

Generación periódica del índice de refracción en un cristal $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$

M. P. Sampedro, M. Méndez Otero, D. Ramírez Martínez, E. Martí Panameño, M. Palomino Ovando
 Facultad de Ciencias Físico Matemáticas Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
 Av. San Claudio y Río Verde, Ciudad Universitaria. Col. San Manuel. Puebla, Puebla, México

M. A. Cerezo Jácome
 Facultad de Ciencias de la Electrónica Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
 (Recibido 18 de octubre de 2003; Aceptado 26 de febrero de 2004)

Existen algunos materiales que cambian su índice de refracción al hacerles incidir un campo óptico (luz), estos materiales tienen la naturaleza de generar diversas distribuciones de este índice dependiendo de la condición inicial que se considere. En este trabajo se presenta la generación experimental de un arreglo periódico del índice de refracción en un cristal fotorrefractivo $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (Bismuto, Titanio Oxígeno), en el cual la condición inicial empleada es un patrón de franjas, este se obtiene de la superposición de dos haces de un láser de HeNe polarizado linealmente en dirección vertical, emitiendo en la línea de 632.8 nm.

Palabras clave: Materiales fotorrefractivos; Óptica no lineal; Solitones.

It is well know that some optical materials to change his refractive index when these are exposed to the light, depending on the particular conditions they can generate several distributions of refractive index. In this work we presented an experimental periodic arrangement of refractive index generated on the $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ photorefractive crystal (Bismuth, Titanium, Oxygen), the initial condition used was generated by superposing two beam of a He-Ne laser linearly polarized in the direction perpendicular to the external field applied to the crystal at 632.8nm.

Keywords : Photorefractive materials; Nonlinear optics; Spatial solitons

1. Introducción

El estudio de la interacción de los campos electromagnéticos (luz) con la materia (que pueden ser sólidos líquidos y gases) se realiza en una de las áreas de la óptica conocida como Fotónica. Esta interacción da origen a diversos fenómenos ópticos lineales y no lineales, los cuales son descritos a través de la polarización óptica [1,2], dado que el índice de refracción depende directamente de la intensidad y de la frecuencia. Algunos fenómenos como enfocamiento y desenfocamiento de la luz pueden ser generados en materiales que obedecen el efecto fotorrefractivo. Este efecto se puede explicar de la siguiente forma: Cuando un material se le hace incidir un patrón de franjas brillantes y oscuras se genera dentro de este una redistribución de carga interna en función de las zonas brillantes y oscuras, lo cual produce un campo eléctrico interno que a su vez da origen a un cambio en el índice de refracción, contribuyendo así a la generación de la no linealidad del material [3]. Este trabajo está basado en el fenómeno de enfocamiento y desenfocamiento, en particular, en la modificación del índice de refracción no lineal del medio de acuerdo a la distribución de un campo electromagnético que incide en él. Donde la temperatura para este caso no es relevante, y la dispersión es compensada con la variación del índice de refracción. Esta variación se da a través del fenómeno fotorrefractivo.

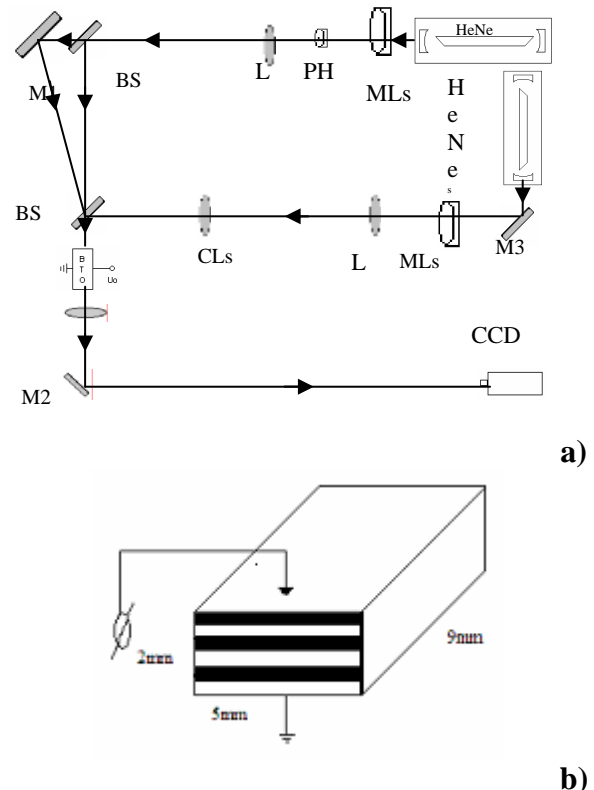


Figura 1. a) Diagrama a Bloques del arreglo experimental. MLs objetivo de microscopio, PH abertura circular , M1, M2, M3 espejos, BS divisor de haz, Uo alto voltaje, BTO cristal selenita, CCD cámara CCD, CLs lente cilíndrica, L lente colimadora del haz. b) Cristal fotorrefractivo de tipo $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$

