



CARACTERIZACIÓN DE LAS NO LINEALIDADES DE UNA PELÍCULA FOTOGRÁFICA DEPOSITADA EN VIDRIO Y ACETATO.

Edmundo Reynoso Lara, Gerardo Díaz González, José Alfredo Sandoval Vázquez.
Facultad de Ciencias de la Electrónica. BUAP
Blvd. 18 Sur y Av. Sn. Claudio s/n, Ciudad Universitaria.
ereynoso@kim.ece.buap.mx, gdiaz@ece.buap.mx

RESUMEN

En este trabajo se utiliza la técnica de caracterización óptica de Z-scan, la cual nos permite determinar la absorción y refracción no lineal de diferentes materiales. En este experimento se ha caracterizado una película fotográfica depositada en sustrato de vidrio y sustrato de acetato. Para la caracterización de estas películas hemos utilizado un láser de HeNe en 632 nm a 24 mW con diferentes filtros para atenuar las diferentes potencias que se le aplicaron a las películas. Se observa que a partir de una potencia menor a 3 mW las gráficas son casi lineales, por lo que no podemos obtener una buena información sobre la no linealidad de la muestra. Después de 3 mW las gráficas empiezan a comportarse de manera no lineal, hasta llegar a la máxima potencia que es de 24 mW, donde se obtiene una no linealidad muy notoria que nos ofrece información sobre algunas características no lineales del material.

1. INTRODUCCION

La técnica Z-scan es un método popular para la medición de no linealidades ópticas utilizando un solo haz láser. Con el fin de hacer mediciones confiables, es necesario caracterizar y controlar cuidadosamente cierto número de parámetros experimentales, tales como: la calidad del haz, la potencia y características temporales del láser, el tamaño de la abertura de colección y su posición; así como, la reflectividad, espesor e imperfecciones de la muestra. El descuido en el control de estos parámetros conduce a determinaciones imprecisas de las no linealidades.

En este documento se muestran los resultados obtenidos para una muestra (película

fotográfica) depositada en sustratos de vidrio y acetato, al ser sometida al sistema Z-scan para ser objeto de caracterización.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA PELÍCULA FOTOGRÁFICA A TRAVÉS DE Z-SCAN.

La técnica Z-scan es un método muy fácil y sencillo de implementar, ya que solo necesitamos un solo láser, una lente convergente y un fotodetector con un diafragma o abertura sobre él. Con este método se obtienen no linealidades ópticas, particularmente de refracción y absorción. Esta ha sido utilizada para medir propiedades de semiconductores, dieléctricos y cristales, moléculas orgánicas o con base de carbono y cristales líquidos, con no linealidades en tiempos de la escala de femtosegundos a milisegundos. Esto complementa y algunas veces reemplaza otras técnicas de medición tales como el mezclado de cuatro ondas. Z-scan tiene la ventaja de que inmediatamente indica el signo y tipo de no linealidad (refractiva o absorbitiva).

En la técnica Z-scan nuestra muestra es barrida o desplazada a lo largo del eje óptico (la dirección z) a través de un solo haz láser enfocado (*Fig. 1*); mientras la energía transmitida a una abertura colocada sobre un detector a campo lejano (*campo lejano para nuestras mediciones es equivalente a una distancia mayor a 10 veces la longitud focal*) es registrada como función de la posición de la muestra.

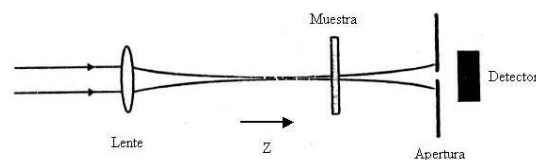


Fig. 1. Arreglo experimental para mediciones Z-scan de refracción no lineal.



En nuestro arreglo experimental hemos tomado varios resultados al cambiar las distancias que existen entre el láser y la lente que enfocará la luz a la muestra; así como también se ha variado la posición del fotodetector y el tamaño de la abertura. Con los resultados obtenidos se ha visto que la mejor distancia entre el láser y la lente es de 628mm, la de la lente a la muestra es de 28mm y la de muestra al fotodetector es de 857mm; con una abertura de 1mm (Fig. 2).

