

Efectos de polarización en redes de Bragg de fibra óptica sometidas a esfuerzo lateral

Polarization effects in Fiber Bragg Gratings under lateral pressure.

Sergio Noriega¹, Gustavo Arenas² y Ricardo Duchowicz^{1,3}

1. Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP), Camino Parque Centenario e/505 y 508, 1900 La Plata, Argentina.

2. Laboratorio Láser, Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata.

3. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata

e-mails: S. Noriega: snoriega@ciop.unlp.edu.ar, G. Arenas: garenas@fi.mdp.edu.ar, R. Duchowicz: ricardod@ciop.unlp.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se estudian los efectos de cambio de birrefringencia en redes de Bragg grabadas en fibra por medio de esfuerzos laterales aplicados a las mismas. Dicha birrefringencia inducida es debida a procesos elasto-ópticos, los cuales generan corrimientos espectrales en las distribuciones de reflectividad o transmisión de dichas redes que son diferentes para dos componentes ortogonales de polarización. Dicho dispositivo ha sido empleado como parte de una cavidad de un láser de fibra a fin de obtener emisión láser polarizada.

Palabras clave: redes de bragg, fotoelasticidad, polarización, láser de fibra, erbio, sensor de deformación.

ABSTRACT

Birefringence changes on Fiber Bragg Gratings under lateral stress were studied. The induced birefringence is caused by elasto-optic processes that generates spectral shifts on reflectivity/transmittivity distributions on the gratings being different for both orthogonal polarization components. Our device was employed as part of a fiber laser cavity to obtain polarized laser emission.

Keywords: bragg gratings, photoelasticity, polarization, fibre laser, erbium, stress sensor.

Introducción

Las redes de Bragg grabadas en fibra (RBGF) son ampliamente utilizadas en el desarrollo de técnicas de sensado óptico. Las RBGF presentan una perturbación periódica del índice de refracción del núcleo, que refleja un pico espectral (longitud de onda de Bragg, λ_B) de la radiación incidente muy angosto.

Esta respuesta sólo depende del período de la perturbación y del índice de refracción efectivo de la fibra.

Todo cambio en estos dos parámetros modifica el espectro reflejado, lo que permite utilizarlas como filtro selectivo en longitud de onda, pudiendo emplearlas efectivamente como sensores puntuales de esfuerzo, temperatura y presión.[3]

En particular, cuando una RBGF es sometida a esfuerzos laterales, se produce birrefringencia por efecto fotoelástico, vinculada a la diferencia de los índices de refracción entre los ejes correspondientes a la dirección de aplicación del esfuerzo y a una perpendicular a la misma [4].

Esto genera un corrimiento de la longitud de onda de Bragg de la red distinto para dichas direcciones. La separación en longitud de onda de ambas reflexiones polarizadas respecto de la posición no perturbada, es proporcional al esfuerzo aplicado [1].

Es bien conocida, y se ha estudiado anteriormente [2] la respuesta espectral de un sensor de fibra tipo Fabry-Pèrot (FP) de baja reflectividad, que consta de una serie de picos cuya separación depende de la

dimensión de la cavidad formada por los conectores de la fibra. En este trabajo, fue desarrollado un láser de fibra polarizado a partir de un dispositivo FP de baja reflectividad y una RBGF sometida a esfuerzo lateral. Éstos, actuando como espejos, forman una cavidad resonante. El medio de ganancia (fibra óptica dopada con Erblio) es bombeada con un láser de semiconductor de 980 nm con 120 mW de potencia máxima. El FP permite modificar espectralmente la ganancia a fin de ecualizar la respuesta para ambas componentes de polarización.

Teoría

Una RBGF es un dispositivo en el cual se ha inducido una perturbación periódica del índice de refracción a lo largo de su núcleo.

La longitud de onda de Bragg está dada por

$$\lambda_B = 2 \cdot \Lambda_B \cdot n_{ef} \quad (1)$$

donde n_{ef} es el índice de refracción efectivo de la fibra y Λ_B es el período espacial de la perturbación.

La longitud de onda de Bragg depende de la temperatura y la presión a la que se la somete (esfuerzos laterales) [1]. Si se trabaja a temperatura constante, la expresión que da la variación está dada por

$$d\lambda_B = \left[2 \cdot \Lambda_B \left(\frac{\partial n_{ef}}{\partial P} \right)_{T=cte} + 2 \cdot n_{ef} \left(\frac{\partial \Lambda_B}{\partial P} \right)_{T=cte} \right] dP \quad (2)$$

Cuando una presión lateral es aplicada, el perfil circular de la fibra se deforma elípticamente (**Fig. 1**).

