Estudio del fenómeno de almacenamiento óptico a partir de la birrefringencia inducida en películas microestructuradas de PMMA

Study the phenomenon of optical storage from the induced birefringence in microstructured PMMA films

E. Mercado Gutiérrez⁽¹⁾, A. Quiroga Soto⁽¹⁾, F. Racedo Niebles^(2,*)

1. Estudiante de Física, Grupo GEOEL, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.

2. Departamento de Física, Grupo GEOEL, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.

(*) Email: franciscoracedo@mail.uniatlantico.edu.co

Recibido / Received: 15/05/2012. Revisado / Revised: 18/07/2012. Aceptado / Accepted: 19/07/2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.7149/OPA.45.3.303>

RESUMEN:

Se estudió el fenómeno de almacenamiento óptico en películas microestructuradas de polimetilmetacrilato (PMMA), por medio de la birrefringencia inducida en el material. Para inducir y estudiar la birrefringencia en el material, se utilizaron dos láseres, uno de baja potencia de He-Ne linealmente polarizado y un láser de Nd:YAG de 5 mV de potencia linealmente polarizado. Éste último se utilizó como láser de escritura el cual es el encargado de orientar las moléculas del PMMA para así inducir la birrefringencia. Se obtuvieron las señales de la birrefringencia inducida en las muestras de PMMA y se logró obtener un modelo teórico de las curvas que se debían obtener. Variando la potencia del láser de escritura se pudo obtener una variación en la cantidad de birrefringencia inducida, lo cual mostró unos resultados interesantes ya que se pudo observar cómo reaccionan los azopolímeros a la cantidad de energía incidente hasta conseguir una potencia umbral.

Palabras clave: Birrefringencia Inducida, Azocompuestos, Almacenamiento Óptico.

ABSTRACT:

We studied the phenomenon of microstructured optical storage films of polymethylmethacrylate (PMMA). Through the birefringence induced in the material, we studied some properties such as transmittance and absorption. To induce and study the birefringence in the material, we used two lasers: a low power He-Ne linearly polarized laser and a 5 mV power linearly polarized Nd:YAG. The latter was used as a writing laser which is responsible for orienting the PMMA molecules and induce birefringence. We obtained birefringence induced signals in PMMA samples and managed to obtain a theoretical model of the curves. By varying the writing laser power it is possible to obtain a variation in the amount of induced birefringence, which showed interesting results where it was observed how azopolymers reacted to the amount of incident energy until a threshold power is reached.

Key words: Induced Birefringence, Azocomposites, Optical Storage.

REFERENCIAS Y ENLACES / REFERENCES AND LINKS

- [1]. O. N. Oliveira, "Optical storage and surface-relief gratings in azobenzene-containing nanostructured films", *Adv. Colloid Interfac.* **116**, 179–192 (2005).
- [2]. E. Rivera, *Los Azopolímeros: Materiales Inteligentes con Respuesta a la Luz*, Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria. México 04510, D.F. México; *Bol. Soc. Quím. Méx.* **2** (1), 24-34 (2008).

- [3]. M. J. Galante, P. A. Oyanguren, I. A. Zucchi, *Síntesis, Caracterización y Propiedades Ópticas de Azo-compuestos basados en Polímeros Dibloque*, INTEMA – Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales – CONICET, Argentina (2010).
- [4]. M. R. Cardoso, *Estudio de la Birrefringencia Inducida por Uno y Dos Fotones en Compuestos Azo-Aromáticos de la Familia Salem*, MS Thesis, Materials Engineering, Universidad de Sao Pablo, Brasil (2005).
- [5]. D. Hore, A. Natansohn, P. Rochon, "Irradiance and temperature dependence of photoinduced orientation in two azobenzene-based polymers", *Can. J. Chem.* **76**, 1648-1653 (1998).
- [6]. C. R. Mendonça, A. Dhanabalan, D. T. Balogh, L. Misoguti, D. S. dos Santos, M. A. Pereira-da-Silva, J. A. Giacometti, S. C. Zilio, O. N. Oliveira, "Optically induced birefringence and surface relief gratings in composite Langmuir-Blodgett (LB) films of poly 4'-2-(methacryloyloxy)ethyl ethylamino -2-chloro-4-nitroazobenzene (HPDR13) and cadmium stearate", *Macromolecules* **32**, 1493-1499 (1999).
- [7]. A. Natansohn, P. Rochon, J. Gosselin, S. Xie, "Azo polymers for reversible optical storage .1. Poly 4'-2-(Acryloyloxy)Ethyl Ethylamino -4-Nitroazobenzene", *Macromolecules* **25**, 2268-2273 (1992).

