

Formación y Procesamiento de Autoimágenes Mediante Registros Fotorrefractivos

M. TEBALDI* , M.C. LASPRILLA** y N. BOLOGNINI***

Centro de Investigaciones Ópticas, CIOp, (CONICET,CIC)

C.C. 124, 1900 La Plata, Argentina

e-mail: postmaster@ciop.edu.ar

Resumen

A partir del registro de la imagen de una transparencia con propiedades de autoimágenes en un cristal fotorrefractivo, se generan en la etapa de lectura las replicas de aquella. El estado de polarización de la luz transmitida por el cristal que sintetiza dichas replicas es elíptico. Este hecho permite controlar la elipticidad mediante un arreglo de polarizadores y así obtener autoimágenes en los planos de desenfoque.

De esta manera, al colocar en el haz de lectura una segunda transparencia objeto puede bloquearse la figura de moiré generada a la salida mediante el arreglo mencionado. Los resultados experimentales sugieren una implementación versátil del fenómeno en comparación con la configuración clásica.

Abstract

An incoherently illuminated one-dimensional grating is registered in a BSO crystal. In the readout process, a linearly polarized plane wave from a He-Ne laser is utilized.

The ellipticity of the light exiting the crystal will be determined according to the local birefringence. Then after passing through a polarizer the coherent output will reproduce, under free propagation, replicas of the incoherent input.

The moiré pattern that arises between a readout self-image and a reference grating can be employed to detect phase object or birefringent materials.

The experimental results suggest a more versatile implementation of the Talbot effect in comparison with the classic approach.

Introducción

Cuando se ilumina una transparencia periódica (por ejemplo, una red de Ronchi) con un haz monocromático colimado, se manifiesta la periodicidad longitudinal del campo coherente, formándose réplicas de la transparencia llamadas usualmente autoimágenes. Si se estudia bajo que circunstancias la figura de difracción de Fresnel de una transparencia (autoimagen) coincide con ella, se concluye que eso se verifica si la función de transferencia para la propagación libre toma un mismo valor para todas las frecuencias espaciales en las que el espectro de Fourier de la transparencia es no nulo. La condición anterior

se satisface, en el caso más general, si el espectro de la transparencia toma valores no nulos únicamente sobre una serie de anillos (objetos de Montgomery). Una red de Ronchi de período espacial d tiene un espectro discreto que cumple la condición anterior y por lo tanto genera autoimágenes. Si la red se ilumina con una onda plana de longitud de onda λ , la figura de difracción de Fresnel ubicada en un plano transversal a la distancia $Z_T = 2d^2n/\lambda$ ($n=1,2,3,\dots$), conocida como distancia Talbot, coincide con ella misma. Además el conjunto de figuras de difracción comprendidas entre la transparencia y su primer autoimagen se repite entre dos autoimágenes sucesivas cualesquiera.

* Becaria del CONICET.

** Becaria del CONICET. Ayuda Financiera de COLCIENCIAS de Colombia.
Dirección Permanente: Universidad Industrial de Santander, Colombia.

*** Investigador del CONICET y Profesor Fac. Ciencias Exactas, UNLP.

Es decir el campo difractado es periódico en la dirección de propagación. En particular a la distancia $Z_T/2$ se obtienen autoimágenes negativas (de contraste invertido) mientras en $Z_T/4$ y $3Z_T/4$ la distribución de irradiancia del campo difractado es constante (planos de campo uniforme). Diversas aplicaciones del fenómeno han sido implementadas en el campo de la Óptica en procesamiento de imágenes, control de calidad de elementos ópticos y metrología óptica¹.

Por otra parte, los cristales fotorrefractivos resultan muy atractivos en procesamiento óptico, dada su respuesta en tiempo real y su alta fotosensibilidad². En este trabajo se propone el registro de una transparencia con propiedades de autoimágenes en un medio fotorrefractivo y se consideran diversas situaciones que ponen de manifiesto las potenciales aplicaciones del arreglo experimental utilizado. Para ello se emplea un cristal de $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ que actúa simultáneamente como fotoconductor y electroóptico generándose cambios en el índice de refracción del material debido a la luz que se propaga en él. Así una distribución de intensidad luminosa no uniforme proyectada sobre el cristal fotorrefractivo queda codificada en variaciones de birrefringencia.

