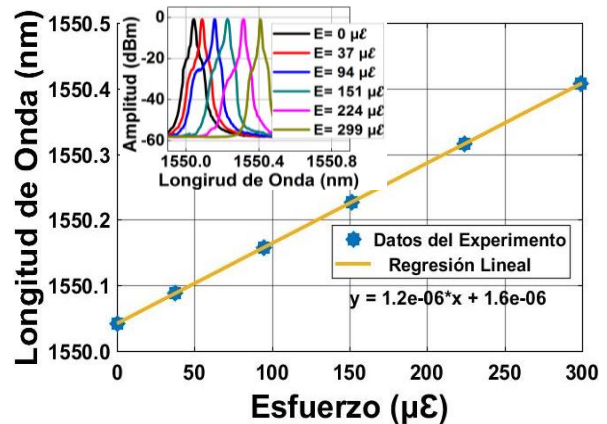


Figura 5: Desplazamiento de la longitud de onda de la línea de emisión láser en función del esfuerzo aplicado a la RB.

En la figura 6 se muestran los resultados teóricos de las simulaciones del desplazamiento de uno de los picos del patrón de interferencia de reflexión generado por la oblea de Si en función de la temperatura. En la inserción de la figura 6 se muestra como el patrón de interferencia se desplaza cuando se aplican diferentes valores de temperatura a dicha oblea. Esto es debido a que el índice de refracción del Si cambia con la temperatura (ver ecuación (5)) y por tanto se ve reflejado en el espectro de interferencia como se muestra en la ecuación (4). Se puede observar que se ocupan temperaturas muy bajas para lograr se desplace el espectro.

En la figura 7 se muestran los resultados experimentales del cambio de la longitud de onda de emisión del láser en función de la temperatura aplicada a la oblea de Si. En la inserción de la figura se puede observar la sintonización de la emisión del láser. Cabe mencionar que el rango de sintonización es pequeño y está limitado a la separación que existe entre dos máximos del patrón de interferencia pero la sintonización es muy fina del orden de picómetros aplicando décimas de grados centígrados.

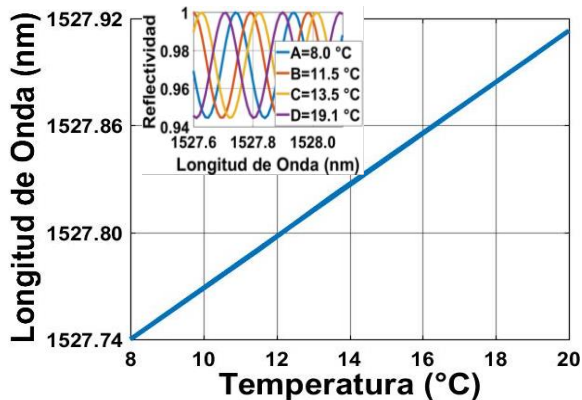


Figura 6: Desplazamiento de los picos del patrón de interferencia en función de la temperatura aplicada al IFP.

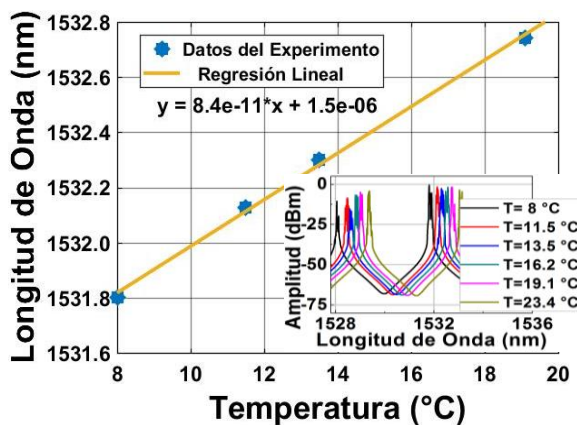


Figura 7: Resultados de la teoría de sintonización por temperatura en la oblea de Silicio.

CONCLUSIONES

Se mostró la sintonización de láseres de fibra dopada con Er^{3+} basados en una rejilla de Bragg y una oblea de Silicio. Se simuló el cambio de la longitud de onda de Bragg y del espectro de reflexión al aplicar temperatura y esfuerzo a la

rejilla de Bragg y el cambio del espectro generado por la oblea de Si al aplicarle temperatura. La sintonización de los láseres mostró un comportamiento lineal el cual está en congruencia con las simulaciones.

REFERENCIAS

- [1] Y. T. Chieng, G. J. Cowle, and R. A. Minasian, (1996) "Optimization of wavelength tuning of Erbium-doped fiber ring lasers". *Journal of Lightwave Technol*, 14(7),1730-1739.
- [2] M. González Reyna, E. Alvarado Méndez, J. Estudillo Ayala, E. Vargas Rodríguez, M. Sosa Morales, J. Sierra Hernández, D. Jauregui Vázquez y R. Rojas Laguna. (2015). "Laser Temperature Sensor Base on a Fiber Bragg Grating". *Photonics Technology Letters IEEE Explore*, 27(11), 1141 - 1144.
- [3] N. Arsal, M. Li y G. Stewart. (2011). "IntraCavity Spectroscopy Using Amplified Spontaneous Emission in Fiber Lasers". *Journal of Lightwave Technology*. 29(5), 782 – 788.
- [4] Tesis: "Laser de Fibra óptica Sintonizable", Arturo Alberto Castillo Guzmán, UAT NL, Julio 2011
- [5] Shinji Yamashita, Member and Masato Nishihara. (2001). "Widely Tunable Erbium-Doped Fiber Ring Laser Covering Both C-Band and L-Band". *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics*, 7(1), 41-43.
- [6] Xueming Liu, Xiaoqun Zhou, Xiufeng Tang, Junhong Ng, Jianzhong Hao, Teck Yoong Chai, Edward Leong, and Chao Lu. (2005). "Switchable and Tunable Multiwavelength Erbium-Doped Fiber Laser With Fiber Bragg Gratings and Photonic Crystal Fiber". *IEEE Photonics Technology Letters*, 17(8), 1626-1628.
- [7] Yew Tai Chieng and R. A. Minasian. (1994). "Tunable Erbium-Doped Fiber Laser with a Reflection Mach-Zehnder Interferometer". *IEEE Photonics Technology Letters*. 6(2), 152-156.
- [8] H.H. Cerecedo-Núñez, L.A. Zenteno-Sánchez, G.E. Torres-Cisneros. (1999). "Caracterización de rejillas de Bragg en fibra óptica". *Revista Mexicana de Física*. 45(4) ,364-369.
- [9] E. Gallegos-Arellano, E. Vargas-Rodriguez, A. D. Guzman-Chavez, M. Cano-Contreras, J. L. Cruz and R K Raja-Ibrahim. (2016) "Finely tunable laser based on a bulk silicon wafer for gas sensing applications". *Laser Physics Letters*. 13(6),6pp.
- [10] A. Othonos and K. Kally. (1999). "Fiber Bragg Gratings, Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing". Artech House, Boston, Mass.