

INTERFEROMETRIA POR CORRIMIENTO DE FASE PARA CARACTERIZAR MATERIALES ELECTRO-ÓPTICOS

Rueda P J. E.¹, Lasprilla M. C.²

¹Departamento de Física

Grupo de investigación Óptica Moderna,

Facultad de Ciencias Básicas,

Universidad de Pamplona, Colombia,

E-Mail: jruedap2003@unipamplona.edu.co

²Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales,

Universidad Industrial de Santander, Colombia;

E-Mail: marlas@uis.edu.co

Recibido Enero 30 de 2006

Aceptado Mayo 15 de 2006

RESUMEN

Se implementó la técnica de interferometría por corrimiento de fase para determinar experimentalmente el coeficiente electro-óptico de cristales con simetría cúbica de la familia silenitas. Cristales del grupo silenitas tales como el $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO), $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO), y $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (BTO), entre otros, presentan fuerte actividad óptica, efecto que ha causado dispersión en los valores determinados para esta constante física utilizando métodos basados en el estudio de la polarización de la luz que atraviesa estos materiales. El método implementado garantiza una medida confiable teniendo en cuenta que el procedimiento propuesto permite discriminar en el plano de salida del interferómetro la causa del efecto electro-óptico de los efectos causados por la actividad óptica.

PALABRAS CLAVES

Interferometría por corrimiento de fase, Coeficiente electro-óptico, Actividad óptica.

ABSTRACT

The technique of interferometer phase-shifting has been the study of those phases to experimentally determine the electro-optical coefficient of crystals with cubic symmetry in the 'silenitas' group. Crystals of this 'silenitas' group, such as; $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, (BGO) and the $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, (BTO) present a strong optic activity causing dispersion in those values for this physical constant using methods based on the study of the polarization of light that crosses through these materials. The method implemented guarantees a reliable measuring, considering the proposed procedure allows discrimination on the out plane of the experimental

arrangement; this being the cause of the electro-optical effect through the optic activity.

KEY WORDS:

Phase-shifting interferometer, Electro-optic coefficient, Optic activity.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo presentamos la implementación de la técnica de interferometría de corrimiento de fase para determinar el coeficiente electro-óptico r_{41} , característico de los materiales que pertenecen a la familia de las silenitas como el BSO y el BTO.

El patrón de franjas obtenido en la salida de un interferómetro machzehnder se desplaza lateralmente mediante retardos de fase generados por un material electro-óptico, ubicado en uno de los brazos del interferómetro; el corrimiento de las franjas se controla mediante el campo eléctrico aplicado al material. Por otro lado, se utilizó el método de la transformada de Fourier (J. Schwider 1990) para extraer la información relacionada con el corrimiento introducido por la muestra sobre el patrón de franjas, corrimiento que a su vez está relacionado con el coeficiente electro-óptico.

Los cristales que utilizamos para este estudio presentan efecto fotorrefractivo, es decir que tienen la habilidad de convertir modulaciones espaciales de la intensidad de la luz en cambios locales de su índice de refracción, propiedad que los ha ubicado en un alto nivel de

importancia en diversas áreas de aplicación como correlación de imágenes, amplificación y almacenamiento de imágenes, holografía en tiempo real, y conjugación de fase (Brian P. Ketchel 1999; Jian Ma 1997; Zeev Zalevsky 1997; Yoshimasa Kawata 1990), entre otras.

Por lo anterior, es relevante conocer algunas propiedades de estos materiales como son la eficiencia de difracción y la transferencia de energía óptica en los procesos de mezclado de ondas. En este sentido, es conveniente conocer con exactitud el coeficiente electro-óptico específicamente para efectos del modelado de estas aplicaciones. Este trabajo fue motivado por la dispersión del valor de r_{41} determinado mediante otras técnicas, valor que varía desde 3.6×10^{-12} m/V a 5×10^{-12} m/V (A. Grunnet-Jepsen 1995; M. Henry 1986; P. Pellat-Finet 1984; P. Bayvel 1988).

IMPLEMENTACIÓN

En la Fig.1 se muestra el arreglo experimental implementado. Las muestras utilizadas son cristales de BSO de dimensiones $10.77 \times 8.68 \times 4.73 \text{ mm}^3$ y $10 \times 10 \times 2 \text{ mm}^3$, tallados en configuración transversal.

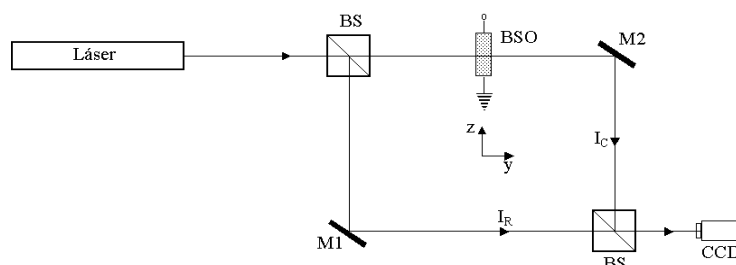


Figura 1. Arreglo experimental. BSO: muestra; BS: divisor de haz; CCD: cámara de video; M1 y M2: espejos.