Conversor incoherente-coherente

Considérese el esquema de la Figura 1. Una transparencia O_1 con la propiedad de formar autoimágenes es iluminada por la fuente extensa de luz blanca S , de longitudes de onda entre $0,4 \mu\text{m}$ y $0,55 \mu\text{m}$, mediante la lente condensadora L_1 . La lente L_2 forma en el cristal fotorrefractivo, una imagen de aumento unitario de dicha transparencia. Las direcciones $\langle 1\bar{1}0 \rangle$, $\langle 001 \rangle$ y $\langle 110 \rangle$ del cristal coinciden con los ejes X Y Z , respectivamente. Si se aplica una diferencia de potencial V entre las caras paralelas al plano YZ que están separadas una distancia D_X , dado que el material presenta efecto electroóptico se induce en él birrefringencia debida al campo eléctrico externo V/D_X . Los ejes rápido y lento inducidos tienen las direcciones de las diagonales del cristal ($\pm 45^\circ$ respecto al eje Y). La fotoconductividad del

cristal se manifiesta en el rango de longitudes de onda entre $0,4 \mu\text{m}$ y $0,55 \mu\text{m}$. La iluminación no uniforme proyectada sobre el cristal fotoconductor genera portadores de carga que se desplazan debido al campo externo aplicado y que tienden a neutralizarlo, modulando así localmente, vía el efecto electroóptico, la birrefringencia inducida³.

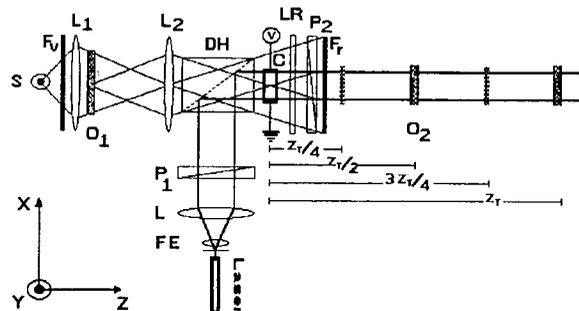


Figura 1. Esquema experimental. S : fuente incoherente; O_1 y O_2 : objetos; L , L_1 y L_2 : lentes; P_1 y P_2 polarizadores; C : cristal fotorrefractivo; V : voltaje; LR : lámina de cuarto de onda; DH : divisor de haz; FE : filtro espacial; F_v y F_r : filtros de color y Z_T : distancia Talbot.

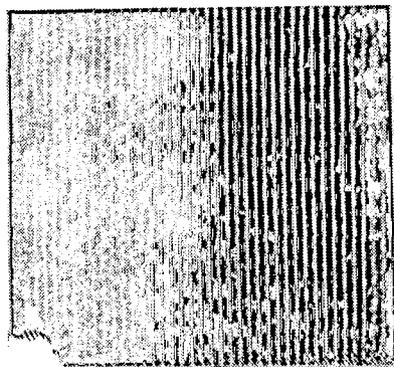
Se ha logrado así el registro de la transparencia O_1 (en éste caso, una red de Ronchi de período d) en términos de la modulación producida por ella en la birrefringencia. La etapa de lectura se realiza con luz coherente. Para ello se utiliza un láser He-Ne, cuyo haz linealmente polarizado y colimado por la lente L incide sobre el cristal. Para la longitud de onda $\lambda=0,63 \mu\text{m}$ la fotoconductividad del cristal es despreciable y por lo tanto no se relaja el campo de carga espacial generado por la distribución luminosa proyectada por O_1 . Por lo tanto la etapa de lectura no degrada la información almacenada.

Las variaciones de birrefringencia que codifican a la transparencia O_1 pueden convertirse en modulación de transmisión de la luz elíptica que emerge del cristal si se ubica una lámina de cuarto de onda (LR) y un analizador como se muestra en la Figura 1. Esencialmente se ha convertido una entrada incoherente en una salida coherente en un proceso en tiempo real. Entonces, dadas las propiedades de replicarse longitudinalmente de la transparencia O_1 , se generan autoimágenes de ella cuando el haz de lectura se difracta en el cristal.

