

PROPUESTA DE UN TRANSDUCTOR PARA LA MEDIDA SIMULTÁNEA DE STRAIN Y TEMPERATURA BASADO EN UNA COMBINACIÓN DE UNA RED DE DIFRACCIÓN DE PERIODO LARGO Y UNA CAVIDAD FABRY-PEROT.

J. Echevarría, J.L. Arce Diego, F.J. Madruga, M. Lomer, J.M. López-Higuera
 GRUPO DE INGENIERIA FOTONICA - Dpto. TEISA -UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.
 TLFNO. 942-201495. FAX. 942-201873
 Correo electrónico: jeche@teisa.unican.es

Abstract: Long period fiber optic gratings written in single mode optical fibers are becoming a very powerful technique for the construction of structural monitoring transducers. We propose a new transducer with optimal characteristics in this field. The structure of the transducer is designed using two semireflective splices forming a Fabry-Perot cavity with a long period fiber grating that can be used to obtain simultaneous measurement of strain and temperature.

1.- Introducción.

Las redes de difracción en fibra óptica de periodo largo o Long-Period Fiber Gratings (LPG) [1], [2] constituyen uno de los dispositivos con más proyección para la realización de sensores ópticos. Su pequeño tamaño, su elevada flexibilidad y la codificación de la magnitud sensada en la longitud de onda permiten construir transductores pasivos de altas prestaciones para la medida de temperatura y elongación (strain).

Sin embargo, uno de los problemas asociados a este tipo de transductores es la imposibilidad de distinguir entre desplazamientos de longitud de onda producidos por el strain de los producidos por la temperatura. [3]

Para la resolución de este problema de discriminación entre strain y temperatura se han realizado diferentes aproximaciones basados en la utilización de FBG (Fiber Bragg Grating o red de difracción de periodo corto) de referencia de temperatura, combinaciones de FBG y LPG, FBG dobles interrogados a dos longitudes de onda diferentes, etc., teniendo cada una de ellas diferentes niveles de éxito en cuanto a resolución y rango dinámico de la magnitud medida.

La teoría asociada a la realización de la discriminación entre strain y temperatura se basa en considerar que se dispone de dos respuestas ϕ_1 y ϕ_2 que dependen a través de la temperatura y del strain soportado por el transductor que se puede describir en forma matricial con la siguiente fórmula [4]

$$\begin{pmatrix} \Delta\phi_1 \\ \Delta\phi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{\varepsilon 1} & k_{T1} \\ k_{\varepsilon 2} & k_{T2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\varepsilon \\ \Delta T \end{pmatrix} \quad (1)$$

Para la recuperación de las dos magnitudes a medir es necesario realizar la inversión de la matriz de transferencia para lo cual es condición necesaria que su determinante no sea nulo.

El error cometido en la medida de las magnitudes de interés dependen fundamentalmente de los errores cometidos en las medidas y los errores

cometidos al realizar la calibración de los elementos de la matriz de transferencia.

2.- Estructura del transductor.

Para la realización del transductor se propone la utilización de una estructura formada por uniones semireflectivas en fibra junto con un LPG. Esto constituye un cavidad Fabry-Perot con una respuesta periódica dependiente de la longitud de onda que se superpone a la respuesta espectral propia del LPG y que se puede expresar como

$$R_T(\lambda) = I_0 \cdot T_{LPG}(\lambda) R_{FP}(\lambda) \quad (2)$$

Siendo I_0 una constante dependiente de la luz incidente, $T_{LPG}(\lambda)$ el espectro de transmisión del LPG y $R_{FP}(\lambda)$ el espectro de reflexión de la cavidad. En la figura siguiente se puede ver un diagrama de la estructura descrita :

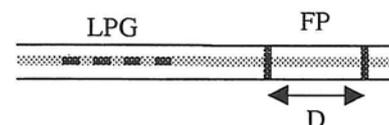


Fig.1 Estructura del transductor

donde D es la distancia entre las dos uniones semireflectivas. Eligiendo adecuadamente esta distancia en torno a las $20\mu\text{m}$ se puede conseguir situar dos picos de reflexión de la cavidad en las longitudes de onda para las cuales las pérdidas del LPG son del 50%. El espectro de reflexión de la cavidad se puede observar en la siguiente figura

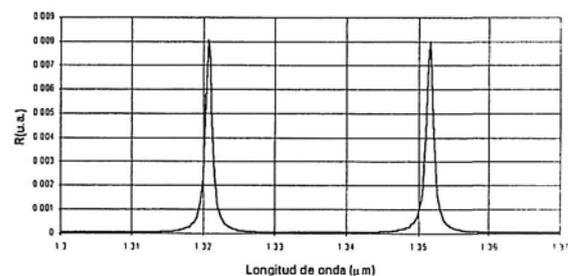


Fig.1 Espectro de reflexión de la cavidad FP

La combinación de este espectro con el de transmisión del LPG que se muestra en la siguiente figura dan lugar a un espectro reflectivo resultante que viene dado por dos picos a longitudes de onda determinadas por la longitud de la cavidad.

