Estudio del comportamiento a alta temperatura de las Redes de Difracción en Fibras Ópticas

D.A. González, A. Quintela, A. Campo, J.M. Mirapeix, J.M. López-Higuera
Grupo de Ingeniería Fotónica - Departamento TEISA
Universidad de Cantabria
e-mail : dagonfer@teisa.unican.es

***Abstract*- A comparative of the thermal behavior of Bragg gratings written in standard optical fiber is presented. Inherent photosensitivity of standard optical fiber allow the writing of gratings used for comparison with other more usual gratings written in an hydrogen-loaded fiber.**

I. INTRODUCCIÓN

Se denomina Red de Difracción en Fibra Óptica (RDFO) a una perturbación periódica del índice de refracción del núcleo de la fibra óptica. Dicha perturbación se crea a partir de la exposición del núcleo a un patrón de interferencia óptica UV intenso. Los orígenes de este descubrimiento se remontan al año 1978 en el que Kenneth O. Hill y sus colaboradores del Centro de Investigación en Comunicaciones Canadiense (CRC) lograron la formación de una red de difracción permanente al introducir una onda continua de luz azul, proveniente de un láser de argón, en un tramo de fibra óptica dopada con germanio y observar, tras varios minutos, que existía un incremento en la intensidad de luz reflejada, creciendo hasta que casi toda la luz era reflejada desde la fibra [1].

Al principio, la observación de la reflectividad fotoinducida en las fibras era sólo una curiosidad científica, pero con el tiempo se ha convertido en la base de una tecnología que ahora tiene un enorme e importante papel en las comunicaciones ópticas y sistemas de medida. Destacan como ventajas frente a otro tipo de dispositivos ópticos el hecho de poseer bajas pérdidas de inserción al fabricarse en la misma fibra, altas reflectividades y un bajo coste, aunque la primordial de entre todas ellas es la flexibilidad que poseen al ofrecer poder alcanzar las características espectrales deseadas [2]. A pesar de que las RDFO se han convertido en una tecnología madura, gracias a los enormes esfuerzos en investigación que han sido llevados a cabo por diferentes centros y universidades en la última década, aún quedan importantes nichos de aplicación en los que mejorar las prestaciones de las mismas. De entre los numerosos campos de aplicación de este tipo de dispositivos (medida de deformaciones, presión, concentraciones de alcohol, índice de refracción de materiales, etc....) destaca la medida de temperatura, en donde la literatura reciente muestra un gran interés por conseguir una mayor fiabilidad y estabilidad a largo plazo de las redes a altas temperaturas [3]. Con estos dispositivos pueden llegar a conseguirse sensibilidades de 10 pm/ºC y con carácter lineal en un amplio rango de temperaturas, solamente limitado por las temperaturas de degradación y fusión de los diferentes tipos de fibra.

Hasta ahora, la mayoría de los avances obtenidos en cuanto a estabilidad a alta temperatura de las RDFO pasan por el uso de fibras ópticas especiales, con dopantes determinados y fabricadas exclusivamente para dichas aplicaciones [4-8]. Por lo tanto, dado que los resultados obtenidos en estas publicaciones dependen en gran medida de la composición de la fibra, el presente trabajo está enmarcado dentro del objetivo de conseguir las mismas mejoras para las fibras estándar de telecomunicación. Así pues, se realizan los primeros pasos en el estudio de las diferentes posibilidades que existen para hacer que las RDFO grabadas sobre fibra óptica estándar de telecomunicaciones perduren en condiciones de alta temperatura.

En la siguiente sección se describirá brevemente los puntos clave del efecto de la temperatura sobre los parámetros de medida de estos dispositivos para continuar con una exposición de los experimentos y de los resultados obtenidos en el trabajo desarrollado. Se compara el comportamiento en temperatura de RDFO grabadas directamente sobre una fibra estándar y aquellas RDFO grabadas sobre una fibra estándar pero en la que anteriormente ha sido difundido hidrógeno para un aumento de su fotosensibilidad.

II. EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE RDFOs

Las redes de difracción se caracterizan principalmente por tener una reflectividad a una determinada longitud de onda, un periodo y una longitud. Esa longitud de onda (longitud de onda de Bragg) viene dada por la expresión:

$$\lambda_B = 2 \cdot n_{eff} \Lambda. \qquad (1)$$

donde n_{eff} es el índice de refracción efectivo del modo fundamental que se propaga por la fibra y Λ es el periodo de la red grabada. El valor máximo de la reflectividad, la observada a la longitud de onda de Bragg, se puede obtener de la expresión:

$$R_{\max} = \tanh^2(\kappa \cdot L) \qquad (2)$$

donde κ es el coeficiente de autoacoplo del modo y L la longitud de la red de difracción.

