

Fabricación de Redes de Difracción en Fibra Óptica con un espectro de reflexión arbitrario

FBG fabrication method with an arbitrary spectrum

Antonio QUINTELA, Jose M. LÁZARO, Adolfo COBO, Manuel SILVA
y Jose M. LÓPEZ-HIGUERA

Grupo de ingeniería fotónica(Dpto. TEISA), E.T.S.I.I. y de Telecomunicación, Universidad de Cantabria, Avda. Los Castros s/n – c.p. 39005 Santander, España.

Persona de contacto: Antonio QUINTELA (quintela@unican.es).

RESUMEN:

Una respuesta espectral arbitraria de una red de difracción en fibra óptica (RDFO) se puede conseguir por medio de la suma de las contribuciones de diferentes subRDFOs concatenadas. Estas son grabadas en serie, sin saltos de fase, usando una misma máscara de fase. Un filtro adaptativo es usado para obtener, a partir de un espectro deseado, los parámetros de las diferentes subRDFOs necesarias para reproducir la respuesta requerida.

Palabras clave: Fabricación de RDFO, espectros arbitrarios.

ABSTRACT:

An arbitrary fiber Bragg grating (FBG) spectrum can be obtained as the addition of the contribution of some concatenated subFBGs written without phase jump using the same phase mask. An adaptive filter is used in order to obtain, from the desired spectrum, the parameters of the different subFBGs reproducing the required response.

Key words: FBG Fabrication, arbitrary spectrum.

1.- Introducción

En los últimos años, la investigación en el campo de las redes de difracción en fibra óptica (RDFO) ha experimentado un gran desarrollo, atrayendo una atención considerable debido a sus aplicaciones en comunicaciones ópticas [1], filtros ópticos [1-2], sensores [3], compensación de la dispersión [3], láseres [3], etc. Sin embargo, estos estudios han sido focalizados en redes de difracción con una respuesta espectral uniforme, sin intentar, normalmente, usar un espectro arbitrario, que pueda proporcionar una mayor versatilidad y ser usado en aplicaciones, como por ejemplo equalización de canal.

La gran mayoría de las técnicas de grabado de RDFOs han sido diseñadas para obtener espectros uniformes, incluyendo en

ocasiones variaciones para obtener redes apodizadas y/o chirpeadas. Un intento de obtener espectros arbitrarios fue el presentado por Zhiyong Zhao et. al. [4], proponiendo combinar la respuesta de redes de difracción con distintas inclinaciones para obtener el espectro deseado. En las RDFOs inclinadas se produce un desplazamiento en la longitud de onda, además de un decremento en la reflectividad. Este hecho limita considerablemente esta técnica.

En este trabajo se usa una modificación de la técnica de máscara de fase con barrido del haz UV [5-6] para escribir RDFOs con un espectro arbitrario. La respuesta espectral arbitraria se obtiene por medio de la combinación de varias redes de difracción, que se van a denominar subRDFOs, grabadas una a continuación de otra sin cambio de fase. De esta forma, a partir del

espectro deseado se obtiene una combinación de espectros uniformes que aproxime el espectro deseado. Una serie de calibraciones previas son necesarias para el grabado de estos espectros usando una única máscara de fase. El método de fabricación propuesto es demostrado con el grabado de una RDFO con un espectro arbitrario en forma de M.

2.- Método de fabricación

El método de fabricación radica en el grabado de varias subRDFO concatenadas, forzando así que la respuesta global sea la del espectro deseado. Inicialmente, es necesario conocer los parámetros de cada una de las subRDFOs a grabar. Para conseguir esto se hace uso de un filtro adaptativo. El filtro adaptativo usa como entradas el espectro deseado y una batería de espectros de varias RDFOs. Esta batería se compone de espectros de RDFOs uniformes a diferentes longitudes de onda de Bragg. Un ejemplo de esta batería de espectros se muestra en la Fig 1. El filtro adaptativo proporciona para cada espectro de la batería un factor. Con este factor y las características del espectro de la batería se obtienen los parámetros necesarios de cada una de las subRDFOs, para de ese modo poder proceder a su grabado, obteniendo el espectro deseado.

