

# PROCESADOR ÓPTICO EN TIEMPO REAL

M. Tebaldi y N. Bolognini\*

Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp)

C.C. 124, 1900 La Plata

Se analizará en este trabajo el empleo de cristal BSO como mediodo registro de imágenes incoherentes sin soporte holográfico. El proceso de lectura o de decodificación es posible realizarlo con un haz coherente o incoherente. Se construyeron conversores en los cuales mediante un arreglo experimental muy sencillo, se pueden implementar diversas operaciones ópticas sin requerir que la transparencia de entrada sea iluminada por una fuente especialmente coherente.

## I. INTRODUCCION

Los sub-sistemas ópticos que permiten operar en tiempo real, constituyen un requerimiento importante en el procesamiento óptico<sup>1-3</sup>. Los materiales que presentan el efecto fotorrefractivo<sup>4</sup> son fotoconductores y electro-ópticos y las variaciones de intensidad luminosa que en ellos se registran, quedan codificadas en birrefringencia inducida. Se propone en este trabajo, implementar diversas operaciones ópticas en tiempo real mediante un cristal fotorrefractivo BSO.

## II. PRINCIPIO DE OPERACIÓN

El arreglo experimental empleado se muestra en la Fig. 1 y no consta de soporte holográfico. A partir de una entrada incoherente la salida puede ser coherente o incoherente dependiendo de la etapa de lectura. En la entrada una fuente especialmente incoherente ilumina una transparencia cuya imagen mediante un objetivo se registra en el cristal fotorrefractivo. Al aplicar una diferencia de potencial al cristal en configuración transversal se induce birrefringencia.

Para interpretar los resultados experimentales se emplea el modelo de transporte de banda<sup>5</sup>. Se considera que la concentración de cargas móviles es mucho menor que la concentración de sitios donores (válido en este caso  $I(x) \ll 1\omega / \text{cm}^2$ ). Además las contribuciones por difusión pueden despreciarse ya que el régimen es no holográfico. En condiciones para el caso estacionario se obtiene para el campo local en cada punto del cristal:

$$E(x) = E_0 + Esc(x) = \frac{1}{\int_0^L \frac{dx}{\sigma d + bI(x)}} \frac{V}{\sigma d + bI(x)} \quad (1)$$

donde  $I(x)$  es la distribución de intensidad que recibe al cristal;  $V$  es la diferencia de potencial aplicado;  $\sigma d$  es la conductividad en la oscuridad;  $L$  es la dimensión lineal del cristal paralela al campo externo aplicado;  $E_0$  es una constante del material;  $Esc$  es el campo de carga espacial incluido.

Finalmente, debido al efecto electro-óptico la birrefringencia local inducida resulta ser<sup>7</sup>:

$$\delta_n = cte E(x) = r_{41} n^3 E(x) \quad (2)$$

$r_{41}$ : coeficiente electro-óptico.

$n$ : índice de refracción no perturbado.

Claramente, al reemplazar la ecuación (1) en la (2) resulta que la birrefringencia local inducida es una función no lineal de la intensidad  $I(x)$ . Así, por ejemplo si se proyecta una red de Ronchi sobre el cristal, la región que corresponde a las franjas brillantes tendrá un valor de  $E(x)$  mucho menor que las regiones correspondientes a franjas oscuras y en correspondencia según la ecuación (2) se mantendrá la misma relación para la birrefringencia inducida en dichas regiones. Esto significa que al incidir un frente plano de luz de lectura linealmente polarizada sobre el cristal, la misma emergerá con un grado de elipticidad que dependerá fuertemente de la birrefringencia inducida por la imagen proyectada (en este caso la red de Ronchi).

Entonces, si se ubica el cristal entre un arreglo de polarizadores y láminas retardadoras con la orientación adecuada la birrefringencia modulada localmente  $\delta_n$  puede convertirse en modulación de transmisión en

\* Investigador CONICET. Profesor Fac. de Ingeniería, UNL.

la etapa de lectura. Así, es posible recuperar la distribución luminosa proyectada sobre el cristal.

