

NUEVA TECNICA PARA EL DISEÑO DE FILTROS BIRREFRINGENTES BASADOS EN FIBRAS OPTICAS

J.L. Arce, C. Menezo*, J.M. López-Higuera*, M.A. Muriel***

** Grupo de Ingeniería Fotónica. Departamento TEISA, E.T.S.I. Industriales y de Telecomunicación
Avda de Los Castros s/n. 39005 Santander*

Tfno. 942-201545 Fax 942-201873 E-mail jlarce@teisa.unican.es

***Departamento de Tecnología Fotónica E.T.S.I. Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid
Ciudad Universitaria. 28040 Madrid*

Tfno. 3367305 Fax 3367319

ABSTRACT

Polarization interference in-line wavelength filters that employ optical fibers possessing high linear birefringence have been designed and simulated. The use of the 4x4 matrix method of analysis is an exact approach and it gives the precise optical spectral response.

1. INTRODUCCION

En esta comunicación, se presenta el diseño de filtros ópticos birrefringentes mediante fibras ópticas de alta birrefringencia lineal, empleando un método matricial exacto, denominado 4x4 o de la matriz de transferencia. Estos dispositivos son compatibles con los sistemas de fibra óptica monomodo, y al no requerir componentes de óptica de volumen, presentan bajas pérdidas de inserción.

Otros dos tipos de filtros ópticos, poseen características similares a los que aquí se pretende describir, y será por lo tanto interesante su comparación. Unos basados en gratings de Bragg en fibra [1] con anchuras espectrales en torno a 1 nm, como característica principal; y otros fabricados mediante el revestimiento de guías de onda de fibra pulida [2], con anchuras espectrales de alrededor de 5 nm. Ambos tipos de dispositivos están en fase avanzada de desarrollo, pero requieren un equipamiento sofisticado para su implementación. La técnica de fabricación de los filtros que aquí se describen es sencilla y barata [3], permite diseñar filtros para aplicaciones particulares, y posibilita la sintonía de la posición de la banda de paso mediante el control de la temperatura.

Los filtros que a continuación se analizan emplean fibras ópticas de alta birrefringencia lineal. Una señal con una determinada anchura espectral, y un Estado de Polarización (EdP) lineal, se hace pasar a través de varias secciones de dichas fibras orientadas de forma adecuada. El EdP evoluciona diferentemente para las diversas longitudes de onda componentes del espectro de la señal, y un polarizador colocado en su extremo de salida, absorbe selectivamente potencia óptica de las diferentes componentes espectrales, dependiendo del EdP en la salida del conjunto de fibras ópticas que constituyen el filtro.

El artículo comienza con una revisión genérica del método matricial 4x4. Método que a continuación, se aplica al cálculo de las reflectancias y transmitancias de los filtros Lyot-Ohman, Solc folded, y Solc fan, basados en las ya referidas fibras ópticas. Por último, y a partir de sus reflectancias y transmitancias, se presentan diseños de los tres tipos de filtros, con el fin de conseguir la anchura espectral y la longitud de onda central de la banda de paso, necesarias para una aplicación.

2. FORMULACIÓN MATRICIAL 4X4

El cálculo de Jones no considera las reflexiones en las interfases dieléctricas. Su consideración implica la necesidad de recurrir a modelos más complejos que, en general, deberán tener en cuenta la anisotropía de los medios ópticos (acoplo entre dos modos ortogonales de polarización), y la propagación de la radiación óptica en dos direcciones opuestas, z^+ y z^- , en el caso concreto que a continuación se trata de incidencia normal.