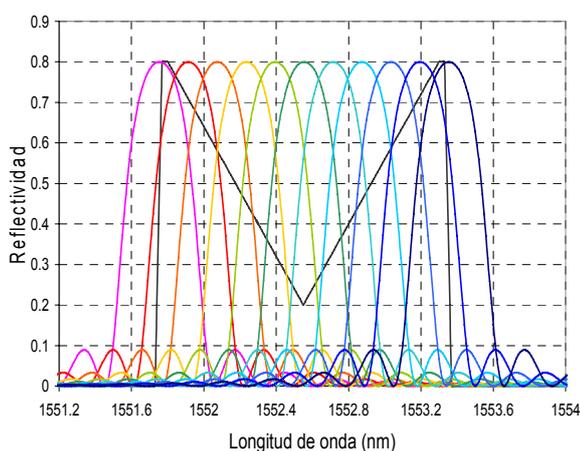


Fig. 1: Ejemplo de batería de espectros junto a un espectro deseado.

Hay que tener en cuenta que si se tiene una serie de RDFOs contiguas, la respuesta espectral de su combinación se obtiene multiplicando las funciones de transferencia frecuenciales de cada una de ellas. En el caso

de las redes de difracción la función de transferencia es el espectro de transmisión, con lo que si se multiplican los espectros de transmisión de cada una de las RDFO se obtendrá el espectro del conjunto. Debido a que el filtro adaptativo realiza la suma de los espectros multiplicados por un factor no se le puede como batería de espectros de entrada una formada por espectros de reflexión. Este problema se soluciona introduciendo en el filtro los espectros de transmisión de la batería de entrada, usando una escala logarítmica (dB). Esto permite poder aplicar el algoritmo de filtro adaptativo y así obtener el vector de factores que permite obtener el espectro buscado.

La técnica de grabado consiste en dos pasadas. En la primera, la fibra fotosensible es insolada por una radiación UV, a través de una máscara de fase, siendo la velocidad de barrido constante para cada una de las subRDFO. La reflectividad de cada subRDFO fija esta velocidad de barrido. En la segunda pasada, sin la máscara de fase, cada subRDFO hay que situarla a la longitud de onda determinada por los resultados del filtro adaptativo. Esto se consigue modificando el índice de refracción efectivo del núcleo de la fibra, en cada una de las subRDFOs, con una radiación UV a una velocidad constante de barrido para cada una de ellas. En la Fig 2 se muestra el esquema del método de fabricación.

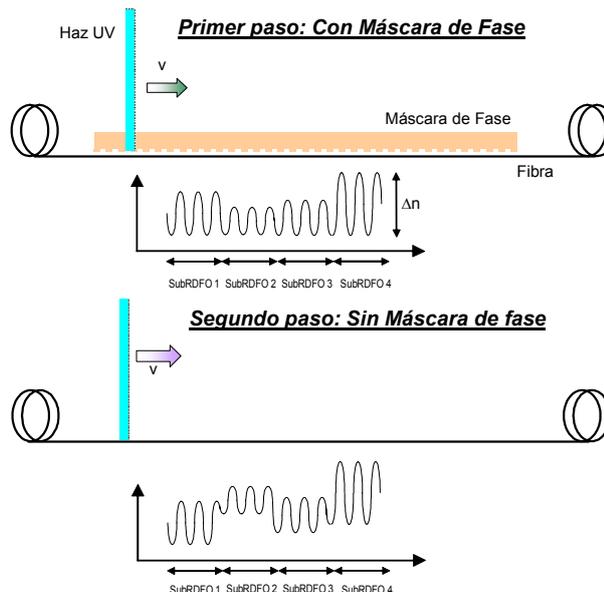


Fig 2: Esquema del método de fabricación.