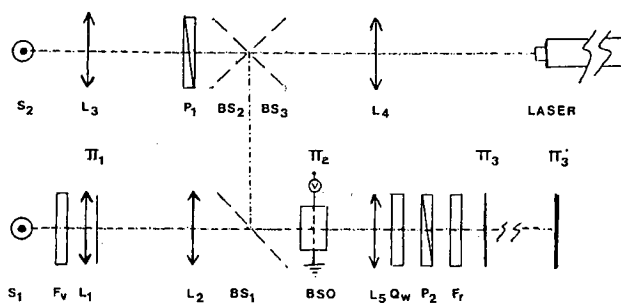


Fig. 1: Esquema del Dispositivo Experimental.  $S_1$  y  $S_2$ : fuentes incoherentes,  $F_v$ : Filtro Interferencial  $\lambda_v = 5000 \text{ \AA}$ ,  $\Delta \lambda_v = 30 \text{ \AA}$ ,  $L_1$ : Lente condensadora, Plano  $\pi_1$ : Entrada incoherente,  $L_2$ : Sistema formador de imagen (conjuga el plano  $\pi_1$  con el plano  $\pi_2$ , donde se ubicó el cristal fotorrefractivo,  $BS_1, BS_2$  y  $BS_3$ : Divisores de haz,  $L_3$  y  $L_4$ : Lentes Colimadoras,  $P_1$  y  $P_2$ : Polarizadores,  $Q_w$ : Lámina de cuarto de onda,  $F_r$ : Filtro Interferencial,  $\lambda_r = 6300 \text{ \AA}$ ,  $\Delta \lambda_r = 30 \text{ \AA}$ , Plano  $\pi_3$ : Plano focal de la lente  $L_3$ , Plano  $\pi_3$ : Plano que conjuga mediante  $L_5$  el plano  $\pi_2$ .

### III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se aplicó un campo eléctrico externo  $E_0 = V/L$  de 5 Kvolt/cm en la dirección [110] mientras que el eje óptico del sistema coincidía con la dirección [110]. Debido al espesor del cristal ( $d=3\text{mm}$ ) se obtiene una imagen ligeramente desenfocada. En ese sentido la resolución espacial no está sólo limitada por las propiedades físicas del cristal. También debe considerarse la magnificación lateral y la apertura numérica del sistema<sup>6</sup>. En ese sentido cabe distinguir el caso  $\alpha d < 1$  (donde  $\alpha$  es el coeficiente de absorción del cristal para la longitud de onda de registro y  $d$  el espesor del cristal) del caso  $\alpha d \gg 1$ . En el primer caso del plano de enfoque óptico ocurre en el centro del cristal y la respuesta en frecuencia espacial será:  $R = (4nF/d)$  donde  $F$  es la apertura numérica del sistema óptico (en nuestra caso la lente  $L_2$ ) y  $n$  es el índice de refracción para la  $\lambda$  de registro. Para el segundo caso ( $\alpha d \gg 1$ ) la gran absorción del medio implica que la red inducida tenga amplitud sólo dentro de una delgada capa del cristal siendo el espesor efectivo  $d_{\text{eff}} = \alpha^{-1}$  y la resolución  $R = 4nF\alpha$ . En el caso de este trabajo  $\alpha = 1.5 \times 10^{-1} \text{ cm}^{-1}$  para  $\lambda = 514 \text{ nm}$ . El cristal empleado tiene un espesor de 3mm con lo cual  $\alpha d \ll 1$ . Para la apertura numérica utilizada y en magnificación 1:1, se

obtiene una resolución del orden de 30 líneas/mm.

Finalmente, la sensibilidad que depende de la absorción, se favorece con espesor  $d$  mayor. Estas condiciones plantean un compromiso y puede concluirse que el espesor 3mm del cristal disponible resulta adecuado.



Fig. 2 a)



Fig. 2b)

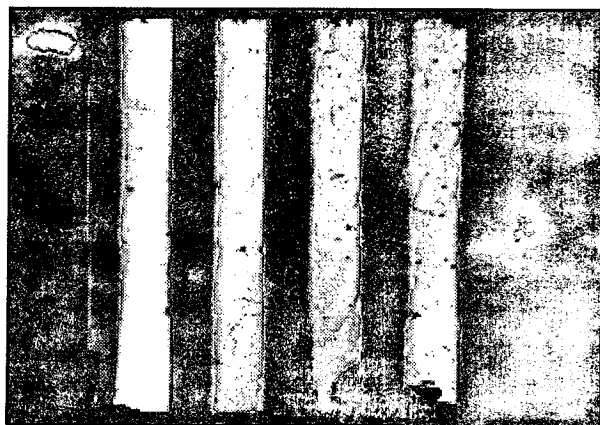


Fig. 2c)

Fig. 2: a), b) y c). Se observa la dependencia del campo externo aplicado  $E_0$ . A medida que aumenta  $E_0$  el contraste mejora, según surge de las expresiones (1) y (2).