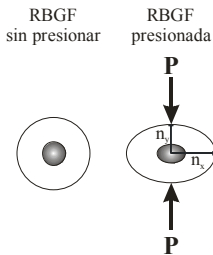


Fig. 1. Detalle del perfil de RBGF sometida a esfuerzo lateral.

El eje sobre el que se aplica la presión se comprime (*eje y*) y se expande en la dirección ortogonal (*eje x*). En la dirección de compresión aumenta el índice de refracción (n_y), mientras que en la dirección de expansión disminuye (n_x).

De esta manera, se induce una birrefringencia B,

$$B = \frac{|\Delta n_y - \Delta n_x|}{n_{ef}} \quad (3)$$

y en consecuencia la red presenta dos ejes ortogonales con diferente constante de propagación.

El pico de reflexión caracterizado por λ_B se desdobra, como consecuencia de la diferencia de propagación en los ejes, dando lugar a dos picos con polarizaciones ortogonales en los ejes x e y.

Es bien conocida la relación entre corrimientos en la longitud de onda de Bragg para los ejes x e y, y la presión aplicada lateralmente [1]:

$$\begin{aligned} (\Delta\lambda_B)_x &= -\frac{(n_{ef0})^3 \Lambda_{B,0}}{E} \cdot \\ &\left\{ (p_{11} - 2\nu p_{12})\sigma_x + [(1-\nu)p_{12} - \nu p_{11}] \cdot [\sigma_y + \sigma_z] \right\} + \\ &+ 2\frac{n_{ef0}\Lambda_{B,0}}{E} \cdot \left\{ \sigma_z - \nu[\sigma_x + \sigma_y] \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\Delta\lambda_B)_y &= -\frac{(n_{ef0})^3 \Lambda_{B,0}}{E} \cdot \\ &\left\{ (p_{11} - 2\nu p_{12})\sigma_y + [(1-\nu)p_{12} - \nu p_{11}] \cdot [\sigma_x + \sigma_z] \right\} + \\ &+ 2\frac{n_{ef0}\Lambda_{B,0}}{E} \cdot \left\{ \sigma_z - \nu[\sigma_x + \sigma_y] \right\} \quad (5) \end{aligned}$$

Dado que la red no sufre deformación en el eje de propagación ($\sigma_z = 0$), el segundo término de las expresiones (4) y (5) se puede despreciar, y podemos utilizarlas de manera simple como calibración para controlar los desdoblamientos en función de la presión aplicada. La **Fig. 2** muestra los corrimientos que sufre

los picos de reflectividad de la RBGF para fuerzas aplicadas entre 0 y 100 N.

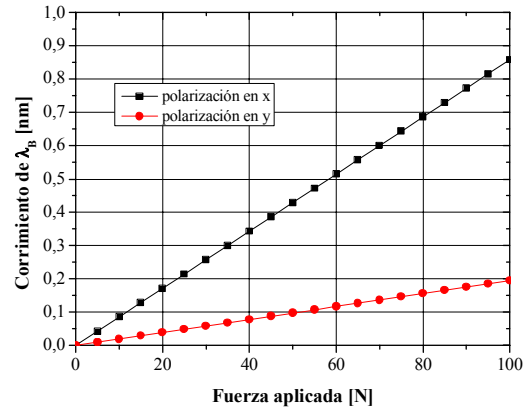


Fig. 2. Corrimiento de λ_x y λ_y en función de la fuerza lateral aplicada.

Se observa como el eje en el que el índice de refracción disminuye es el que presenta un mayor corrimiento, mientras que en el de mayor compresión es menos sensible [1].

Este dispositivo se puede utilizar como espejo para dos longitudes muy próximas y con planos de polarización ortogonales entre sí. En conjunto con un medio de ganancia y otro espejo conveniente capaz de realimentar picos espectralmente separados de igual manera que el primero, puede dar lugar a una emisión láser doble manteniendo las polarizaciones ortogonales ya mencionadas.

Este espejo se logra con un dispositivo ya estudiado e implementado basado en el interferómetro FP, producido entre dos conectores de fibra óptica a los que se les puede controlar la separación entre sus caras [2].

La cavidad de este interferómetro presenta una respuesta espectral bien conocida que se modela con la función de *Airy*,

$$\frac{I_r}{I_0} = \frac{\left(\frac{1}{1-R} \right)^2}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \text{sen}^2 \left(\frac{\delta}{2} \right)} \quad (6)$$

donde R es el coeficiente de reflexión y δ representa la diferencia de fase de las ondas que interfieren [5].

