

CARACTERIZACIÓN DE DISPOSITIVOS DE FIBRA ÓPTICA PARA IMPLEMENTACIÓN DE SENSADO

Quintero Mata Christian Alejandro (1), Estudillo Ayala Julián Moisés (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [ca.quinteromata@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías, Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [julian@ugto.mx]

Resumen

Actualmente se exploran las capacidades de la fibra óptica como sensor de una variedad de magnitudes físicas, probando diferentes configuraciones y arreglos diversos. En este trabajo se presenta la fabricación y caracterización de un interferómetro de fibra óptica con dos fibras estrechadas en serie, cuyas características permiten el sensado de temperatura e índice de refracción, empleando una fuente de luz supercontinua en el rango visible obtenida a partir de 70 metros de fibra óptica estándar bombeada con un microchip láser pulsado de longitud de onda de 532nm. El dispositivo fabricado muestra una excelente estabilidad y gran sensibilidad a los cambios físicos a los que se le somete.

Abstract

Currently the fiber optics capabilities are explored as a sensor of a variety of physical magnitudes, testing different configurations and a diversity of arrangements. In this work is shown the fabrication and characterization of an optical fiber interferometer with 2 concatenated optical fibers, whose characteristics allow temperature and reflection index sensing, using a supercontinuum light source in the visible range, obtained by 70 meters of standard optical fiber pumping by a pulsed microchip laser of a wavelength of 532 nm. The manufactured device shows an excellent stability and a great sensitivity to the physical changes to which it is subjected.

Palabras Clave

Interferómetro Mach Zehnder; Fibra óptica estrechada; Sensor óptico; Espectro visible.

INTRODUCCIÓN

Introducción a las fibras ópticas

Una fibra óptica es una guía de onda cilíndrica, compuesta de un núcleo por donde la luz se propaga, una capa envolvente, llamada recubrimiento, con un índice de refracción menor y una capa externa plástica que brinda resistencia a la estructura. El esquema general se muestra en la imagen 1. Para confinar la luz dentro del núcleo, el índice de refracción de éste debe ser mayor que el del recubrimiento, logrando una reflexión interna total [1]. El recubrimiento es básicamente el responsable del confinamiento de la luz dentro del núcleo, disminuyendo las pérdidas. [2].

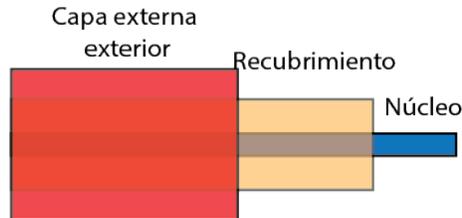


IMAGEN 1: Arreglo general de la fibra óptica

Sensores de fibra óptica

La estructura común de un sistema de sensor óptico consiste en general, de una fuente de luz enviando la señal a través de una fibra óptica, que será modulada en el elemento de sensado y recopilada después por un detector óptico.

Actualmente existen sensores ópticos capaces de medir parámetros como esfuerzo, torsión, temperatura, presión, índice de refracción, pH, desplazamiento, etcétera [3-6].

- *Sensores de fibra óptica basados en interferómetro Mach Zehnder*

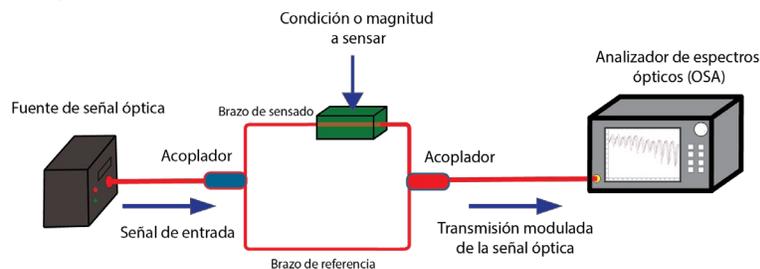


IMAGEN 2: Sensor óptico basado en interferómetro Mach Zehnder

Los interferómetros Mach Zehnder (IMZ) son flexibles en sus configuraciones y adecuados para un amplio número de aplicaciones de sensado. La configuración básica consiste en dos ramas, independientes una de la otra, las cuales son la rama de referencia y la rama de sensado. Esta configuración se muestra en la imagen 2.

La señal óptica emitida por la fuente de luz es dividida en las ramas y unidas de nuevo en una sola fibra óptica para analizar después los patrones de interferencia.