Bajo una variación de la temperatura, se producen una serie de alteraciones tanto en la longitud de onda de Bragg como en la reflectividad máxima que presenta la red de difracción. Principalmente, estas variaciones serán debidas a dos tipos de contribuciones: la contribución mecánica producida por una dilatación del material y la contribución propia del material, la cual se basa en los efectos termo-ópticos que modifican el índice de refracción.

La primera de las contribuciones tiene efecto sobre el periodo de la RDFO con lo que la longitud de onda de Bragg se incrementará conforme aumenta la temperatura. La segunda contribución, la contribución del material, muestra sus efectos tanto sobre el n_{eff} como sobre κ, ya que este último parámetro es directamente proporcional al cambio de índice de refracción inducido en la estructura como consecuencia de la exposición a un patrón de interferencia de luz ultravioleta.

Diferentes técnicas son aplicadas hoy en día para aumentar la fotosensibilidad en fibras que no han sido diseñadas y creadas para tal efecto. Se recuerda que la fotosensibilidad de una fibra depende de su composición (generalmente del porcentaje de germanio que contiene). Para poder tener este efecto en fibras que carezcan de una alta concentración de los dopantes directamente responsables de la fotosensibilidad a las longitudes de onda ultravioletas, la técnica más comúnmente usada es la hidrogenación que consiste en la inmersión de la fibra óptica en una cámara con hidrógeno a presión durante un periodo de tiempo determinado. El resultado es que, con el aporte de la energía de la luz ultravioleta, los enlaces del material que compone la fibra se rompen y se produce una reagrupación de los elementos junto con el hidrógeno. Esta reagrupación deja enlaces sin completar, defectos o centros deficientes de GeO_2, que son los que provocan el localizado cambio de índice de refracción observado en el material. Este último efecto tiene carácter irreversible al contrario de lo que ocurre con la longitud de onda.

Sobre el efecto de la temperatura en la longitud de onda se ha tratado bastante en la literatura ya que la medida de la temperatura mediante la variación de la longitud de onda es una de las aplicaciones más habituales de las RDFO. Sin embargo, la variación de la reflectividad no ha sido tenida en cuenta de igual forma ni suele utilizarse en los procesos de medida ya que puede ser fácilmente alterada por otras circunstancias ajenas a la magnitud bajo medida. Es por ello por lo que de aquí en adelante, este trabajo se centrará un poco más en el efecto de la temperatura sobre la reflectividad de las RDFO.

III. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Varias redes de difracción fueron grabadas para la realización de esta experimentación dado que se basa en ensayos destructivos. Se han utilizado diferentes máscaras de fase en su grabado en fibra óptica estándar de telecomunicación (SMF 28) para así poder multiplexar varias a la vez en un único canal. Algunas se han grabado sobre fibra estándar sin tratamiento previo mientras que otras lo han sido sobre trozos, de la misma bobina de fibra, previamente hidrogenados (con hidrógeno a 150 atmósferas y a temperatura ambiente durante una semana) con el fin de aumentar así su fotosensibilidad. Obviamente, el número de defectos producidos en una fibra estándar sin tratar bajo un patrón de interferencia de luz ultravioleta es mucho menor que en el caso de las fibras hidrogenadas, por lo que su reflectividad es considerablemente menor aunque apta para los experimentos que se han llevado a cabo. Se grabaron las redes de difracción usando un láser de ArKr, que es el encargado de suministrar la luz UV (244 nm), y con máscaras de fase de diferentes periodos (las longitud de onda de Bragg de las RDFO obtenidas se sitúan en torno a 1313 y 1550 nm y son de 1cm). El banco de medida preparado para la caracterización de las redes de difracción, ver figura 1, está compuesto por: una fuente de luz blanca (HP83437), un analizador de espectros óptico (Anritsu MS9701A), varios acopladores y un conmutador (switch) óptico (HP86062C) para permitir medir alternativamente la luz transmitida y la reflejada, motores de posicionamiento y un horno tubular (Carbolite MTF 12/38/250) junto con un termopar para realizar la medida de las temperaturas a las que han sido sometidas las RDFOs.