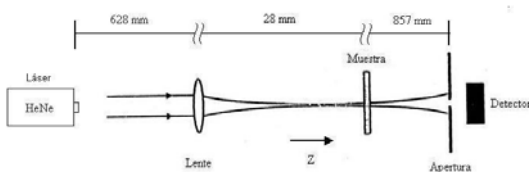


Fig. 2(a)

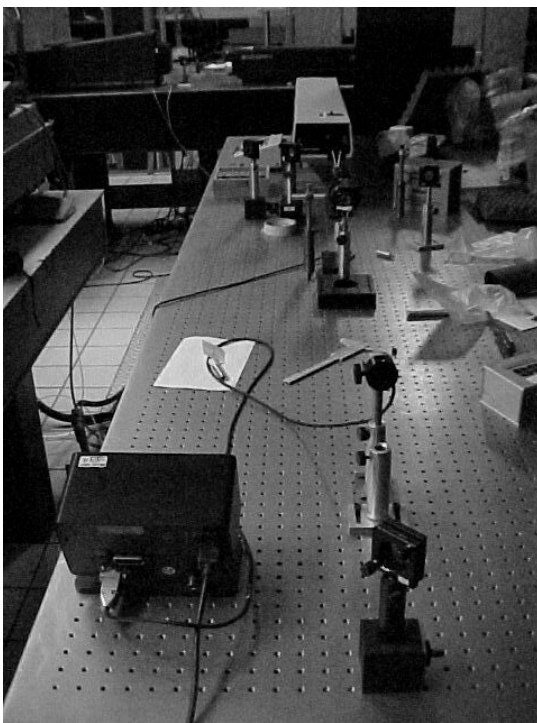


Fig. 2(b)

Fig. 2. (a) Esquema del arreglo experimental Z-scan. (b) Arreglo experimental de la técnica Z-scan.

Es conveniente presentar los resultados en gráficas que nos representen un comportamiento

de la Transmitancia (T) vs. posición de la muestra. En nuestras gráficas presentamos la transmitancia normalizada a la transmitancia lineal del sistema.

Un perfil típico Z-scan para una muestra delgada con una no linealidad positiva, y puramente refractiva es mostrado en la Fig. (3).

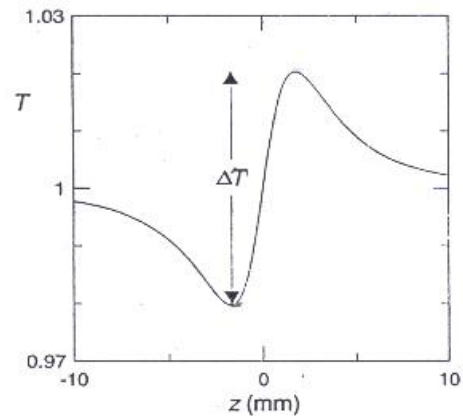


Fig. 3. Resultados Z-scan para un medio delgado con **auto-enfocamiento** $\Delta\Phi_0 = 0.1$, $z_R = 2$ mm, $z_l = 10$ m (campo lejano).

La no linealidad a menudo puede ser evaluada de la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la transmitancia normalizada, ΔT . Para un medio óptico delgado Kerr (donde el índice de refracción varía linealmente con la irradiancia) con coeficiente de índice de refracción no lineal n_I [$m^2 W^{-1}$], ΔT es proporcional al corrimiento de fase no lineal $\Delta\Phi_0$ sobre el eje con la muestra en la posición de la cintura del haz, y por consiguiente para n_I :

$$\Delta T = 0.406 |\Delta\Phi_0|, \quad (1)$$

donde $\Delta\Phi_0 = kn_I I_0 L_{eff}$. Aquí $k = 2\pi/\lambda$, λ es la longitud de onda, en nuestro caso es de 632nm, I_0 es la irradiancia sobre el eje en la cintura del haz, y L_{eff} es la longitud efectiva de la muestra. Esto está dado por $L_{eff} = (1 - e^{-\alpha_0 L})/\alpha_0$, donde L es la longitud real de la muestra y α_0 es el coeficiente de absorción lineal ($L_{eff} = L$ en ausencia de absorción lineal). La ecuación (1) es correcta para el primer orden en I_0 (el régimen de interacción débil), para un haz láser de perfil Gaussiano y apertura infinitesimal o pinhole a el campo lejano.