Si A_s y B_s son las amplitudes del campo eléctrico óptico incidente y reflejado, de uno de los modos de polarización considerados, y A_p y B_p son amplitudes del campo eléctrico óptico incidente y reflejado del modo ortogonal, según [4], en un medio óptico multicapa, se pueden relacionar los campos en los medios ópticos isótropos de entrada y salida, que limitan el medio multicapa birrefringente, de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} As \\ Bs \\ Ap \\ Bp \end{pmatrix} = T_{o,1} \cdot T_{1,2} \dots T_{n-1,n} \cdot T_{n,s} \begin{pmatrix} Cs \\ 0 \\ Cp \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M11 & M12 & M13 & M14 \\ M21 & M22 & M23 & M24 \\ M31 & M32 & M33 & M34 \\ M41 & M42 & M43 & M44 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Cs \\ 0 \\ Cp \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\text{siendo } T_{n-1,n} = D^{-1}(n-1) \cdot D(n) \cdot P(n) \quad (2)$$

donde D es la matriz dinámica que depende de la dirección de propagación de las 4 ondas parciales y P, es la matriz de propagación que sólo depende del cambio de fase en cada medio. Además, se ha supuesto que sólo existe radiación óptica incidente según +z, luego Cs y Cp, son las amplitudes de los modos ortogonales transmitidos al medio de salida

Debido a la anisotropía de los referidos medios, el acoplamiento de modos que tiene lugar en las interfases, hace imprescindible definir 4 coeficientes de reflexión y otros 4 de transmisión, para su análisis. Coeficientes que se obtienen a partir de la ec.(1), y que están dados por las siguientes expresiones :

$$r_{ss} = \left(\frac{Bs}{As} \right)_{Ap=0} = \frac{M_{21} \cdot M_{33} - M_{23} \cdot M_{31}}{M_{11} \cdot M_{33} - M_{13} \cdot M_{31}}; \quad r_{sp} = \left(\frac{Bp}{As} \right)_{Ap=0} = \frac{M_{43} \cdot M_{31} - M_{41} \cdot M_{33}}{M_{11} \cdot M_{33} - M_{13} \cdot M_{31}} \quad (3)$$

$$r_{ps} = \left(\frac{Bs}{Ap} \right)_{As=0} = \frac{M_{11} \cdot M_{23} - M_{21} \cdot M_{13}}{M_{11} \cdot M_{33} - M_{13} \cdot M_{31}}; \quad r_{pp} = \left(\frac{Bp}{Ap} \right)_{As=0} = \frac{M_{11} \cdot M_{43} - M_{41} \cdot M_{13}}{M_{11} \cdot M_{33} - M_{13} \cdot M_{31}} \quad (4)$$

$$t_{ss} = \left(\frac{Cs}{As} \right)_{Ap=0} = \frac{M_{33}}{M_{11} \cdot M_{33} - M_{13} \cdot M_{31}}; \quad t_{sp} = \left(\frac{Cp}{As} \right)_{Ap=0} = \frac{-M_{31}}{M_{11} \cdot M_{33} - M_{13} \cdot M_{31}} \quad (5)$$

$$t_{ps} = \left(\frac{Cs}{Ap} \right)_{As=0} = \frac{-M_{13}}{M_{11} \cdot M_{33} - M_{13} \cdot M_{31}}; \quad t_{pp} = \left(\frac{Cp}{Ap} \right)_{As=0} = \frac{M_{11}}{M_{11} \cdot M_{33} - M_{13} \cdot M_{31}} \quad (6)$$

Coeficientes de gran utilidad para el cálculo de la respuesta espectral de las estructuras multicapas birrefringentes y, en particular, para el diseño de filtros ópticos mediante fibras ópticas birrefringentes, ya que a partir de los mismos se pueden calcular las reflectancias y transmitancias de dichos dispositivos.

3. ESTUDIO Y DISEÑO DE FILTROS MEDIANTE FIBRAS ÓPTICAS BIRREFRIGENTES.

A continuación, se describe brevemente el diseño de los 3 tipos de filtros ópticos basados en la interferencia de sus modos de polarización y que emplean fibras ópticas birrefringentes. En todos los casos se aplica el método matricial 4 x 4 para su análisis, se supone incidencia normal, se emplean fibras ópticas de alta birrefringencia lineal tipo PANDA (con una birrefringencia lineal de $\Delta n = n_p - n_s = 10^{-4}$), se diseñan filtros para la 3ª ventana, 1550-nm, y los polarizadores son de la clase LAMIPOL, y se representan únicamente las transmitancias. El diseño del filtro para una determinada longitud de onda λ_m , y con una determinada anchura espectral $\Delta\lambda_{1/2}$, depende de 3 parámetros : la longitud de los tramos de fibra, su birrefringencia y número de tramos que componen el dispositivo. Ambos conjuntos de parámetros están relacionados por expresiones específicas para cada tipo de filtro, que se deducen a partir sus reflectancias y transmitancias.