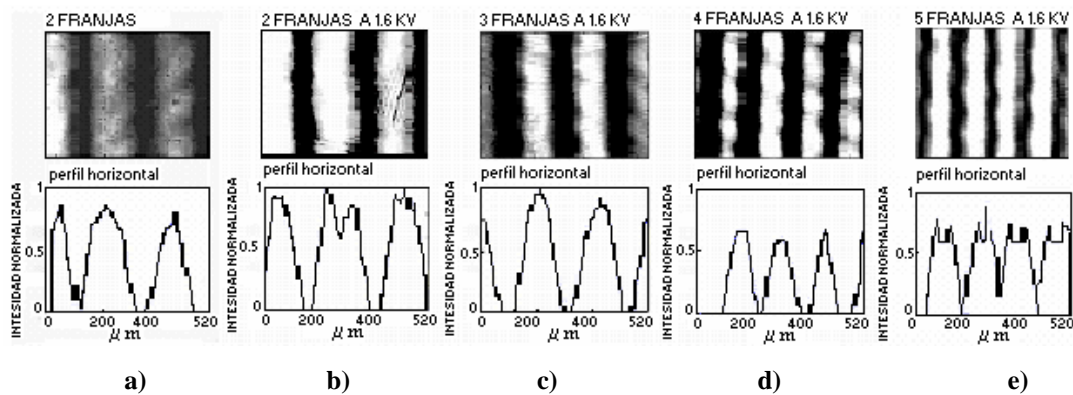


Figura 2. Imágenes y perfiles obtenidas a la salida del cristal con un período de: a)4 líneas/milímetro sin voltaje, b) 4 líneas/milímetro, c) 6 líneas/milímetro, d) 8 líneas/milímetro y e) 10 líneas/milímetro Para un voltaje externo aplicado al cristal de 1.6 kV.

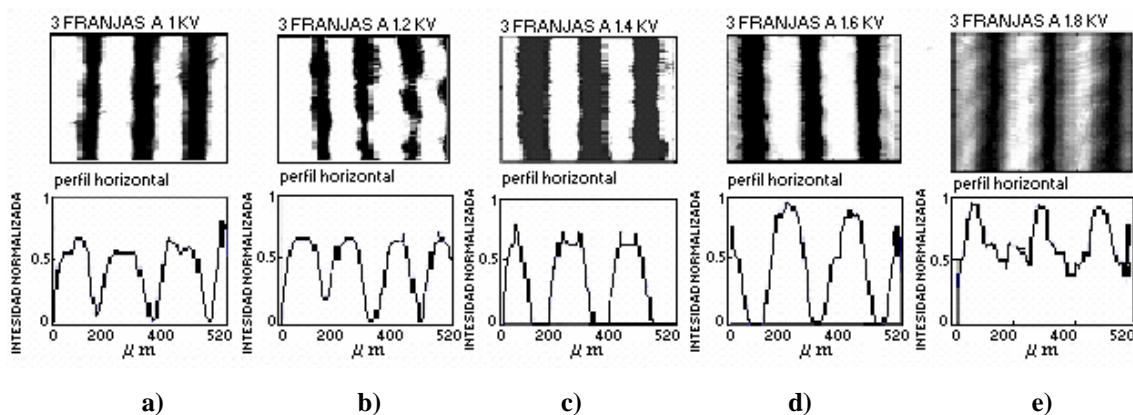


Figura 3. Imágenes y perfiles obtenidas a la salida del cristal con un voltaje aplicado de: a) 1 kV, b) 1.2 kV, c) 1.4 kV, d) 1.6 kV y e) 1.8 kV. Para un periodo de 6 franjas/milímetro.