La luz incide sobre el plano $(\bar{1}10)$ y el campo eléctrico es normal al plano (100) ; para esta configuración se introduce un retardo de fase, relativo al haz de referencia I_R , sobre el haz I_C que atraviesa la muestra, dado por la siguiente expresión:

$$\varphi = \frac{\pi n_o^3 r_{41} V_z L_y}{\lambda L_z} \quad (1)$$

Donde n_o es el índice de refracción, L_y y L_z son el espesor del cristal en la dirección $[110]$ y su ancho en la dirección $[100]$, respectivamente, V_z es el voltaje aplicado y λ la longitud de onda de la luz utilizada. La intensidad en plano de salida del interferómetro con voltaje aplicado $V_z = 0$ es de la forma,

$$I_1 = I_o [1 + \gamma \cos(\phi(x, z))] \quad (2)$$

en donde $I_o = I_C + I_R$, γ es el término de modulación espacial del patrón de franjas y $\phi(x, z)$ es el plano de fase, el cual tiene la forma,

$$\phi(x, z) = ax + bz \quad (3)$$

Donde a y b son constantes. Si $V_z \neq 0$, entonces la intensidad en el plano de salida es:

$$I_2 = I_o [1 + \gamma \cos(\phi(x, z) + \varphi)] \quad (4)$$

Siendo φ el corrimiento de fase generado por el cristal cuando éste es perturbado por el campo eléctrico aplicado.

Ahora, se debe extraer la fase de cada patrón de interferencia; el procedimiento utilizado es una transformada de Fourier de I_1 e I_2 , luego se filtra del espectro de Fourier de cada patrón uno de los órdenes laterales, y finalmente se realiza una transformación inversa de Fourier sobre el resultado del filtrado. De este último resultado se obtiene el término de fase en

cada caso. Por ejemplo, para I_1 la transformada de Fourier está dada por,

$$FT\{I_1(x, z)\} = FT\{I_o(x, z)\} + \frac{1}{2} FT\{M_o(x, z)\} * \delta\left(f_x - \frac{a}{2\pi}, f_z - \frac{b}{2\pi}\right) + \frac{1}{2} FT\{M_o(x, z)\} * \delta\left(f_x + \frac{a}{2\pi}, f_z + \frac{b}{2\pi}\right) \quad (5)$$

Filtrando uno de los órdenes laterales del espectro dado por la Ec.(5) y realizando una transformación inversa de Fourier al resultado del filtrado se obtiene entonces que,

$$I_{1f} = \frac{M_o(x, z)}{2} \exp(j\phi(x, z)) \quad (6)$$

De esta última expresión se calcula la fase mediante la siguiente expresión,

$$\phi(x, z) = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\operatorname{Im}(I_{1f})}{\operatorname{Re}(I_{1f})} \right] \quad (7)$$

siendo $\operatorname{Im}(I_{1f})$ la parte imaginaria de la Ec.(6) y $\operatorname{Re}(I_{1f})$ su correspondiente parte real. Siguiendo un procedimiento equivalente para I_2 , entonces después del filtrado se obtiene lo siguiente,

$$I_{2f} = \frac{M_o(x, z)}{2} \exp(j\phi(x, z) + \varphi) \quad (8)$$

De la Ec.(8), la fase se extrae mediante la siguiente expresión,

$$\phi(x, z) + \varphi = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\operatorname{Im}(I_{2f})}{\operatorname{Re}(I_{2f})} \right] \quad (9)$$

Es claro entonces, que realizando la operación de sustracción entre la Ec.(7) y la Ec.(9) se obtiene el valor del corrimiento φ . Mediante una correlación entre un número apropiado de valores de φ_i vs V_{zi} , podemos entonces acceder al valor de r_{41} a través del coeficiente de correlación entre φ_i y V_{zi} , coeficiente del que se deriva la siguiente expresión para el coeficiente electro-óptico:

$$r_{41} = \left[\frac{\lambda L_z}{\pi n_o^3 L_y} \right] \frac{\phi}{V_z} \quad (10)$$

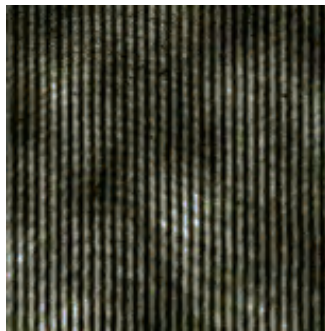
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio experimental se realizó para dos longitudes de onda, una de 544 nm emitida por un láser de He-Ne de 4 mW y la otra de 630 nm emitida por un láser de He-Ne de 10 mW. Para cada caso se adquirieron 7 imágenes de 400x400 "pixels", la primera imagen sin voltaje aplicado, y las demás bajo incremento secuencial de voltaje, a paso de un 1 kV hasta 6 kV. La distorsión sobre el patrón de franjas causada por la presencia de speckle se eliminó mediante interpolación con "C-Spline".