Otra forma de elaborarlos es por medio del estrechamiento local de la fibra óptica. Su fabricación consta de adelgazar una o varias secciones de la fibra, haciendo que ésta adquiera mayor sensibilidad a los cambios físicos que se desea medir. [7-8]

Actualmente, existen numerosas investigaciones acerca del comportamiento de este tipo de dispositivos y su capacidad de ser utilizados como sensores, sin embargo, se han estado utilizando fuentes de luz láser con una longitud de onda a partir de alrededor de los 1550 nm. [6] [9-11]

Este tipo de láser son muy costosos en comparación a uno que emita luz en el espectro visible, lo que disminuye la factibilidad de escalar este tipo de sensores a un nivel comercial.

El presente trabajo se enfoca en la elaboración y caracterización de un sensor óptico basado en el interferómetro Mach Zehnder, utilizando una luz supercontinua bombeada por un láser de luz visible como señal óptica probando, además, su desempeño como sensores de temperatura e índice de refracción.

MATERIALES Y MÉTODOS

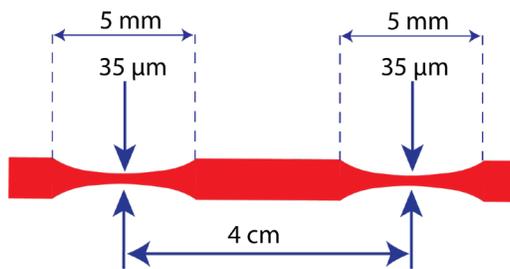


IMAGEN 3: Perfil del interferómetro fabricado

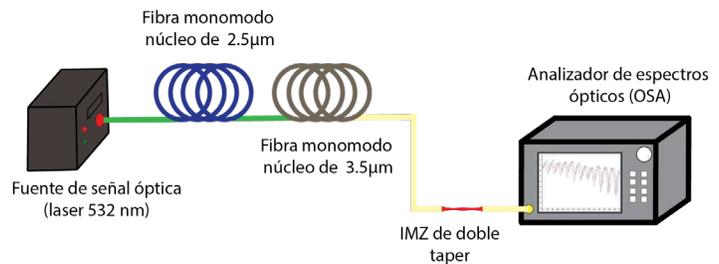


IMAGEN 4: Arreglo experimental para el proceso de prueba del IMZ de doble taper

Se comenzó por elaborar un taper doble en fibra óptica estándar G.652.D cuyas características se muestran en la imagen 3. Para su obtención, se empleó una máquina de fabricación de fibra óptica estrechada mediante fusión y estiramiento.

Este elemento fue empalmado a la salida de una fuente de luz supercontinua generado también por fibra estándar G.652.D y empleando un microchip láser pulsado de 1064nm de longitud de onda de pulsos de 700 ps y una frecuencia de 8.5 kHz como fuente de bombeo, siendo analizada la señal resultante con ayuda de un analizador de espectro óptico (OSA), marca y modelos YOKOGAWA AQ6370B.

Al obtener resultados positivos en el patrón de interferencia mostrado por el OSA, se procedió a cambiar la fuente de bombeo a un microchip laser pulsado de 532nm marca y modelo teem photonics SNG-03E-100 y las características del supercontinuo, empleando esta vez 30 metros de fibra monomodo de un diámetro de 2.5 µm de núcleo.

Esta vez los resultados no fueron favorables, ya que no se lograba apreciar franjas de interferencia a la salida del interferómetro.

Finalmente se procedió a realizar el interferómetro de las mismas características mostradas ya en la figura 3, ahora, sobre fibra monomodo de 3.5 µm de diámetro en el núcleo. Se utilizó una fuente de luz supercontinua generada a partir de 30 metros de fibra monomodo con un núcleo de 2.5 µm de diámetro, seguidos de 40 metros de fibra monomodo de 3.5 µm. El esquema del arreglo se muestra en la figura 4. Esta configuración mostró resultados muy favorables, generando franjas con una visibilidad de casi 15dBm en el rango aproximado de 600-825 nm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se comenzó probando el dispositivo como sensor de temperatura, introduciéndolo en un horno con control de temperatura y analizando cada ciertos grados Celsius, desde 37 hasta 128 °C. En la imagen 5 se muestran el espectro generado para un rango de 740 a 750 nm y en la figura 6 la comparación de estos datos con su

regresión lineal. Como puede apreciarse, se tiene un corrimiento en la fase proporcional al incremento de temperatura.

Realizando las interpolaciones necesarias en las mediciones, se obtiene un aproximado de 0.0096 nanómetros de corrimiento en la fase por cada grado Celsius incrementado.