1. Introducción

En 1937 G. S. Hastley publicó en la revista Nature un estudio sobre la cristalización del azobenceno, que culminó con el descubrimiento del isómero cis, al exponer una disolución de azobenceno a la luz. Los azobencenos son una familia de compuestos que poseen dos radicales aromáticos unidos a través de un grupo azo ($-N=N-$). Al igual que los dobles enlaces carbonados, los azobencenos poseen dos isómeros geométricos en torno al $-N=N-$, el isómero trans, el cual es más estable que el isómero cis. La barrera de energía del estado foto-excitado es del orden de aproximadamente 23 kcal/mol, de tal manera que en la oscuridad y a temperatura ambiente, el isómero predominante es el trans. Cuando los azo-compuestos se exponen a una determinada longitud de onda se inicia el proceso de foto-isomerización de trans a cis, que lleva implícito un cambio en la estructura de la geometría y la absorción en el azo-compuesto. Es por esto que se realizó el estudio de este fenómeno en un tipo especial del polímero como lo es el polimetilmetacrilato (PMMA), en donde es posible inducir el proceso de foto-isomerización, generando una birrefringencia en la capa polimérica.

El concepto de estimular la orientación molecular, de esta manera genera gran interés en el desarrollo de nuevas tecnologías, tales como la fotónica y la optoelectrónica, en los cuales es muy importante el almacenar la información, ya sea temporalmente o a largo plazo.

2. Descripción experimental

Existen muchos esquemas experimentales que nos sirven para inducir birrefringencia en un medio óptico no lineal, en donde en algunos casos es necesario un alineamiento preciso del sistema óptico para que se pueda obtener una buena respuesta del fenómeno. En un material polimérico, los encargados de ocasionar el movimiento son los cromóforos, los cuales son también responsables del color característico que presente el polímero. Para generar el fenómeno de foto-isomerización utilizamos un láser continuo linealmente polarizado operando en la región de absorción de los cromóforos, el cual es del orden de 532 nm. La polarización del láser de escritura, debe ser de tal manera que este tenga un ángulo de polarización de 45° respecto a la polarización del láser de lectura. El láser de lectura es un láser de He-Ne de 632.8 nm linealmente polarizado con una potencia de 1 mW.

Se hace pasar el láser de lectura (He-Ne) a través de un par de polarizadores cruzados, uno delante de la muestra y otro detrás de ella, de tal manera la intensidad del láser de lectura después del segundo polarizador sea prácticamente nula, y de esta manera empezar a inducir la birrefringencia. En la Fig. 1 se muestra un esquema del montaje experimental para la realización del experimento.

Se hace incidir el haz del láser de lectura (He-Ne) para registrar el valor máximo de intensidad que recibe el fotodiodo. Luego se cruzan los polarizadores un ángulo de 45° de tal manera que el fotodiodo no registre señal (Fig. 1).

Verificando que la polarización del láser de escritura (Nd:YAG) se encuentre a 45° del láser de lectura, lo encendemos, haciéndolo incidir en la muestra exactamente en el mismo punto que el láser de lectura (Fig. 2).

Justo antes del detector colocamos un filtro de la longitud de onda del láser de escritura (Nd:YAG), de tal manera que se garantice que solo la luz proveniente del haz del láser de lectura (He-Ne) sea detectada.

La Fig. 1 muestra la posición de los láseres, los polarizadores y la muestra. Por otra parte observamos los polarizadores los cuales están dispuestos para que no llegue ninguna señal al detector, el polarizador que se encuentra antes de la muestra es el encargado de verificar cual es la polarización del láser de lectura, mientras que el segundo polarizador es el encargado de determinar cuál es el estado de polarización en el que se encuentra la muestra.

Inmediatamente se enciende el láser de escritura, los cromóforos se polarizan en forma

Fig. 1: Disposición experimental para inducir la birrefringencia, en el cual el láser de escritura (Nd:YAG) se encuentra apagado.