2. Arreglo experimental

En la figura 1a) se muestra el esquema experimental para la generación del arreglo periódico del índice de refracción. El haz de un láser de HeNe con polarización lineal en la dirección vertical, emitiendo en la línea de 632.8 nm es expandido y filtrado con un objetivo de microscopio y una apertura circular de 25 μm de diámetro (pinhole), se empleó una lente con una distancia focal de 5 cm para colimar la luz. De esta forma se obtuvo que el diámetro del haz fuera de 1 cm con el propósito de cubrir totalmente al cristal. Se dividió el haz con un cubo divisor 50/50 para producir los dos haces, donde uno de ellos se dirigió directamente al cristal y el otro con un espejo se reflejó hacia el cristal para generar el patrón de interferencia. Como material óptico se utilizó un cristal fotorrefractivo de tipo Bi₁₂TiO₂₀ (cristal cúbico, isotrópico en todas sus propiedades físicas descritas por tensores de segundo grado, este cristal pertenece a la familia de los selenitas), de dimensiones y orientaciones 2[1 $\bar{1}$ 1]x5[001]x9[110] mm, debido a la ausencia del centro de inversión hace posible observar efectos relacionados con el tensor de tercer grado, tales como: electro-óptico lineal, foto-

galvánico, actividad óptica intrínseca entre otros . Este cristal fue cultivado en los laboratorios “Hughes Research”, con corte convencional transversal electro-óptico (110), figura 1b), el cristal fue sometido a un campo eléctrico externo aplicado con el objetivo de amplificar la no linealidad del cristal. A 15 cm de la salida del cristal la imagen del haz fue enfocada a campo lejano con una lente de 15 cm de longitud focal, captando la imagen con una cámara de digitalización de imágenes (CCD).

3. Resultados experimentales

Para obtener una distribución periódica del índice de refracción es necesario emplear como condición inicial un campo electromagnético periódico así, empleando el arreglo experimental mostrado en la figura 1a) se obtuvo a la entrada del cristal un patrón de franjas a diferentes periodos, el cual fue propagado a lo largo del cristal (9mm) y después de aplicar un campo externo a lo largo de los 2mm del cristal se obtuvo una distribución de índice de refracción periódica. Observando que hay dos parámetros importantes que influyen en la determinación adecuada de

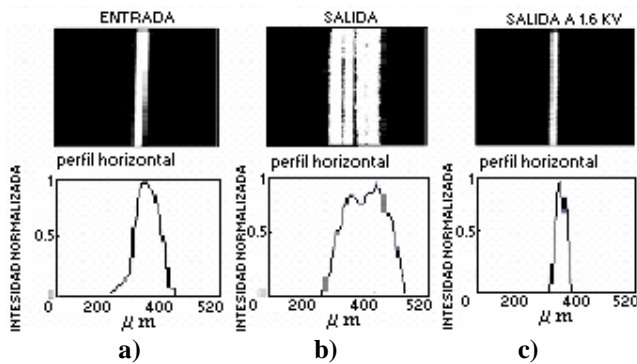


Figura 4. Imágenes y perfiles de la propagación de un haz brillante unidimensional tomadas a la: a) entrada del cristal, b) salida del cristal sin voltaje aplicado y c) salida del cristal con voltaje aplicado de 1.6 kV y un periodo de 6 franjas/milímetro.

la distribución del índice de refracción periódico del material, siendo estos el periodo y el voltaje. La forma de determinar los valores adecuados de periodo y voltaje es empleando el concepto de un solitón óptico espacial oscuro [4], el cual es un fenómeno que se conoce como un haz que se autoenfoca dentro de un material óptico, es decir que durante su propagación a lo largo del medio no pierde su forma inicial ni pierde intensidad, por ello se considera como una guía de onda y a su vez una guía de onda tiene una distribución de índice de refracción cuadrada. De esta manera, al generar un arreglo de guías de onda o de solitones espaciales ópticos se genera un arreglo periódico de índice de refracción periódico. De esta forma, para determinar el periodo y voltaje adecuado fue necesario propagar un haz de prueba a través de una de las zonas oscuras. Observando que a un periodo de 6 líneas/milímetro y un voltaje de 1.6 kV se obtuvo la mejor guía (ver figura 4).

Los resultados obtenidos se clasifican en tres partes: Variación del período de franjas, Variación del campo externo aplicado y Guía de onda

4. Variación del período de franjas

Se realizaron una serie de experimentos en los cuales se varió el periodo de franjas y el voltaje externo aplicado al cristal, y después de llevar a cabo un análisis de ellos se muestran los resultados más representativos. Los resultados que se muestran a continuación fueron obtenidos a un mismo voltaje externo aplicado de 1.6 kV, para diferentes periodos de las franjas (ver figura 2).