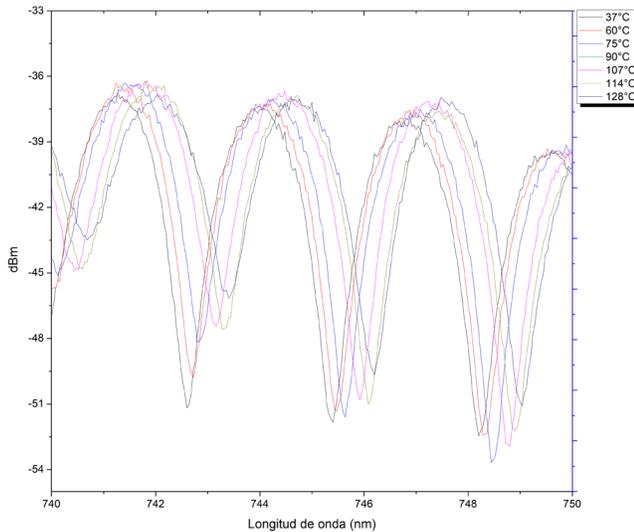


IMAGEN 5: Gráfica generada como sensor de temperatura. 740-750 nm

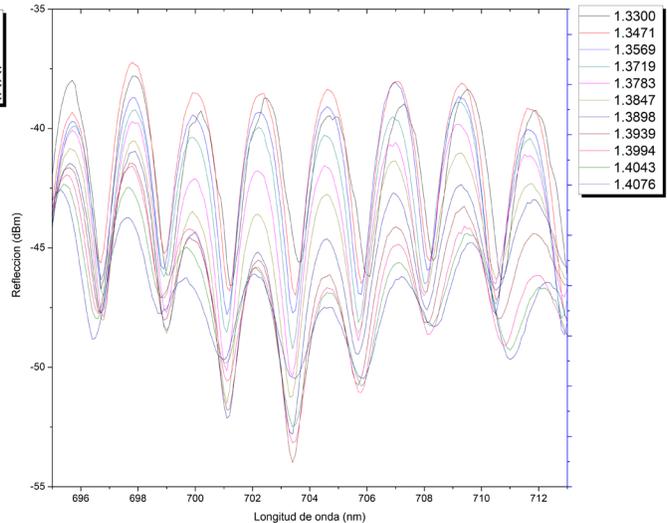


IMAGEN 7: Gráfica generada como sensor de índice de refracción. 695-713 nm

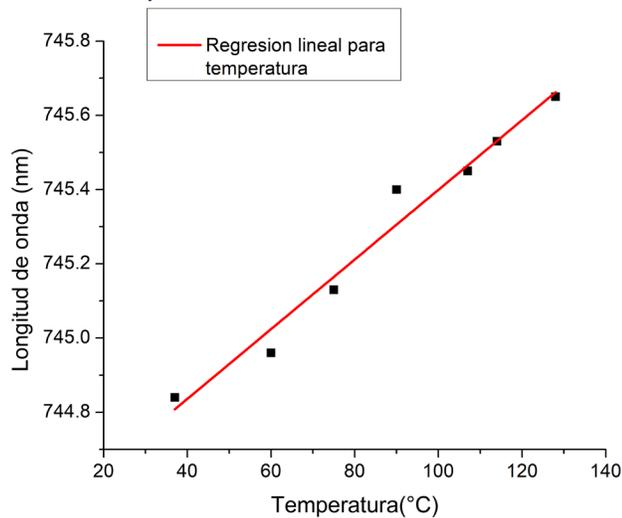


IMAGEN 6: Gráfica generada como sensor de temperatura. Rango: 37°C - 128°C

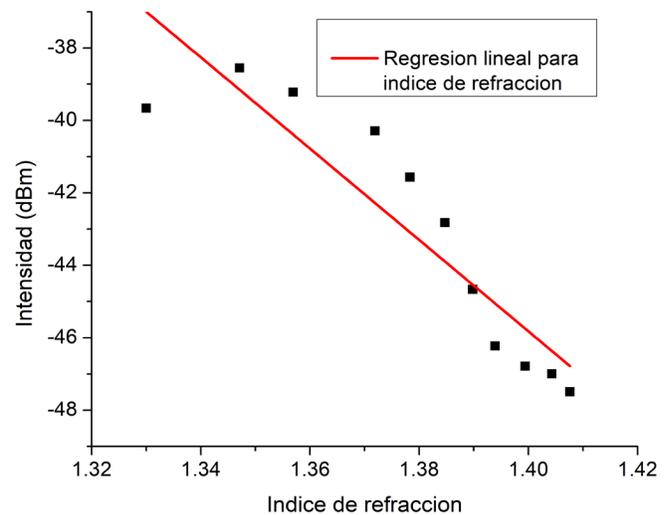


IMAGEN 8: Gráfica generada como sensor de índice de refracción. Rango: 1.3300-1.4076