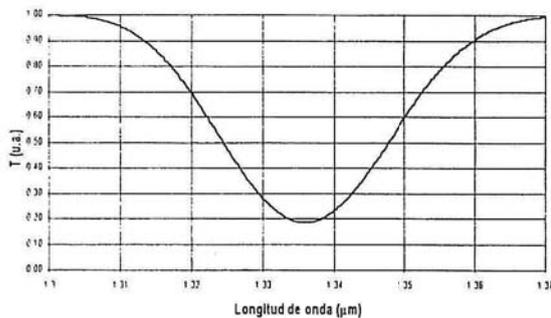


Fig. 2. Espectro de transmisión del LPG

Las dos medidas a realizar son por una parte la de la longitud de onda de una de las dos reflexiones y por otra parte la función resultante de la normalización de las dos reflectividades tal como se indica en [5] y que viene dada por la siguiente expresión

$$A = \frac{\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2}}{\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2}} \quad (3)$$

donde R_1 y R_2 son las reflectividades de ambos picos. En reposo las dos longitudes de onda de la cavidad están situadas tal y como se muestra en la siguiente figura

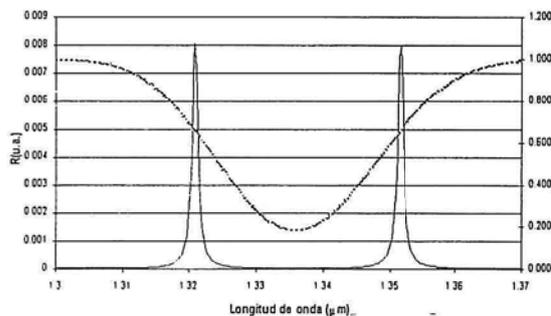


Fig. 3. Superposición de espectros de la cavidad FP y del LPG

Cuando el transductor es sometido a una elongación se produce un decremento pequeño de R_1 y un incremento pequeño de R_2 mientras que un cambio de temperatura da lugar a un incremento grande de R_1 y un decremento grande de R_2 . Si se realiza el dispositivo a una longitud de onda de unos 1300 nm, la matriz de transferencia viene dada por

$$\begin{pmatrix} \Delta A \\ \Delta \lambda_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.0138 \times 10^{-3} & 1.67898 \times 10^{-3} \\ 8.7 \times 10^{-3} & 1.03 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \varepsilon \\ \Delta T \end{pmatrix} \quad (4)$$

3.- Cálculo teórico de los errores de medida.

Para el cálculo de los errores de medida se ha realizado la aproximación de que el error en las medidas predomina sobre el error de los elementos de la matriz de transferencia. Considerando que las medidas se realizan con un espectrómetro óptico de 0.03 nm de resolución en longitud de onda a 1300 nm y de 1pW de resolución en potencia, se calculará el error cometido en la medida aplicando las siguientes expresiones [4]

$$|\delta T| \leq \frac{|k_{\varepsilon 2}| \cdot |\delta A| + |k_{\varepsilon 1}| \cdot |\delta \lambda_B|}{|\Delta|} \quad (5)$$

$$|\delta \varepsilon| \leq \frac{|k_{T 2}| \cdot |\delta A| + |k_{T 1}| \cdot |\delta \lambda_B|}{|\Delta|} \quad (6)$$

donde Δ es el determinante de la matriz de transferencia y δA , $\delta \lambda_B$ son los errores cometidos en la medida de A y λ_B respectivamente. Sustituyendo los valores anteriores en estas expresiones se obtienen un error de 0,26°C y 31,33 $\mu\varepsilon$.

4.- Resumen y conclusiones

Se ha propuesto una nueva estructura para la realización de un transductor de temperatura y elongación con discriminación entre ambas magnitudes. El sistema se basa en la formación de una estructura Fabry-Perot con dos uniones semireflectivas y una red de difracción de periodo largo. El sistema de demodulación a utilizar debe estar basado en la medida de la magnitud y la longitud de onda de dos picos de reflexión del transductor. Las prestaciones en cuanto a resolución en temperatura y strain son del orden de 0.26°C y 31,33 $\mu\varepsilon$.

5.- Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado con medios aportados por la CICYT a través del proyecto TIC'98-0397-C03-02.

6.- Referencias

- [1] "Long-Period Fiber Gratings as Band-Rejection Filters", A.M. Vengsarkar, P.J. Lemaire, J.B. Judkins, V. Bhatia, T. Erdogan & J.E. Sipe, Journal of Lightwave Technology, Vol. 14 (1) pp. 58-65, Enero 1996.
- [2] "Optical Fiber Long-Period Grating Sensors", V. Bhatia, T. D'Albarto, K.A. Murphy & R.O. Claus, 10th OFS, pp. 360-363, Mayo 1996.
- [3] "Review of Fibre Sensor Techniques for Temperature-Strain Discrimination", J.D.C. Jones, 12th OFS LEOS-OSA, Vol. 16, Octubre 1997.
- [4] "Simultaneous measurement of strain and temperature: error analysis", W.Jin, W.C.Michie, G.Thursby, M.Konstantaki & B.Culshaw, Optical Engineering, Vol 32. (2) 598-609, Febrero 1997.
- [5] "Hybrid fiber Bragg grating/long period fiber grating sensor for strain/temperature discrimination", H.J. Patrick, G.M. Williams, A.D. Kersey, J.R. Pedrazzani & A.M. Vengsarkar, Photonics Technology Letters, Vol. 8 (9) pp. 1223-1225, Septiembre 1996