CARACTERÍSTICAS PROPAGACIÓN DE ESTRUCTURAS MULTICAPA MAGNETO-ÓPTICAS Y DIELECTRICAS PERIÓDICAS EN PRESENCIA DE CAMPOS MAGNÉTICOS

José L. Arce Diego
Departamento de TEISA
Universidad de Cantabria

David Pereda Cubián
Departamento de TEISA
Universidad de Cantabria

Luis M. Villaverde Castanedo
Departamento de TEISA
Universidad de Cantabria
lmvillaverde@hotmail.com

ABSTRACT

The propagation characteristics of periodic magneto-optical and dielectric multilayer films under a magnetic field is analyzed. The temperature dependence that experiences the magnetic induction on this type of materials modifies the transmission and reflection characteristics in the medium. The variation in the transmittance, reflectance or Faraday rotation in function of the temperature makes possible the use of this type of structures as sensor element.

1. INTRODUCCIÓN

La rotación del estado de polarización de la radiación óptica cuando se propaga por medios magneto-ópticos debida al efecto Faraday ha hecho posible el desarrollo de dispositivos tan importantes como los aisladores ópticos. Además, el hecho de que esta variación dependiese directamente de la intensidad de campo magnético aplicado ha posibilitado el desarrollo de los sensores de campo magnético y corriente eléctrica actuales. Recientes investigaciones han demostrado teóricamente que estructuras multicapa compuestas de materiales magneto-ópticos y dieléctricos exhiben rotaciones de Faraday muy superiores a las obtenidas por la misma cantidad de material magneto-óptico. Las múltiples reflexiones que se producen en estas estructuras aumentan la longitud de camino óptico lo cual hace posible que estructuras de pocas micras presenten rotaciones equivalentes a estructuras simples de mayores dimensiones. En este trabajo se analiza el comportamiento de estructuras multicapa compuestas por combinaciones de materiales magneto-ópticos y dieléctricos con la temperatura y como esta influye en sus características de transmisión y reflexión.

2. ESTRUCTURA PROPUESTA Y MODELO TEÓRICO

Las propiedades de transmisión y/o reflexión de los medios multicapa son estudiadas mediante la formulación matricial [1-3]. Supongamos una estructura multicapa como la figura 1.

La matriz de la estructura quedaría representada a través de las matrices ϕ_M y ϕ_G correspondientes a los materiales magneto-óptico y dieléctrico respectivamente de la forma:

$$\ddot{O} = \left[\ddot{O}_G \cdot \ddot{O}_M\right]^n \cdot \left[\ddot{O}_M \cdot \ddot{O}_G\right]^n$$

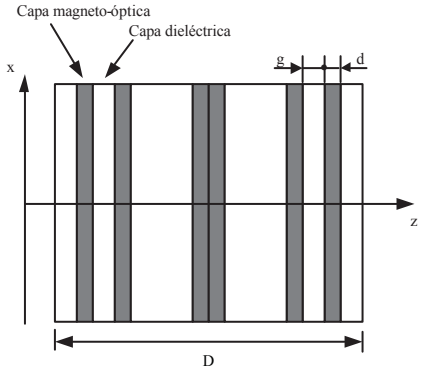

Figura 1. *Estructura multicapa periodica formada por materiales ferromagnéticos y dieléctricos*

Supongamos para nuestro estudio que las capas M y G están compuestas de Bi-YIG y SiO_2 respectivamente. Si consideremos que a la entrada de la estructura tenemos luz linealmente polarizada según el eje x, la rotación que experimenta el plano de polarización de la radiación óptica cuando esta atraviesa la estructura multicapa y la transmitancia obtenida para una temperatura ambiente de 20 ºC se muestran en la figura 2. Como se muestra en la figura 2(a) la rotación se incrementa según aumentamos n hasta alcanzar un valor de rotación máximo de 43.7º para n=12, válido para la construcción de aisladores ópticos. Es interesante destacar que esta rotación se consigue con un espesor total de 7.53 μm, un valor que está muy por debajo de las dimensiones necesarias para conseguir un rotador de las

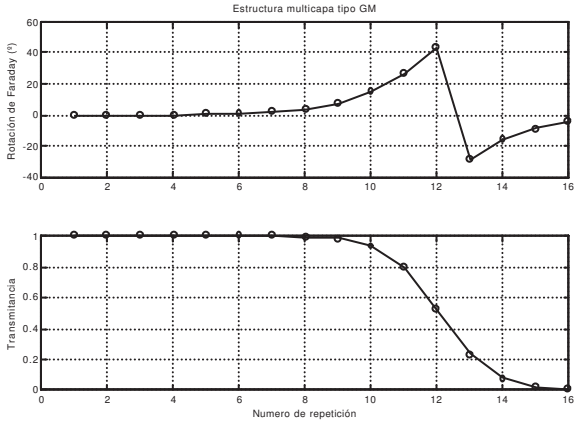

Figura 2. *Propiedades de transmisión de la estructura multicapa tipo GM (a) rotación vs numero de repetición (b) transmitancia vs número de repetición*

mismas características realizado con el mismo material (Bi-YIG) en el cual se necesitarían espesores de 0.1 mm. A pesar de que es posible realizar elevadas rotaciones con este tipo de estructuras, la transmitancia decrece rápidamente con el número de repetición. Para el valor máximo de rotación obtenido el valor de transmitancia es de 0.524.

