

SENSOR DE TEMPERATURA DE FIBRA OPTICA BASADO EN INTERFEROMETROS INTERMODALES RECUBIERTOS CON METALES

González Enríquez Paloma (1), Sierra Hernández Juan Manuel (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica; Departamento de Ingeniería Mecánica; División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3.5 + 1.8, Comunidad de Palo Blanco, Salamanca Gto. C.P. 36885, México] | [p.gonzalezhenriquez@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3.5 + 1.8, Comunidad de Palo Blanco, Salamanca Gto. C.P. 36885, México] | [jm.sierra@ugto.mx]

Resumen

En este trabajo un sensor de temperatura basado en un interferómetro intermodal tipo Mach-Zehnder (MZI, Mach-Zehnder interferometer), recubierto con una capa delgada de aluminio es presentado. Aquí, este interferómetro fue fabricado utilizando la técnica de core-offset, mediante la cual se empalmaron tres segmentos de fibra monomodo (SMF, single mode fibers), con un ligero desplazamiento del segmento central y recubriendo la parte del central con aluminio utilizando un evaporador termal. Los resultados experimentales muestran un contraste de franja de los interferómetros de 5 dBm y una sensibilidad de 64.8 pm/°C. Gracias que al alto índice de refracción del aluminio comparado con la del sílice de la fibra óptica, la distribución de los modos que se propagan por el revestimiento cambian en la parte recubierta. Finalmente, esta estructura es muy compacta y robusta.

Abstract

In this paper, a temperature sensing setup based on an asymmetric core-offset Mach-Zehnder Interferometer (MZI) coated with aluminum is proposed. Here, the interferometer is fabricated by core-offset splicing three sections of Single Mode Fiber (SMF), and by coating it with aluminum using a thermal evaporator. Experimental results show that a fringe contrast of 5 dB, and a sensitivity of 64.8 pm/°C, can be obtained. Thanks to the high refractive index of aluminum compared to silica, the distribution of the cladding modes changes in the coated part. Finally, the proposed structure is compact and robust.

Palabras Clave

Interferómetro Mach-Zehnder; Sensor de temperatura; Fibra óptica; Core-Offset; Interferómetro recubierto

INTRODUCCIÓN

En los recientes años los sensores de fibra óptica han sido implementados para detectar una amplio rango parámetros físicos por ejemplo; esfuerzo, torsión, presión, índice de refracción y temperatura. Estos sensores se caracterizan por su tamaño pequeño, rápida respuesta, alta resolución pero sobre todo es inmune a la interferencia electromagnética [1]. Por estas razones las mediciones de temperatura utilizando este tipo de sensores de fibra han sido una gran área de interés para la comunidad científica. De esta manera en la literatura pueden ser encontrados un gran numero de sensores de fibra óptica basados en interferómetros intermodales tales como: Fabry-Perot (FPI) [2], Michaelson (MI) [3] y Mach Zehnder (MZI) [4] – [6]. Para implementar los sensores se utilizan varios métodos, como por ejemplo por medio de tapers de fibra óptica, Rejillas en cascada, por medio de fibras especiales como fibra de cristal fotónico, fibra de núcleo adelgazado y finalmente, por medio de estructuras tipo core-offset [7]. En este trabajo se presenta un sensor de temperatura basado en un interferometro Mach-Zehnder recubierto con aluminio. La técnica de fabricación utilizada fue la de core-offset ya que es sencillo y se puede lograr un interferómetro funcional utilizando únicamente fibra monomodo (SMF). El objetivo de este trabajo será fabricar, caracterizar e implementar unos interferómetros intermodales recubiertos con un metal que pueda ser propuesto para el sensado de temperatura.