3.1. FILTROS LYOT- OHMAN

Emplean tramos de fibra PANDA, cuya longitud sigue una progresión geométrica, rotadas entre si 45°, Tabla de Fig.1, separados por polarizadores, obteniéndose como relaciones de diseño

$$\lambda_m = \frac{\Delta n \cdot t}{m} \quad \text{y} \quad \Delta\lambda_{1/2} = \frac{0.886 \cdot \lambda_m^2}{2N \cdot \Delta n \cdot t} \quad (7)$$

donde m puede tomar cualquier valor entero. Para la 3ª ventana, y $\Delta\lambda_{1/2}=1\text{nm.}$, el número de tramos de fibra necesarios es de $N=5$, y la longitud máxima del tramo de fibra de $t=0,775\text{ m.}$ Para los valores citados se han representado sus transmitancias T_{ss} y T_{pp} en la Fig. 1.

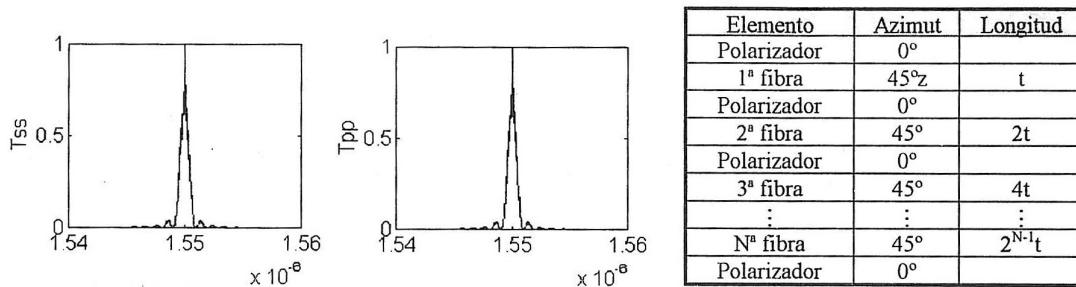


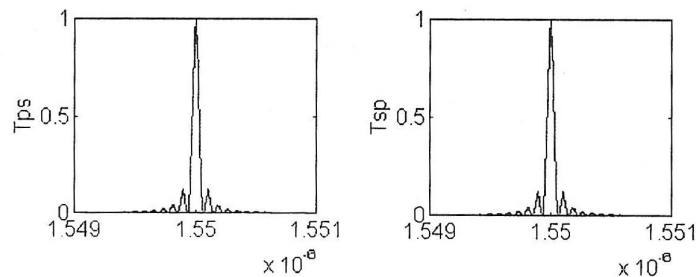
Fig 1. Transmitancias T_{ss} y T_{pp} .

3.2. FILTROS SOLC- FOLDED

Está formado por un número par de tramos de fibra de igual longitud , rotados alternativamente un determinado ángulo y situados entre dos polarizadores cruzados. Tabla en Fig.2. Deducidas, sus ecuaciones de diseño son .

$$\lambda_m = \frac{2 \cdot \Delta n \cdot t}{(2m+1)} \quad \Delta\lambda_{1,2} = \frac{0.8 \cdot \lambda_m^2}{N \cdot t \cdot \Delta n} \quad (8)$$

donde m puede tomar cualquier valor entero. Para la 3ª ventana, y $\Delta\lambda_{1/2}=1\text{nm.}$, el número de tramos de fibra necesarios es de $N=25$, y la longitud máxima del tramo de fibra de $t=0,776\text{ m.}$ Para los valores citados se han representado sus transmitancias T_{ps} y T_{sp} en la Fig. 2.



Elemento	Longitud	Índices de refracción	Azimet
Polarizador frontal			0°
1ª fibra	t	n_s, n_f	$\rho = \pi/4N$
2ª fibra	t	n_s, n_f	3ρ
3ª fibra	t	n_s, n_f	5ρ
4ª fibra	t	n_s, n_f	7ρ
⋮	⋮	⋮	⋮
Nª fibra	t	n_s, n_f	$(2N-1)\rho$
Polarizador final			0°

Fig. 2. Transmitancias T_{ps} y T_{sp} .