Este dispositivo produce picos con una separación dada por

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2nd} \quad (7)$$

de donde

$$d = \frac{\lambda^2}{2n\Delta\lambda} \quad (8)$$

Implementado con conectores de fibra (*tipo FC*) la reflectividad es baja, pero emplazado en una cavidad resonante con un emisor superradiante como es la fibra

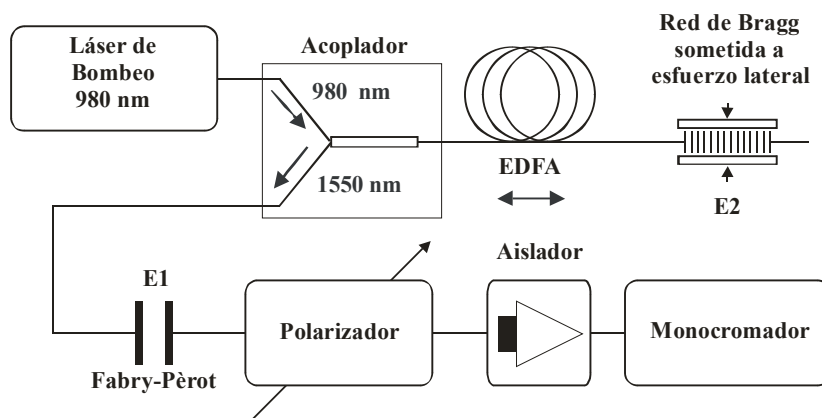


Fig. 3. Esquema experimental del láser de fibra.

dopada con Erblio, se logran curvas con picos cuya separación queda en función de la cavidad, siguiendo una ley de calibración como la mostrada en la Ref. [2].

De esta curva se puede obtener la calibración que relaciona la separación de los picos espectrales con la distancia de la cavidad, que es el parámetro de ajuste.

Con la sintonización adecuada de ambos espejos, a fin de que coincidan sus picos, se logra la cavidad resonante y, por consiguiente dos emisiones láser polarizadas ortogonalmente.

Descripción del Sistema

El esquema experimental se muestra en la Fig. 3. En ésta se pueden apreciar el amplificador óptico (EDFA), formado por un tramo de fibra dopada con Erblio y bombeado a 980 nm a través de un acoplador WDM y los dos espejos E1 y E2 que forman la cavidad resonante. En el otro extremo se encuentran un polarizador, un aislador y un monocromador que constituyen el sistema de adquisición y análisis.

El dispositivo empleado para la compresión lateral de la RBGF consta de dos superficies pulidas hasta espejar, que la presionan junto con otra fibra de iguales propiedades mecánicas. De esa manera se garantiza una presión homogénea a lo largo de la red. La Fig. 4 muestra un corte transversal del mismo.

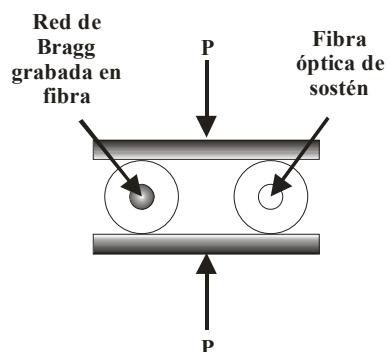


Fig. 4. Corte transversal del dispositivo de compresión de la RBGF.

Para excitar una fibra dopada con erblio de 9 m de longitud y una concentración de 790 ppm se utilizó un

láser de bombeo con emisión en 980 nm (980 Laser Module SDLO-2564-125) con una potencia máxima de 125 mW, a través de un acoplador WDM (980/1550).

La radiación láser emitida por el erbio en 1540 nm es emitida básicamente por E1. El conjunto forma la cavidad resonante si se ajustan los espejos para un mismo par de longitudes de onda.

La emisión doble polarizada fue analizada con un polarizador y un monocromador CVI K-480 con detector de Ge, controlando el barrido del mismo y la adquisición de datos desde una PC a través de un controlador GPIB. También fue obtenido el estado de polarización utilizando un polarímetro Thor-Labs.

Resultados

Una vez sintonizados los espejos se midieron las emisiones para diversas cargas transversales. Se discriminaron en los planos perpendicular y horizontal de polarización mediante el ajuste correspondiente del polarizador a 0° y 90°. En la Fig. 5 se puede observar la calibración de la RBGF sometida a esfuerzo lateral. Los resultados están en concordancia con la Fig. 2 mostrando una dependencia lineal con el esfuerzo aplicado.