En la primera pasada, después de seleccionar la máscara de fase adecuada, es necesario obtener la velocidad de barrido para cada subRDFO. A partir de las reflectividades proporcionadas por el filtro adaptativo se obtiene el Δn necesario para cada subRDFO, usando (1) y (2) [7].

$$k \cdot L = \tanh^{-1}(\sqrt{R_{\max}}) \tag{1}$$

$$\Delta n = \frac{1}{\left(\frac{\pi \cdot L}{k \cdot L \cdot \lambda_B} - \frac{1}{n_{eff}} \right)} \tag{2}$$

A partir de Δn se puede calcular el tiempo de exposición UV necesario de cada punto, pero es necesaria una caracterización preliminar para conocer la relación existente entre el Δn y la energía de exposición para la instalación usada. La caracterización se hace en términos de energía para de ese modo hacerla independiente de la potencia del láser UV. Para lograr obtener esta relación se grabaron diferentes RDFOs de distinto tamaño usando diferentes anchuras de haz UV. En la Fig 3 se muestra la curva de caracterización necesaria para la realización de la primera pasada.

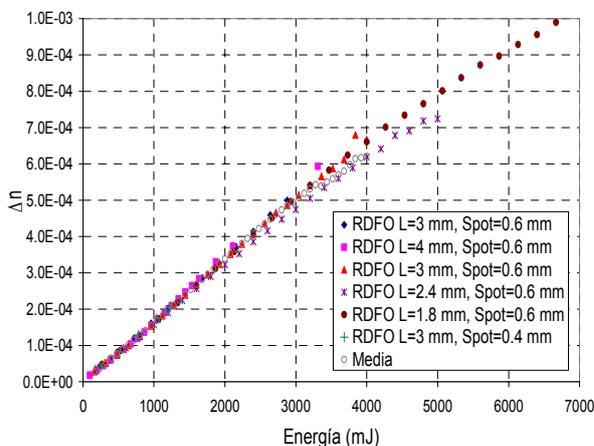


Fig. 3: Gráfica de caracterización Δn vs energía de exposición UV con máscara de fase.

En la segunda pasada, cada subRDFO pasa a situarse a la longitud de onda obtenida del filtro adaptativo. Para calcular el desplazamiento en longitud de onda es necesario conocer la longitud de onda inicial y final. La longitud de onda inicial depende de la máscara de fase usada y de la reflectividad de la subRDFO. A partir del

desplazamiento de la longitud de onda se obtiene el Δn necesario en cada zona. Como en el primer paso, es necesario hacer una caracterización preliminar para obtener la relación entre la energía de exposición UV y el Δn . La caracterización hecha anteriormente no es válida en este caso ya que ahora no se usa la máscara de fase, y de este modo la energía en el núcleo de la fibra fotosensible es diferente. Para obtener esta relación varias RDFOs uniformes, con diferentes longitudes, fueron expuestas a radiación UV, con diferente anchura del haz UV, sin máscara de fase. Los resultados obtenidos se muestran en la Fig 4.

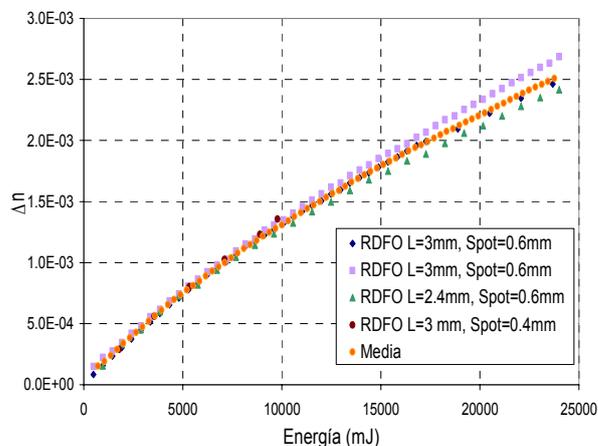


Fig. 4: Gráfica de caracterización Δn vs energía de exposición UV sin máscara de fase.