3. CARACTERÍSTICAS DE PROPAGACIÓN: DEPENDENCIA CON LA TEMPERATURA

La dependencia con la temperatura que experimentan estas estructuras está relacionada con la variación de la inducción magnética que se produce en el material magneto-óptico al variar la temperatura. La relación entre la constante de Verdet del material y permitividad magnética inducida para el Bi-YIG esta dada por [1]:

$$\theta_2 = \frac{\pi \cdot \sqrt{\varepsilon_1}}{\lambda} \cdot \theta_F \cdot C \qquad (1)$$

donde θ_F es la rotación de Faraday por unidad de longitud (rad/m) y C la magnetización relativa para saturación.

Como la constante de Verdet (θ_F) es un valor que depende de la temperatura, la inducción magnética modificará su valor a medida que esta cambie. De tal modo que para una variación de temperatura ΔT, se producirá una variación en la inducción magnética igual a:

$$\Delta\theta_2 = \frac{\pi \cdot \sqrt{\varepsilon_1} \cdot C}{\lambda} \cdot \frac{d\theta_F}{dT} \cdot \Delta T \qquad (2)$$

donde $d\theta_F/dT$ representa el coeficiente de temperatura de la constante de Verdet.

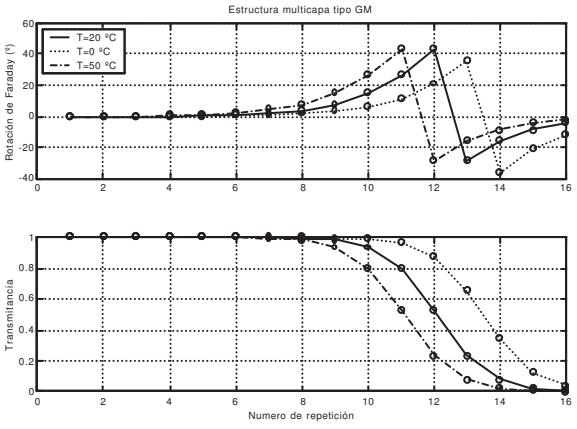

Figura 3. *Propiedades de transmisión de la estructura multicapa tipo GM para varias temperaturas*

En la figura 3 se representan las propiedades de transmisión de la estructura multicapa para tres temperaturas diferentes.Los valores numéricos empleados para este tipo de estructuras son ε_g=2.5 (ε_g es la permitividad del SiO_2), ε_1=4.75, ε_2=0.00269 y $d\theta_F/dT$=3% para una longitud de onda de trabajo de λ=1.15 μm.

La figura 4 muestra las propiedades de transmisión para un rango de temperaturas comprendido entre –20 ºC y 80 ºC cuando el índice de repetición es de n=12 y n=10 respectivamente.

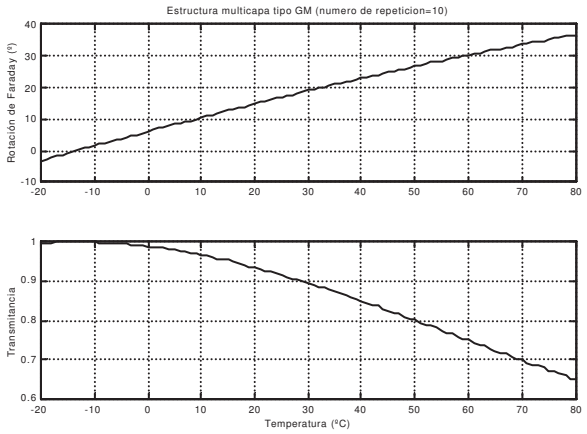

Figura 4. *Propiedades de transmisión de la estructura multicapa tipo GM vs temperatura para n=10.*

La variación que se produce en la rotación para n=10 es aproximadamente lineal y de valor 0.4º/ºC.

El estudio de las propiedades en reflexión de la estructura en lo referente a la rotación de Faraday es muy similar al obtenido en transmisión a pesar de que en esta configuración aumenta el camino óptico cuando la incidencia es normal.

4. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio de las propiedades de transmisión (y reflexión) de estructuras multicapa compuestas por materiales magneto-ópticos (Bi-YIG) y dieléctricos (SiO_2) en función de la temperatura. Los resultados sugieren su utilización como elemento sensor de temperatura o como aislador óptico, si bien, sería necesario incluir circuitos de compensación o materiales con coeficientes de temperatura para la constante de Verdet inferiores al 3%.

3. REFERENCIAS

[1] S. Sakaguchi y N. Sugimoto, “Transmission characteristics of periodic magneto-optical and dielectric multilayer films under a variable magnetic field”, J.O.S.A. A, pp. 2045-49, 1999.

[2] S. Sakaguchi y N. Sugimoto, “Transmission properties of multilayer films composed of magneto-optical and dielectric materials”, Journal of Lightwave Technology, pp. 1087-92, June 1999.

[3] Mitsuteru Inoue y Toshitaka Fujii, “A theorical analisys of magneto-optical Faraday effect of YIG films with random multilayes structures”, J. Appl. Phys. 81 (8), pp. 5657-61, 1997.