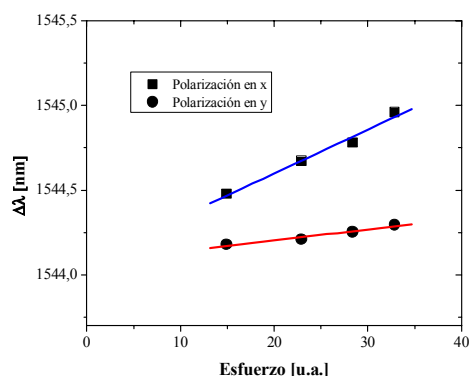


Fig. 5. Corrimiento de λ_x y λ_y en la RBGF sometida a esfuerzo lateral.

En la Fig. 6 se muestran las emisiones obtenidas con el esquema experimental de la Fig. 3 donde se puede comprobar la doble emisión láser y los modos

ortogonales de polarización. Las longitudes de onda de estas emisiones se controlan a través del esfuerzo aplicado en E2 y la distancia de separación en E1.

Conclusión

Mediante la inclusión de una red de Bragg sometida a esfuerzos laterales en la cavidad de un láser de fibra óptica dopada con erbio, se obtuvo emisión sintonizable constituida por dos componentes espectrales distintas y con polarización ortogonal entre ellas. La sintonía fue lineal con el esfuerzo aplicado. Este esquema posee potenciales aplicaciones en el desarrollo de instrumentación para DWDM (dense division multiplexing) así como el desarrollo de sensores de deformaciones mecánicas como función del apartamiento de los picos de emisión del láser para dos componentes de polarización ortogonales.

Referencias

- [1] R. Gafsi y M. A. El-Sherif. *Analysis of Induced-Birefringence Effects on Fiber Bragg Gratings; Optical Fiber Technology* 6, 299-323 (2000).
- [2] G. Arenas, S. Noriega, N. Russo, R. Duchowicz. *Estudio de las propiedades de un sensor de fibra óptica tipo Fabry-Pèrot; Anales de la AFA* 2004 16, 78-81 (2004).
- [3] R. Duchowicz, N. A. Russo, E. Sicre, M. V. Andres. *Q-switching of an erbium-doped fibrelaser modulated by a Bragg grating fixed to a piezoelectric; J. of Opt. A: Pure & Appl. Opt.* 5 S216-S220, 2003.
- [4] A-Ping Zhang, Bai-Ou Guan, Xiao-Ming Tao, Hwa-Yaw Tam. *Experimental and theoretical analysis of fiber Bragg gratings under lateral compression; Optics Communications*, 81-87, (2002).
- [5] "Principles of Optics", M. Born, E. Wolf.

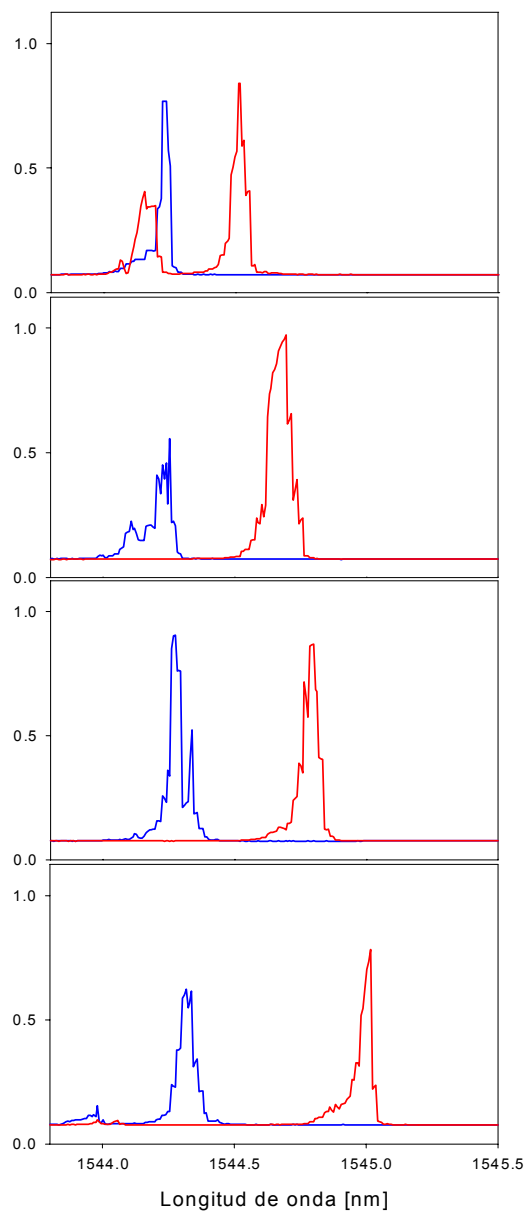


Fig. 6. Emisiones láser obtenidas.