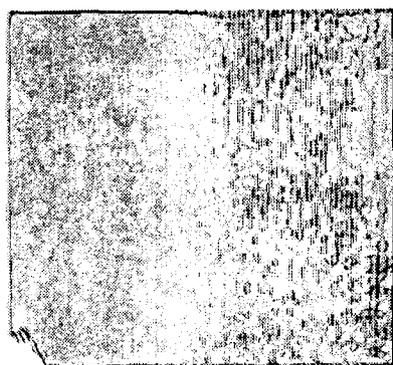
Resultados experimentales

Se utilizó un cristal de dimensiones $D_X = D_Y = 10$ mm y $D_Z = 1$ mm y $V = 9$ KV. En la situación inicial $V = 0$, el sistema se encuentra en extinción para la etapa de la lectura. Es decir, la orientación del polarizador lineal P_2 es tal que bloquea exactamente la luz polarizada del láser, transmitida por el cristal. En éste caso, el plano de polarización de la luz es rotado solamente debido a la actividad óptica del cristal.

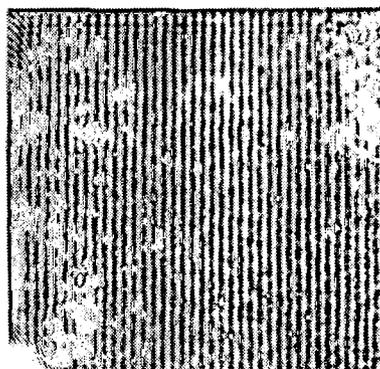
Cuando $V \neq 0$, la luz que emerge del cristal esta elípticamente polarizada y la propagación libre de la misma sintetiza a la distancia Z_T la réplica de la imagen registrada en variaciones de birrefringencia. Así mismo, a la distancia $Z_T/4$ y $3Z_T/4$, la distribución es uniforme, mientras que a la distancia $Z_T/2$ se invierte el contraste³.



(a)



(b)



(c)

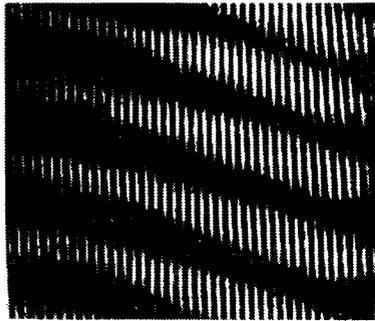
Figura 2: Red de Ronchi de 100 líneas/pulg. a) autoimagen a Z_T ; b) Plano de campo uniforme a $3Z_T/4$; c) autoimagen en $3Z_T/4$ rotando P_2 .

Dada la naturaleza de la reconstrucción en la etapa de lectura (se propaga luz elípticamente polarizada), el control del contraste de la luz transmitida por el cristal puede realizarse mediante la rotación del analizador P_2 . Así, en el plano que corresponde a una distribución uniforme ($Z_T/4$ y $3Z_T/4$) puede recuperarse un determinado contraste asociado a la red de Ronchi si se cambia la orientación del polarizador P_2 .

La Figura 2 muestra los resultados experimentales correspondientes. La Figura 2 a) muestra una autoimagen de una red de 100 líneas/pulg. obtenida en el conversor incoherente-coherente. En la Figura 2 b), el plano de registro se ha desplazado hacia una región de desenfoque, a una distancia $3Z_T/4$ (para $n=1$). En la Figura 2 c) se mantiene el mismo plano de registro, pero se ha rotado el polarizador P_2 hasta recuperar el contraste de un plano de autoimagen.

La situación experimental de la Figura 3 se obtiene al ubicar entre el cristal y el plano de observación una segunda transparencia binaria O_2 idéntica a O_1 . En la Figura 3 a) se observa la figura de moiré producida entre una autoimagen de O_1 (generada por propagación libre a partir del registro de O_1 en el cristal) y la transparencia O_2 . La Figura 3b) registra la supresión del moiré al rotar el polarizador P_2 (y por lo tanto cambiar el contraste de la autoimagen de O_1). Mientras

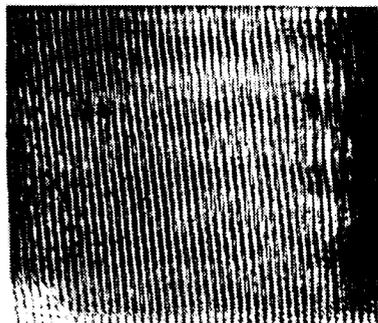
que la Figura 3c) se obtuvo partiendo de la situación 3a), pero desplazando la transparencia O_2 en aproximadamente $Z_T/4$ (para $n=1$).