Funcionamiento (principio de operación)

Proceso de fabricación

Los interferómetros fueron fabricados utilizando una fibra óptica convencional SMF-28, con un diámetro de núcleo de $8\ \mu\text{m}$ y un diámetro de revestimiento de $125\ \mu\text{m}$. Para implementar el interferómetro MZI, los segmentos de fibra fueron empalmados con una empalmadora de descargas eléctricas comercial Filtel modelo S175S como se muestra en la imagen 1. Aquí es importante mencionar que con el fin de fabricar los MZI se utilizó una empalmadora en modo manual y para realizar el core-offset la fibra monomodo se desplazó hacia abajo una distancia de $30\ \mu\text{m}$ (ver imagen 1b), esta distancia fue elegida después de realizar varias caracterizaciones experimentales con el desplazamiento lateral de las secciones de núcleo de ambas fibras ópticas y como se lograron los valores máximos de contraste de franja para realizar el empalme se dieron 5 descargas (ver imagen 1c). Para obtener las uniones empalmadas, la empalmadora se programó con los siguientes parámetros: (a) 104 de potencia de arco; (b) 200 ms de tiempo de profusión y (c) 1550 ms de duración de arco.

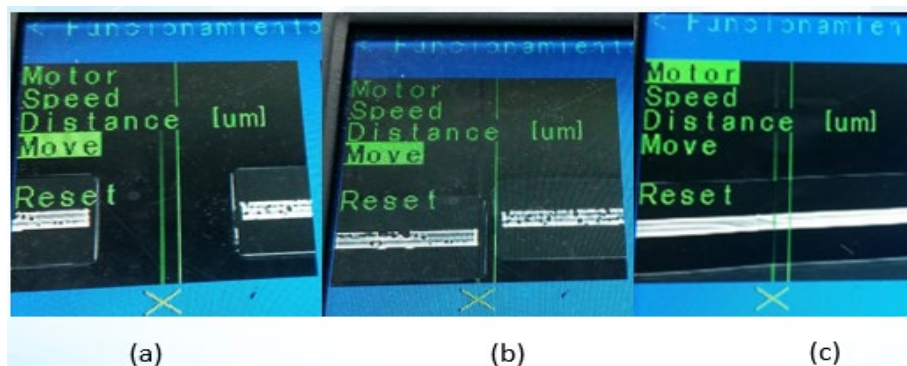


IMAGEN 1: Fabricación del interferómetro Mach-Zehnder; (a) alineación de ambos segmentos de SMF; (b) Core-offset de $30\ \mu\text{m}$; (c) empalme de las fibras monomodo.

El principio de operación se puede explicar de la siguiente manera: cuando el modo fundamental que se propaga a través de la sección 1 SMF hasta que alcanza el primer empalme (ver imagen 2), este se refracta en la segunda sección de fibra monomodo. De esta manera, los modos de núcleo y revestimiento se excitan y se propagan a lo largo de la segunda sección de SMF. Debido a que el revestimiento tiene un índice de refracción efectivo menor que el del núcleo, una diferencia de fase entre los modos de ambos produce una diferencia de velocidades. Por lo tanto los modos que se están propagando a través de la región del núcleo y revestimiento producen un patrón de interferencia cuando se reacoplan en el segundo empalme. En estos interferómetros tanto el núcleo como el revestimiento actúan como caminos ópticos y los empalmes (Core-Offset) actúan como acopladores ópticos [7]. Además debido a que este interferómetro es recubierto de una capa delgada de aluminio, esta aumenta la sensibilidad de los dispositivos realizados, debido a que el coeficiente expansión térmica que tiene aluminio es mayor [6].