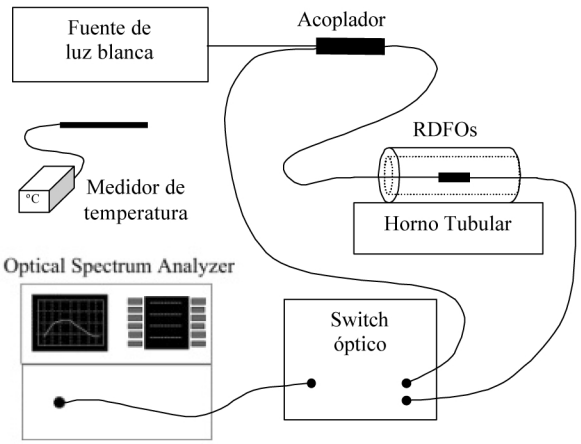

Fig. 1. Setup usado en los experimentos

Mediante el analizador de espectros ópticos, se ha caracterizado, tanto en transmisión como en reflexión, el comportamiento espectral de las redes de difracción grabadas. Las medidas han sido tomadas exponiendo las RDFO a cada una de las temperaturas durante 10 minutos para posteriormente sacarlas del horno y dejarlas a temperatura ambiente. Así, se han obtenido una serie de duplas de medida con la intención de observar posibles histéresis. En la figura 2, se puede constatar la evolución del espectro de una RDFO, grabada en fibra estándar y tratada previamente, con respecto a la temperatura. Claramente se puede apreciar un desplazamiento hacia longitudes de onda superiores de la longitud de onda central de la resonancia de Bragg así como una pérdida de la reflectividad.

Trabajando con los datos del espectro en transmisión se obtiene la figura 3 en la que se representa la evolución con la temperatura del porcentaje de reflectividad relativa de algunas de las redes de difracción usadas. Se observa que, aún teniendo mayores reflectividades para fibras hidrogenadas, el decremento relativo de las mismas es similar en ambos casos.

En la figura 4, se muestra la variación de la longitud de onda de Bragg con respecto a la temperatura. Las medidas

tomadas siguiendo el procedimiento descrito anteriormente (duplas de medidas) llevan a la conclusión de que el comportamiento es prácticamente lineal y que no existe ninguna histéresis en cuanto a la variación de la longitud de onda por lo que queda comprobada la reversibilidad anteriormente comentada.

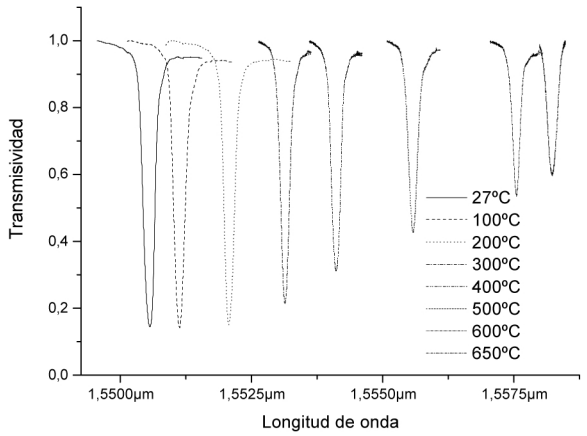

Fig. 2. Evolución del espectro en transmisión de una red de difracción de periodo corto grabada sobre fibra SMF 28 tratada previamente en un proceso de hidrogenación.

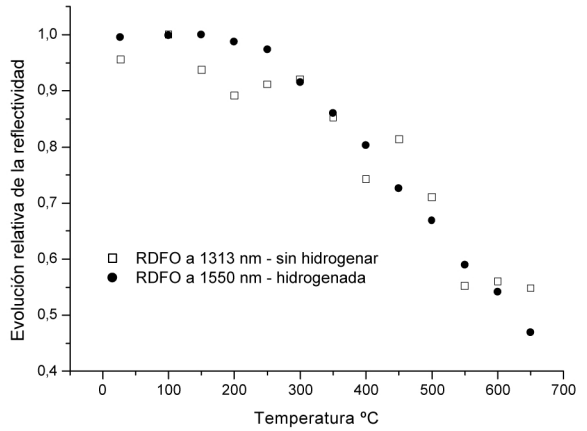

Fig. 3. Comparación de la reflectividad de las redes de difracción de periodo corto grabada sobre fibra SMF 28 (1313nm) y grabada sobre fibra SMF 28 tratada previamente con un proceso de hidrogenación (1550nm).