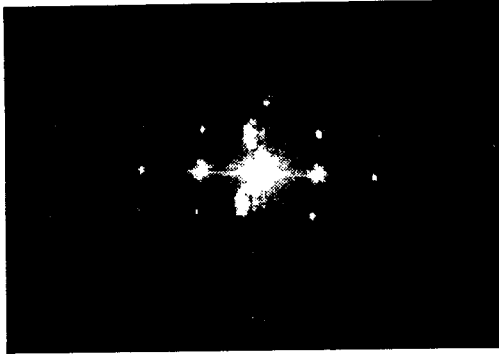


Fig. 3: Se muestra el producto de convolución de dos redes de Ronchi cruzadas en el plano focal de la lente  $L_3$ . Allí se materializa la transformada de Fourier de la entrada, que podría emplearse para un eventual procesamiento posterior.

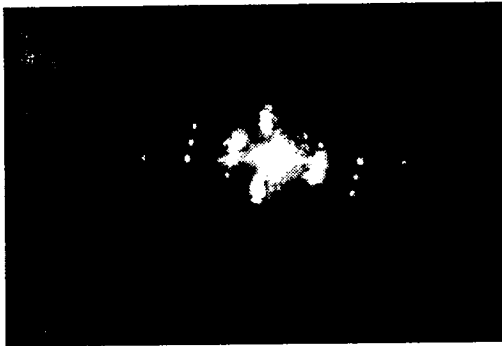
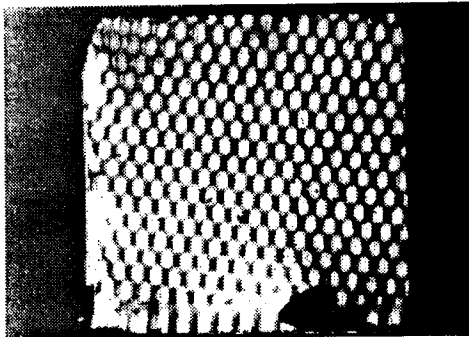
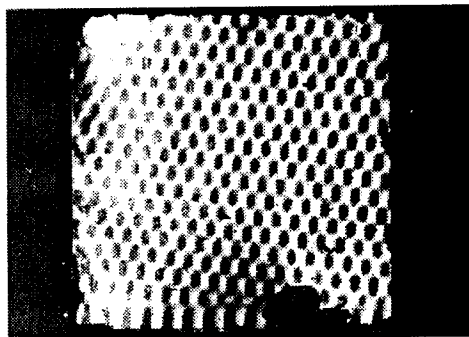


Fig. 4: Se muestra el mismo plano focal, las transformadas de redes de Ronchi de 20 líneas/mm que fueron empladas como entradas incoherentes en distintos instantes y rotadas secuencialmente.



a)



b)

Fig. 5: a) y b). Se muestra el plano imagen de salida para una conversión incoherente-coherente. Se muestra un cambio de contraste mediante la rotación del polarizador  $P_2$ .

## IV. CONCLUSIONES

Mediante un arreglo experimental muy sencillo se pueden implementar diversas operaciones ópticas sin requerir que la transparencia de entrada sea iluminada por una fuente especialmente coherente. Las condiciones geométricas del sistema imponen un límite a la resolución del convertidor. No obstante, la eficiencia del sistema es buena en términos de los resultados experimentales obtenidos. La optimización debe buscarse en términos de un sistema formador de imágenes de alta resolución y de la iluminación de la entrada del sistema.

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue financiado mediante el PID 3 - 147200/8 del CONICET y el Subsidio a la Investigación A-12576/1 de la Fundación Antorchas.d

## REFERENCIAS

1. J. White, A. Yariv, *Applied Phys. Lett.* **37**, 5 (1980).
2. E. Ochoa, L. Hesselink, J. W. Goodman, *Appl. Optics* **24**, 1826 (1985).
3. D. Z. Anderson, *Opt. Lett.* **11**, 65 (1986).
4. P. Gunter, H. J. Eichler, *Introduction to photorefractive materials*, Springer Proc. Phys. **18**, 206 (1987).
5. A. Marrakchi, A. R. Tanguay JR., J. YU and Psaltis *Opt. Engineering* **24**, 124 (1985).
6. N. V. Kukhtarev et al. *Ferroelectric* **22**, 94 Springer Verlag (1989).
7. M. P. Petrov, S. I. Stepanov, A. V. Khomenko, *Photorefractive Crystals in Coherent Optical Systems*. Capítulo 7. Springer-Verlag 1991.

CEILAP  
CITEFA CONICET  
ZUFRIATEGUI Y VARELA  
1603 VILLA MARTELLI  
REPUBLICA ARGENTINA