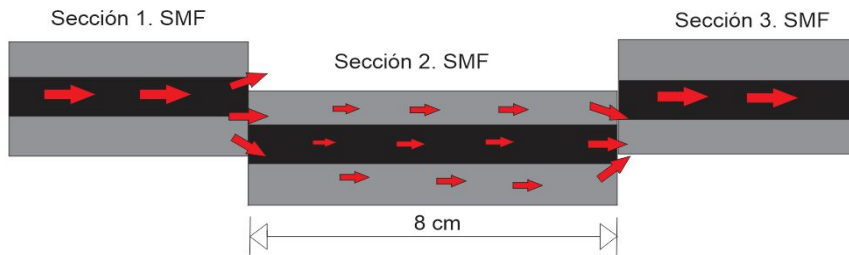


IMAGEN 2: Diagrama esquemático de modos en el interferómetro MZI tipo core-offset.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar la caracterización la de respuesta del espectro óptico MZI, se utilizó la configuración experimental que se muestra en la imagen 3. Aquí la luz del diodo laser semiconductor de bombeo (Qphotonics, modelo QFBGLD-908-150J), el cual se acopló a una fibra dopada con erbio de 2.8 m (Thorlabs, modelo M5-980-125, Newton, Nueva Jersey, EE. UU.), para generar una fuente de amplio espectro que va desde 1500 hasta 1600 nm, esta luz pasa por la estructura MZI y el espectro de salida se registra con un analizador de espectro óptico (OSA , Yokogawa AQ6370C, Tokio, Japón) con una resolución de 0.2 nm.

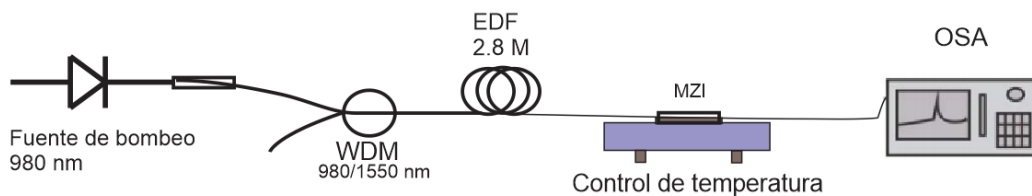


IMAGEN 3: Diagrama esquemático del montaje experimental

En la imagen 4 se muestran los espectros de la salida de 4 interferómetros con diferentes longitudes sin ser recubiertos con aluminio. En estos se pueden apreciar que los espectros tiene una figura aperiódica y que su contraste de franjas son muy pequeñas. Estos pueden ser explicados debido a que el acoplamiento de los modos del revestimiento dentro de la region del núcleo no es ideal.

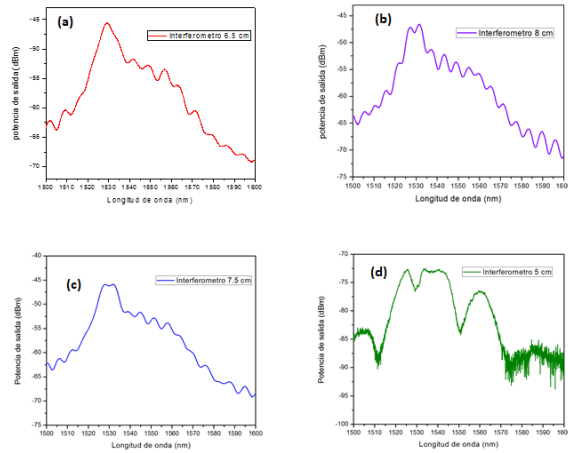


IMAGEN 4: Espectro de salida MZI, (a) 6.5 cm; (b) 8 cm; (c) 7.5 cm; (d) 5 cm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la imagen 5a se puede apreciar el espectro de salida de un interferómetro con longitud de 6 cm que ya está recubierto con aluminio. En este se puede apreciar seis franjas con un contraste de franja promedio de 5 dBm. La aperiodicidad de las franjas es debido a la superposición de dos o más patrones de interferencia generados por la interferencia del modo del núcleo. Aquí es importante puntualizar que el contraste de franja aumentó en comparación a los interferómetros caracterizados sin recubrimiento. Con el fin de conocer la respuesta del MZI recubierto de aluminio a los cambios de temperatura, este fue colocado y fijado a un control de temperatura realizado en la DICIS que trabaja bajo el principio a un control proporcional derivativo integral (PID) y una celda Peltier (Ver, imagen 3). La temperatura fue cambiada en un rango desde 0 hasta 90 °C en pasos de 5 °C (Ver, Figura 5a). Con el fin de analizar los cambios espectrales a diferentes temperaturas analizaremos el pico centrado en una longitud de onda de 1544 nm y que nombraremos 1 (Ver imagen 5b). En esta se puede apreciar que tuvo un cambio desde 1544 nm hasta 1544.6 nm. Con el fin de determinar cuantos modos del revestimiento intervienen en la formación del espectro de salida del MZI, la transformada rápida de Fourier (FFT, Fast Fourier Transform) fue aplicada, como se muestra en la imagen 6a. Aquí se puede observar que existe un modo de alto orden del revestimiento predominante que interfiere con el modo fundamental el núcleo.