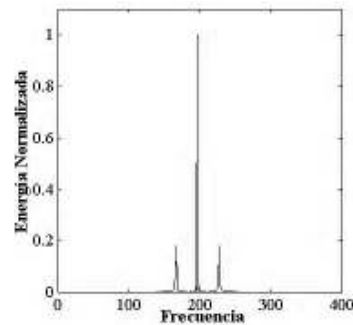
La Fig.2.(a) muestra una imagen de las franjas generadas en el plano de salida del interferómetro, y la Fig.2.(b) el perfil de la transformada de Fourier de la misma. Las Figs.3.(a)-(b) muestran la correlación entre ϕ_i y V_z para $\lambda=544\text{nm}$ y $\lambda=630\text{nm}$, respectivamente. El ajuste conveniente de los datos mostrados en la Fig.3 permitió, finalmente, determinar un valor de $r_{41}=3.6675 \times 10^{-12}$ m/V para $\lambda=630\text{nm}$, y $r_{41}=3.6472 \times 10^{-12}$ m/V para $\lambda=544\text{nm}$.

RECONOCIMIENTO

Este trabajo se desarrolló en Laboratorio de Optica y Tratamiento de Señales, de la Universidad Industrial de Santander, Colombia.

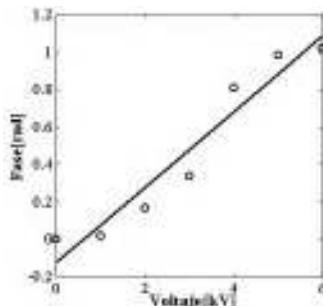


(a). Imagen del patrón de franjas obtenidas en la salida del interferómetro, con $V_z=0$.

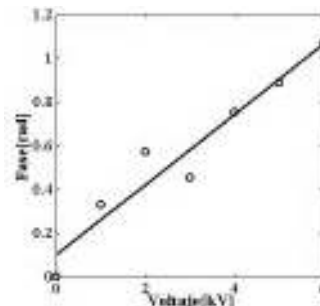


(b). Perfil de la transformada de Fourier del patrón de franjas correspondiente a $V_z=0$.

Figura 2



(a). Correlación fase vs voltaje aplicado a la muestra, para $\lambda=544\text{nm}$.



(a). Correlación fase vs voltaje aplicado a la muestra, para $\lambda=630\text{nm}$.

Figura 3. Resultados experimentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- J. Schwider, in: E. Wolf (Ed.), *Progress in Optics XXVIII*, Elsevier, Amsterdam, (1990), p.270.
- Brian P. Ketchel, Christy A. Heid, Gary L. Wood, Mary J. Miller, Andrew G. Mott, Richard J. Anderson, and Gregory J. Salamo, *Appl. Opt.*, Three-dimensional color holographic display, Vol.38, (1999), p.6159.
- Jian Ma, Tallis Chang, John Hong, and Ratnakar Neurgaonkar, *Opt. Lett.*, Electrical fixing of 1000 angle-multiplexed holograms in SBN:75, Vol.22, (1997), p.1116.
- Zeev Zalevsky, David Mendlovic, and John H. Caulfield, *Appl. Opt.*, Fractional correlator real-time control of the space-invariance property, Vol. 36, (1997), p.2370.
- Yoshimasa Kawata, Satoshi Kawata, and Shigeo Minami, *J. Opt. Soc. Am. B*, Image amplification with local addressing by two-wave coupling in a Bi₁₂SiO₂₀ crystal by application of direct-current voltage, Vol. 7, (1990), p.2362.
- A. Grunnet-Jepsen, I. Aubrecht, and L. Solymar, *J. Opt. Soc. Am. B*, Investigation of the internal field in photorefractive materials measurement of the effective electro-optic coefficient, Vol. 12, (1995), p.921.
- M. Henry, S. Mallick, and D. Rouède, *J. Appl. Phys.*, Propagation of light in an optically active electro-optic crystal of Bi₁₂SiO₂₀ : Measurement of the electro-optic coefficient, Vol. 59, (1986), p.2650.
- P. Pellat-Finet, *Opt. Comm.*, Measurement of the electro-optic coefficient of BSO crystals, Vol. 50, (1984), p.275.
- P. Bayvel, M. McCall, and R. V. Wright, *Opt. Lett.*, Continuous method for measuring the electro-optic coefficient in Bi₁₂SiO₂₀ and Bi₁₂GeO₂₀, Vol. 13, (1988), p.27.