Fig. 2: Una vez encendido el láser de escritura (Nd:YAG), observamos el aumento de la señal luminosa proveniente del láser de lectura (He-Ne).

perpendicular a la componente del campo eléctrico del láser de escritura (Nd:YAG). Esto lo podemos observar gracias a la señal que recibe el detector, proveniente del láser de lectura (He-Ne), que cambia su estado de polarización al pasar por la muestra. La muestra en ese caso actúa como un “segundo” polarizador que se encuentra a un ángulo determinado, el cual no es perpendicular al polarizador que se encuentra después de la muestra. De esta manera es que se puede observar una señal en el detector.

Para observar mejor la forma en que la que se ven afectados los cromóforos, se ilustra como es el movimiento de las moléculas cuando se exponen a la longitud de onda en las que se genera el cambio del isómero trans – cis y cis – trans. Solo un pequeño grupo de los cromóforos son los que se orientan, para ser más precisos, solo la región en donde incide el láser de escritura es la que se ve expuesta al fenómeno de foto-isomerización.

3. Resultados y discusión

Una vez realizada la inducción de la birrefringencia se observó el siguiente patrón de la señal que fue registrada por el osciloscopio (Fig. 3).

Inicialmente cuando el láser de lectura (He-Ne) incide sobre la muestra se obtiene una señal nula sobre el osciloscopio ya que los polarizadores se encuentran cruzados. Cuando se enciende el láser de escritura el cual trabaja en el rango de 532 nm, este es de Nd:YAG con una potencia de salida de 5 mW, se observa un aumento considerable en la señal recibida (Fig. 3). Esto se debe a que cuando incide el láser de escritura sobre la superficie del polímero esta reacciona a la longitud de onda del láser, cambiando la relación de polarización que existe entre en el láser de lectura antes de incidir en la muestra, y después que pasa a través de ella. En la Fig. 4 vemos un diagrama en el cual la orientación de los cromóforos es perpendicular a la polarización del láser de escritura.

Cuando el láser de escritura (Nd:YAG) es apagado, inmediatamente los cromóforos regresan al isómero más estable, el trans. Esto se

Fig. 3: Resultado experimental de la birrefringencia ópticamente inducida.

Fig. 4: Diagrama de la orientación de los cromóforos al inducir la birrefringencia.

ve reflejado en la señal, se muestra en el punto B de la Fig. 3. El valor de la señal disminuye considerablemente hasta que vuelve a su configuración inicial, en este estado los cromóforos se encuentran de una manera aleatoria y sin ningún orden.

Después de un tiempo considerable antes de apagar el láser de escritura (Nd:YAG), se observa que llega hasta un valor de saturación que corresponde al punto B. allí la alineación de los cromóforos será máxima con respecto al ángulo de polarización de laser escritura, permitiendo que el láser de lectura pase a través de la muestra con un ángulo de 45° en relación al analizador (polarizador después de la muestra).

Finalmente, se logra obtener la vista total en un tiempo considerablemente largo, el patrón completo de la birrefringencia ópticamente inducida, tal como se muestra en la Fig. 5. Se

Fig. 5: Procesos que describe la señal de la birrefringencia inducida, A: grabado, B: saturación, C: borrado.

observan cada una de las etapas de escritura y borrado de la señal.

La Fig. 5 es obtenida a partir del modelo Hore simplificado de fotorientación molecular inducida, el cual consiste en un sistema de dos niveles que engloba todos los detalles de excitación e isomerización fotoquímica, trans-cis y cis-trans.

4. Conclusiones

Podemos concluir que es posible inducir efectos no lineales como la birrefringencia en compuestos que presenten características propias de los azo-compuestos, como lo es el PMMA. Se observa que los cromóforos se alinean de manera perpendicular al plano del campo eléctrico del láser de escritura y a un ángulo de 45° con respecto al laser de lectura. También es posible que variando la potencia del láser incidente o laser de escritura se observe una mayor señal en el osciloscopio lo que nos diría que los isómeros tendrían una polaridad paralela al laser de lectura.

El ajuste del sistema óptico es crítico, ya que todos los componentes del sistema deben estar alineados perfectamente. Es posible además que con pequeñas variaciones del ángulo de incidencia y del láser de escritura, afecte a los cromóforos vecinos.