3.- Experimental

Una RDFO con espectro en forma de M fue grabada para demostrar el método de fabricación propuesto. Después de algunas pruebas con diferentes baterías de espectros de entrada se decidió usar una batería de once RDFOs, con una longitud igual a 3 mm y un 80% de reflectividad (Fig 1). El filtro adaptativo determinó que de las once sólo eran necesarias cinco subRDFOs, con unas reflectividades entre el 75% y el 21%, para obtener el espectro con forma de M. Estas cinco subRDFOs fueron grabadas usando el método de fabricación propuesto, usando las calibraciones realizadas. Los resultados obtenidos se muestran en la Fig 5, donde se presentan el espectro con forma de M deseado, el espectro simulado usando la

respuesta obtenida a partir del filtro adaptativo y el espectro obtenido de manera práctica usando el método de fabricación propuesto. Se puede observar que existe una buena correlación entre el espectro simulado y el medido.

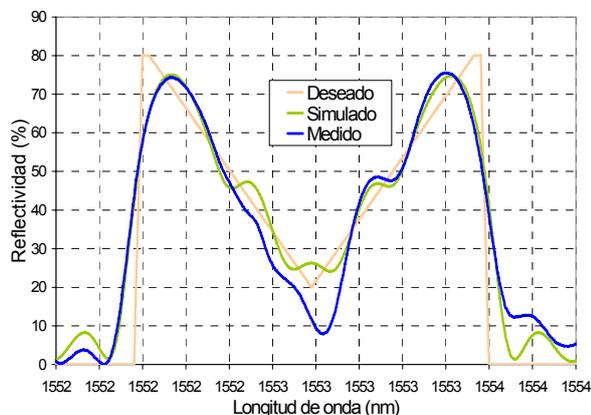


Fig. 5: Espectro deseado, simulado y medido.

5.- Conclusiones

En este artículo se ha presentado y demostrado exitosamente un método de fabricación de RDFO que permite el grabado de espectros de reflexión arbitrarios. La técnica propuesta está basada en la suma de la contribución de varias subRDFOs grabadas en serie, sin cambio de fase, usando sólo una única máscara de fase. Se utilizó un filtro adaptativo para obtener las características que deberían tener las subRDFOs concatenadas. El método de fabricación propuesto ha sido experimentalmente demostrado grabando una RDFO que presenta un espectro de reflexión con forma de "M".

Agradecimientos

Este trabajo ha sido en parte realizado con los medios aportados por los proyectos TEC2004-05936-C02 y TEC2005-08218-C02-02.

Referencias

[1] K. O. HILL, D. C. JOHNSON, F. BILODEAU, and S. FAUCHER. "Narrow-bandwidth optical waveguide transmission filters: A new design concept and applications to optical fiber

communications", *Electronics Letters*, 23, 465-466, 1987.

- [2] F. BILODEAU, et al. "High-Return-Loss narrowband all-fiber bandpass Bragg transmission filter" *IEEE Photonics Techn. Letters*, 6, 1, 80-82, 1994.
- [3] J. M. LÓPEZ-HIGUERA, Editor. *Handbook of Optical Fiber sensing Technology*, Ed. Wiley & Sons, 2002.
- [4] Zhiyong ZHAO, Shuang ZHANG, Yongsun YU, Zhongchang ZHUO, Jian ZHANG, Wei ZHENG, and Yushu ZHANG, "Fabrication of a tilted Bragg grating with a designed reflection spectrum profile" *Optics Letters*, 29, 3, 244-246, 2004.
- [5] K. O. HILL, et al. "Brag gratings fabricated in monomode photosensitive optical fiber by UV exposure through a phase mask," *Applied Physics Letters*, 62, 1035-1037, 1993.
- [6] H.N. ROURKE, S.R. BAKER, K.C. BYRON, R.S. BAULCOMB, S.M. OJHA, S. CLEMENTS, "Fabrication and characterisation of long, narrowband fibre gratings by phase mask scanning", *Electronics Letters*, 30, 16, 1341-1342, 1994.
- [7] KASHYAP, *Fiber Bragg Gratings*, Harcourt Brace & Company, New York, 1999.