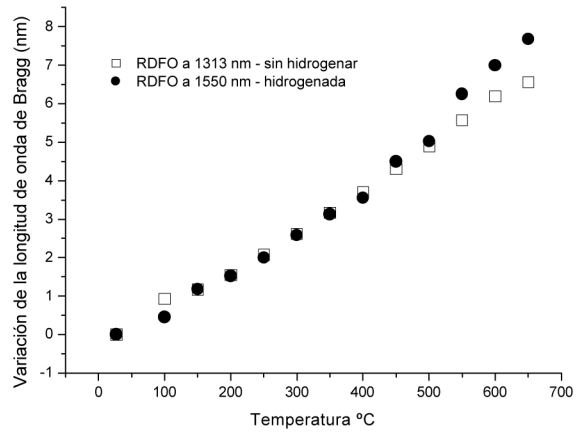

Fig. 4. Tendencia de la longitud de onda de Bragg en función de la temperatura.

IV. CONCLUSIONES

En los últimos años se ha venido desarrollando un gran esfuerzo en la investigación de la fabricación de redes de difracción en fibra óptica, como se puede desprender de las publicaciones presentadas en diferentes congresos y revistas internacionales. Todavía existe un gran interés en estudiar redes de difracción en fibra, bien es cierto que puntualizando sobre efectos mucho más complejos, y procurando fabricar dispositivos más robustos y de forma más sencilla.

Para poder grabar una red de difracción en fibra es necesario modificar el índice de refracción de su núcleo de forma externa y, aunque lo más común sea usar fibra dopada que sea fotosensible a la luz UV, se están buscando alternativas que fácilmente modifiquen su índice de refracción sin necesidad de trabajar con fibras especiales.

En este trabajo se corrobora que la hidrogenación, una de las técnicas de realce de la fotosensibilidad, no limita en absoluto el uso, fiabilidad y durabilidad en alta temperatura de los dispositivos generados. La reflectividad de las RDFO se ve menguada según aumenta la temperatura como consecuencia de un aporte energético que vuelve a reordenar los diferentes compuestos de la fibra. Solamente se desvanece (borrado de la red de difracción) cuando se alcanza la temperatura de fusión de la fibra, lo que implica el límite de uso en temperatura de este tipo de dispositivos.

La variación lineal de la longitud de onda de Bragg con respecto a la temperatura y la durabilidad de su condición de reflector de longitudes de onda, hace de este tipo de dispositivos uno de los sensores más precisos y fiables en temperaturas hasta de 650ºC. Algunas precauciones deben de ser adoptadas teniendo en cuenta que la variación en la reflectividad de dichos dispositivos tiene efectos irreversibles.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia y Tecnología su apoyo puesto que este trabajo se ha podido realizar gracias a los medios aportados por el proyecto SUGAROS TIC2001-0877-C02-01.

REFERENCIAS

[1] K.O. Hill, G. Meltz, Fiber Bragg Grating technology: Fundamentals and overview., Journal of Lightwave Technology, Vol. 15, Nº 8, pág. 1263-1276, 1997.

[2] A.Othonos, Fiber Bragg gratings., Rev. Sci. Instrum., Nº 121, pág. 4309-4341, 1997.

[3] U. Sennhauser, A. Frank, P. Mauron, Ph. M. Nellen, Reliability of optical fiber Bragg grating sensors at elevated temperature., IEEE 38th Annual International Reliability Physics Symposium, California, pág. 264-269, 2000.

[4] J. Albert, M. Fokine, W. Margulis, Grating formation in pure silica-core fibers., Optics Letters, Vol. 27, Nº 10, pág. 809-811, 2002.

[5] M. Fokine, Thermal stability of chemical composition gratings in fluoride-germanium-doped silica fibers., Optics Letters, Vol. 27, Nº 12, pág. 1016-1018, 2002.

[6] K. Oh, Ultraviolet photosensitive response in an antimony-doped optical fiber., Optics Letters, Vol. 27, Nº 7, pág. 488-490, 2002.

[7] J. Nishii, K. Kintaka, Thermally stabilized photoinduced Bragg gratings., Applied Physics Letters, Vol. 81, Nº 13, pág. 2364-2366, 2002.

[8] M. Fokine, Formation of thermally stable chemical composition gratings in optical fibers, Journal of the Optical Society of America B, Vol. 19, Nº 8, pág. 1759-1765, 2002.