3.3. FILTROS SOLC FAN

Se implementa mediante tramos de FOHB de igual longitud , rotados un cierto ángulo , que es función de la posición, y del mismo total de tramos , que a su vez están situados entre dos polarizadores paralelos. Tabla en Fig.3. Deducidas, sus ecuaciones de diseño son .

$$\lambda m = \frac{\Delta n \cdot t}{m} \quad \Delta \lambda_{1/2} = \frac{0.8 \cdot \lambda m^2}{N \cdot t \cdot \Delta n} \quad (9)$$

donde m puede tomar cualquier valor entero. Para la 3ª ventana, y $\Delta \lambda_{1/2} = 1 \text{ nm}$, el número de tramos de fibra necesarios es de $N=25$, y la longitud máxima del tramo de fibra de $t=0,775 \text{ m}$. Para los valores citados se han representado sus transmitancias Tss y Tpp en la Fig. 3.

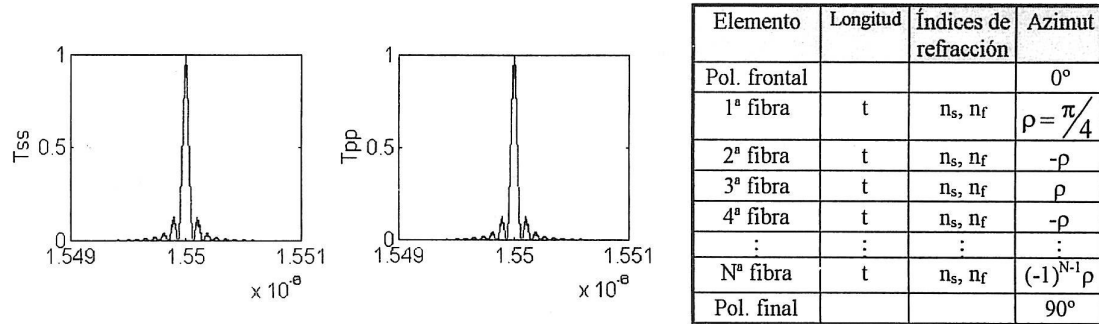


Fig. 3. Transmitancias Tss y Tpp.

4. CONCLUSIONES

La aplicación del método matricial 4x4 al cálculo de la respuesta espectral de filtros ópticos Lyot-Ohman, Solc folded, y Solc fan, basados en fibras ópticas de alta birrefringencia lineal, permite la obtención de sus expresiones exactas, lo que hace posible la simulación y el posterior diseño adecuado de los mismos. El empleo de fibras ópticas tipo PANDA, cuya birrefringencia es dependiente de la temperatura, les añade la capacidad de sintonía modificando dicho parámetro de forma controlada.

5. RECONOCIMIENTO

Este trabajo ha sido soportado en parte gracias a la aportación del proyecto CICYT TIC'95-0631-C04-01.

6. REFERENCIAS

- [1] L.T. Blair, and S.A. Cassidy, *Wavelength División Multiplexwed Sensor Network Using Bragg Fiber Reflection Gratings*, Electron. Let., Vol.28,pp. 1734-35, 1992.
- [2] K McCallion, and W. Johnstone, *A Tunable Continouous-fiber-optic Bandpass Filter for Sensor Aplication*,Proc. SPIE, Vol.2360, pp.302-205, Glaasgow,Scotland,1994.
- [3] H.D. Ford, R.P. Tatam, *Polarization-Based Optical Fiber Wavelength Filters*, Journal of Lightwave Technology, Vol. 13, Nº 7, pp. 1435-1444, Julio 1995.
- [4] P. Yeh, *Optics of Anisotropic Layered Media: A New 4x4 Matrix Algebra*, Surface Science, nº 96, pp. 41-53, 1980.
- [5] J. Noda, K. Okamoto, and Y. Sasaki, *Polarization-maintaining Fibers and their Applications*, J. Ligh. Tec., Vol. TL-4, nº 8, 1986.