Para realizar el análisis del dispositivo como sensor de índice de refracción, el interferómetro fue sumergido completamente en 20ml de agua destilada para después, agregar glicerina pura a la mezcla hasta llegar a una concentración de dos partes de agua por cada parte de glicerina. En la figura 7 se muestran los espectros obtenidos con respecto al índice de refracción resultante para cada concentración de glicerina y en la figura 8, la comparación con su respectiva regresión lineal. Como puede observarse, los cambios en amplitud de las franjas del espectro óptico están relacionados con el aumento en el índice de refracción.

CONCLUSIONES

Los resultados en los experimentos muestran que este dispositivo puede ser utilizado como sensor de temperatura e índice de refracción. En ambos casos muestra una buena sensibilidad a los cambios a los que se le somete y un buen rango en la longitud de onda en la que se puede trabajar.

El sensor fue realizado en fibra óptica común, utilizando un láser pulsado que emite luz en el espectro visible, lo que hace que su escalamiento comercial sea factible.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el laboratorio de Fotónica de la DICIS-UG y apoyado por el proyecto DAIP “108/Investigación de los efectos de luz polarizada en los sistemas láseres de fibra óptica sintonizables” 2018.

REFERENCIAS

Libro:

- [1] Ghatak, Ajoy, & K. Thyagarajan. (1998). Total internal reflection, An introduction to fiber optics (pp. 18-19). Cambridge university press.
[2] F. Domingues, M. F. & Radwan, A. (2017). Principles of Optical Fiber Sensing, Optical fiber for lot and smart devices (pp. 1-3). Springer International Publishing AG

Artículo:

- [3] Fidanboyly, K. A., & H. S. Efendioglu. (2009). Fiber optic sensors and their applications. 5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09). 6, 2-3
[4] Lee, Byeong Ha, et al. (2012). Interferometric fiber optic sensors. *Sensors*, 12(3), 10.3390/s120302467
[5] ZHU Shan et al. (2011) Temperature sensor based on a single-mode tapered optical fiber. Key Laboratory of Specialty Fiber Optics and Optical Access Networks, School of Communication and Information, Engineering, Shanghai University, China
[6] Huerta Mascotte E., Sierra Hernandez, J. M., Mata Chavez, R., Jauregui Vazquez, D., Castillo Guzman, A., Estudillo Ayala, J. M., Guzman Chavez, A. D., Rojas Laguna, R. (2016). A Core-Offset Mach Zehnder Interferometer Based on A Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber and Its Torsion Sensing Application. *Sensors* 06/2016; 16(6):856.
[7] Hernandez Robles, E. A., Estudillo Ayala, J. M., Sierra Hernandez, J. M., Jauregui Vazquez, D., Hernandez Garcia, J. C., Rojas Laguna, R., & Martinez Angulo, J. R. (2017). A dual tapered Mach-Zehnder interferometer for magnetic field sensing. In *Photonic Fiber and Crystal Devices: Advances in Materials and Innovations in Device Applications XI* (Vol. 10382, p. 103820Y).
[8] Ping Lu, Liqiu Men, Kevin Sooley & Qiyang Chen, (2009). Tapered fiber Mach-Zehnder interferometer for simultaneous measurement of refractive index and temperature. *Applied Physics Letters*, 94 (131110), 10.1063/1.3115029
[9] Linlin Xu & Ying Li, (2012). Nonadiabatic fiber taper-based Mach-Zehnder interferometer for refractive index sensing. *Applied Physics Letters*, 101 (153510), 10.1063/1.4759041
[10] Lopez Dieguez, Y., Estudillo Ayala, J. M., Jauregui Vazquez, D., Herrera Piad, L. A., Sierra Hernandez, J. M., Hernandez Garcia, J. C., & Rojas Laguna, R. (2018). Tip Fiber-Optic Intermodal Interferometer for Refractive Index Sensing. *IEEE Photonics Technology Letters*, 30(1), 15-18.
[11] Lopez Dieguez, Y., Estudillo Ayala, J. M., Jauregui Vazquez, D., Sierra Hernandez, J. M., Herrera Piad, L. A., Cruz Duarte, J. M., & Rojas Laguna, R. (2017). Multi-mode all Fiber Interferometer based on Fabry-Perot Multi-cavity and its Temperature Response. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 147, 232-239.