En la figura 2 inciso a) se muestra la imagen y perfil del patrón de franjas obtenida a la salida del cristal con un periodo de 4 líneas/milímetro, sin aplicarle voltaje. Por otro lado, en los incisos b), c), d) y e) corresponden a imágenes a la salida del cristal a diferentes periodos de franjas/milímetros pero con el mismo voltaje externo aplicado de 1.6 kV. En estas imágenes se observa que a medida que el periodo aumenta, la región de la intensidad máxima se va aplanando y la región del mínimo se va angostando, comportamiento general de un solitón espacial óptico. Bajo estas condiciones el patrón de franjas con un

periodo de 6 franjas/milímetro es el adecuado para generar una distribución periódica de índice de refracción.

5. Variación del campo externo aplicado

Otro de los parámetros dominantes en la generación de distribuciones periódicas del índice de refracción es el voltaje aplicado, el cual se varió de 1 kV a 1.8 kV, en intervalos de 0.2 kV para cada periodo. En la figura 3, se muestran imágenes y perfiles para un solo periodo de 6 franjas/milímetro, pero para diferentes voltajes aplicados.

Del mismo modo que en el caso anterior, los perfiles de las imágenes muestran que a medida que aumenta el voltaje aplicado la zona de los puntos máximos se va aplanando y además van siendo mas uniformes, en el caso de las zonas oscuras los mínimos se van angostando y cada una de ellas llega al valor de cero. Estos perfiles muestran que el voltaje adecuado es el de 1.6 kV, puesto que los máximos están mas uniformes al igual que los mínimos.

6. Guía de onda

A partir de los resultados obtenidos en las figuras 2 y 3, en el que se indica que el valor del periodo y voltaje adecuados para la generación de distribuciones periódicas del índice de refracción son de 6 franjas/milímetro y 1.6 kV, respectivamente, mostramos la propagación de un haz brillante unidimensional a través de una zona oscura (guía de onda).

Cuando un haz se propaga a través de un medio óptico, este tiende a difractarse, lo cual implica pérdida de energía y forma de la sección transversal del haz (perfil del haz), sin embargo, cuando este haz se propaga a través de una guía de onda no se difracta, es decir, no hay pérdida de energía ni de la forma del perfil. Así, en la figura 4 se muestra el comportamiento de guía de onda, para un haz brillante unidimensional propagándose a lo largo de una zona oscura de periodo 6 franjas/milímetro y 1.6 kV de voltaje aplicado al cristal. En la figura 4 a) se muestra la imagen y perfil del haz brillante unidimensional enfocado a la entrada del cristal, en esta imagen se observa que el haz tiene un cierto ancho. En la figura 4 b) se muestra la imagen y perfil del haz brillante unidimensional a la salida del cristal (después de atravesarlo), en este caso no se ha aplicado voltaje al cristal, esta imagen muestra que el haz sufrió difracción, el ancho del haz se incremento y la intensidad disminuyó en comparación con la imagen de la entrada del cristal. Sin embargo, cuando el haz se propaga dentro de una de las zonas oscuras con el voltaje aplicado se observa que el haz a la salida mantiene su forma e intensidad, como se muestra en la figura 4 c). Esto significa que la zona oscura funciona como una guía de onda, por lo tanto la distribución del índice de refracción es periódico.

7. Conclusiones

Se concluye que la distribución periódica de índices de refracción depende del número de franjas del patrón y de la

magnitud del potencial aplicado. Encontrando que estos parámetros corresponden a una distribución periódica del índice de refracción con 6 franjas/milímetro y a un potencial de 1.6 KV. Esto se corrobora demostrando que estos arreglos periódicos son arreglos de solitones ópticos oscuros.

Referencias

- [1] Robert W. Boyd Nonlinear Optics, Ed. Academic Press Inc., San Diego California, (1992)
- [2] N. Bloembergen. Nonlinear Benjamin, New York, (1964).
- [3] G. E. Torres –Cisneros, J.J. Sánchez –Mondragón, M.D. Iturbe-Castillo y C. Treviño-Palacios, Revista Mexicana de Física. **41**, 662 (1995).
- [4] Strillo W. Torruellas (Eds.), Spatial Solitons, Ed. Springer, Germany, 38 (2001).