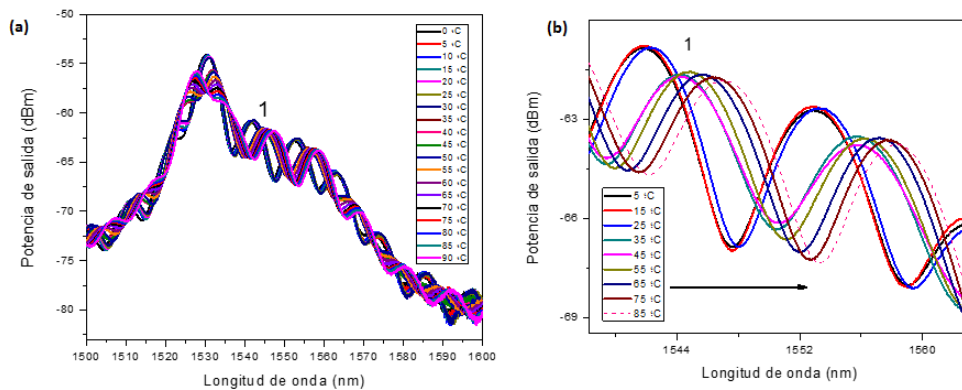


IMAGEN 5: Interferómetro Mach-Zehnder recubierto con aluminio; (a) espectro espacial aplicando temperatura; (b) segmento analizado.

Finalmente en la imagen 6b se muestra su grafica de linealidad y una sensibilidad de 64.8 pm/°C.

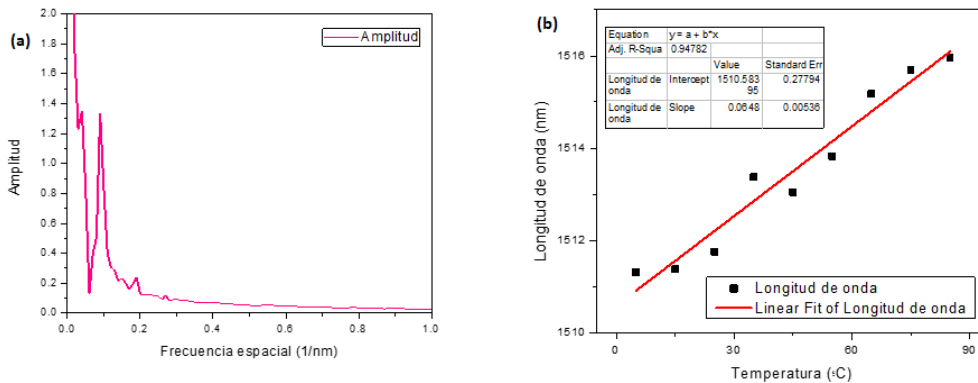


IMAGEN 6: Interferómetro Mach-Zehnder recubierto con aluminio; (a) Frecuencia espacial; (b) Linealidad.

CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo se cumplió ya que se logró fabricar y analizar un sensor de temperatura mediante la caracterización de un interferómetro Mach-Zehnder recubierto con Aluminio, al realizar su caracterización se obtuvo una sensibilidad de 64.8 pm/°C y una vez demostrado su buen funcionamiento, este sensor de temperatura podría implementarse en diversas áreas ya que cuenta con varias ventajas como que es un sensor con tamaño pequeño, rápida respuesta, alta resolución y sobre todo es inmune a la interferencia electromagnética.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se logró gracias al Doctor Juan Manuel Sierra Hernández, y a la Universidad de Guanajuato por permitirnos participar en este Verano de investigación UG.

REFERENCIAS

- [1] E. Udd and W. B. Spillman, *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*. John Wiley & Sons, 2011.
- [2] H. M. Kim, T. H. Kim, B. Kim, and Y. Chung, "Temperature-insensitive torsion sensor with enhanced sensitivity by use of a highly birefringent photonic crystal fiber," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 22, no. 20, pp. 1539–1541, 2010.
- [3] G. Salceda-Delgado, A. Van Newkirk, J. E. Antonio-Lopez, A. Martinez-Rios, A. Schülzgen, and R. Amezcua Correa, "Compact fiber-optic curvature sensor based on super-mode interference in a seven-core fiber," *Opt. Lett.*, vol. 40, no. 7, pp. 1468–1471, 2015.
- [4] Z. Ou, Y. Yu, P. Yan, J. Wang, Q. Huang, X. Chen, C. Du, and H. Wei, "Ambient refractive index-independent bending vector sensor based on seven-core photonic crystal fiber using lateral offset splicing.," *Opt. Express*, vol. 21, no. 20, pp. 23812–21, 2013.
- [5] J. M. Sierra-Hernandez, R. Rojas-Laguna, E. Vargas-Rodriguez, J. M. Estudillo-Ayala, D. Jauregui-Vazquez, A. D. Guzmán-Chávez, and P. Zaca-Moran, "A tunable multi-wavelength erbium doped fiber laser based on a Mach-Zehnder interferometer and photonic crystal fiber," *Laser Phys.*, vol. 23, no. 12, p. 125103, 2013.
- [6] J. M. Sierra-hernandez, A. Castillo-guzman, R. Selvas-aguilar, E. Vargas-rodriguez, E. Gallegos-arellano, J. M. Estudillo-ayala, D. Jauregui-vazquez, R. Rojas-laguna, G. N. Leon, and C. Palo, "Torsion sensing setup based on a three beam path Mach-Zehnder interferometer," *Wiley Period.*, vol. 57, no. 8, pp. 1857–1861, 2015.
- [7] E. Huerta-mascotte, J. M. Sierra-hernandez, R. I. Mata-chavez, D. Jauregui-vazquez, A. Castillo-guzman, J. M. Estudillo-ayala, A. D. Guzman-chavez, and R. Rojas-laguna, "A Core-Offset Mach Zehnder interferometer based on a non-zero dispersion-shifted fiber and its torsion sensing application," *Sensors*, 2016.

Libro:

E. Udd and W. B. Spillman, *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*. John Wiley & Sons, 2011.

Artículo:

J. M. Sierra-Hernandez, R. Rojas-Laguna, E. Vargas-Rodriguez, J. M. Estudillo-Ayala, D. Jauregui-Vazquez, a D. Guzmán-Chávez, and P. Zaca-Moran, "A tunable multi-wavelength erbium doped fiber laser based on a Mach-Zehnder interferometer and photonic crystal fiber," *Laser Phys.*, vol. 23, no. 12, p. 125103, 2013.

J. M. Sierra-hernandez, A. Castillo-guzman, R. Selvas-aguilar, E. Vargas-rodriguez, E. Gallegos-arellano, J. M. Estudillo-ayala, D. Jauregui-vazquez, R. Rojas-laguna, G. N. Leon, and C. Palo, "Torsion sensing setup based on a three beam path Mach-Zehnder interferometer," *Wiley Period.*, vol. 57, no. 8, pp. 1857–1861, 2015.