(a)



(b)



(c)

Figura 3: a) franjas de moiré; eliminación de moiré: b) rotando P_2 ; c) desplazando O_2 .

En la Figura 4 se muestra el efecto en la autoimagen de un ligero desenfoco (del orden de 1 mm) producido en una parte del registro de la transparencia O_1 en el cristal. Obsérvese en la parte inferior de la Figura 4 el severo deterioro que ha sufrido la autoimagen.

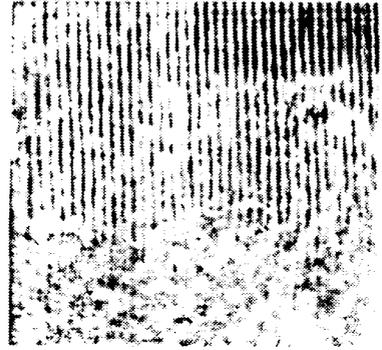


Figura 4: Sensibilidad al desenfoco de la imagen registrada en el cristal.

Si como haz de lectura se utiliza una onda esférica divergente, las distancias Talbot y la magnificación variarán a medida que se propaga el haz. Si se utilizan dos redes de Ronchi idénticas, la primera de ellas, O_1 , registrada en el cristal y la segunda O_2 ubicada en alguno de los planos de autoimagen de O_1 , en otro plano posterior se observará el "batido" producido por la superposición de las dos autoimágenes con diferente paso, ver Figura 5.

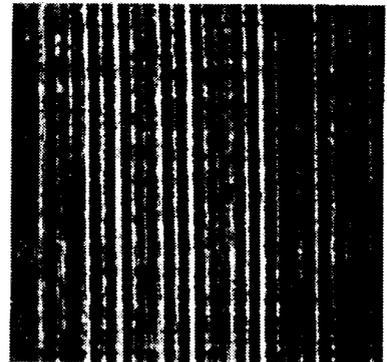


Figura 5: "Batido" de autoimágenes.

Si se utiliza el sistema con la segunda red O_2 para realizar arreglos interferométricos^{4,5} que caractericen objetos de fase (gradientes de

índices, etc.) dicho control del contraste facilitará la visualización de la característica analizada. En este caso el objeto a analizar se ubica entre el analizador y la red O_2 y la salida del sistema se evalúa en el plano imagen del objeto de fase producido por una lente adicional y un filtro espacial ubicado en su plano focal. Por ejemplo, en la Figura 6 se observa la imagen reconstruida en amplitud de un objeto de fase.



(a)



(b)

Figura 6: Reconstrucción en amplitud de un objeto de fase.

Conclusiones

Se ha utilizado un arreglo de conversión óptica incoherente a coherente que permite reproducir y controlar el contraste del fenómeno de autoimágenes

Así mismo, los diagramas de moiré obtenidos mediante la introducción de una segunda red de Ronchi pueden ser utilizados como figuras de referencia en la detección de materiales birrefringentes y en la caracterización de objetos de fase (gradiente de índices, etc.).

Además, es evidente que puede utilizarse una pantalla de TV, cristal líquido, etc. sin necesidad de la presencia física de la transparencia de entrada para implementar la experiencia.

Agradecimientos: Este trabajo fue financiado mediante el PID 3974/92 del CONICET.

Bibliografía

- 1- K. Patorski in "Progress in Optics" Vol. XXVII, E. Wolf Ed., North Holland, Amsterdam, (1989).
- 2- J. P. Huignard and P. Günter in "Photorefractive Materials and Their Applications II", P. Günter and J. P. Huignard Eds., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, (1989).
- 3- J. Ibarra, J. Ojeda Castañeda, Opt. Comm., **96**, 294, (1993).
- 4- D. E Silva, App. Opt., **11**, 2613, (1972).
- 5- E. Tepichin, J. Ojeda Castañeda, App. Opt., **28**, 1517 (1989).