El método Z-scan es atractivo debido a su simplicidad, con el se pueden extraer el signo y la magnitud de la no linealidad, así como también se pueden extraer fácilmente n_I y α_I con una mínima cantidad de análisis. Una ventaja adicional es la semejanza muy cercana entre el Z-scan y las geometrías de limitación de potencia óptica. El estudio Z-scan detallado no solamente da información importante sobre las características ópticas no lineales de un material sino que también produce información con respecto a optimización de la geometría de limitación de potencia óptica tal como la posición y el espesor óptimo de la muestra. Esto hace de Z-scan la técnica preferida cuando se asignan materiales para una aplicación de limitación de potencia óptica.

A pesar de la aparente simplicidad experimental de la técnica Z-scan, debe tenerse mucho cuidado con las mediciones experimentales para asegurar resultados confiables. Hay varios factores que pueden llevar a perfiles Z-scan de mala calidad y datos no confiables si sus efectos no son entendidos.

Los datos medidos se obtuvieron al barrer la muestra una distancia de 28mm sobre el eje óptico, en incrementos de 0.5mm y con 20 mediciones por incremento. En la Fig. (4). Se observa el sistema automatizado para realizar los barridos de la muestra sobre el foco de la lente, capaz de dar incrementos de 50nm.

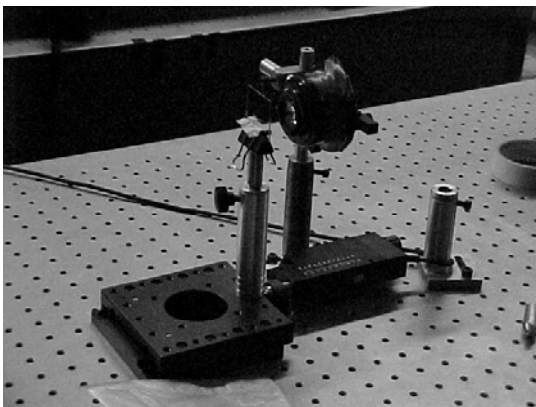


Fig. 4. Sistema automatizado para realizar los barridos de la muestra sobre el foco de la lente.

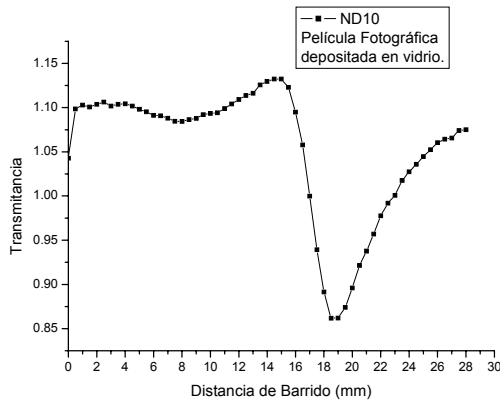
En las mediciones que se hicieron se colocaron diferentes filtros de densidad neutral (*Neutral Density*) a la salida del laser, con valores de ND30, ND20, ND10, ND05 y sin filtro. En la siguiente tabla se observa la relación de atenuación que presenta cada uno de los filtros, tomando en cuenta que la salida de potencia del láser es de 24 mW.

Filtro	Potencia obtenida
ND30	30.7 μ W
ND20	230 μ W
ND10	2.15mW
ND05	8.4mW
Sin Filtro	24mW

De acuerdo a la interpretación de los datos obtenidos podemos observar que no se presentan características de no linealidades con los filtros de ND30 y ND20. La no-linealidad notable más baja se presenta cuando se coloca el filtro de ND10, tanto para la película depositada en sustrato de vidrio como de acetato.

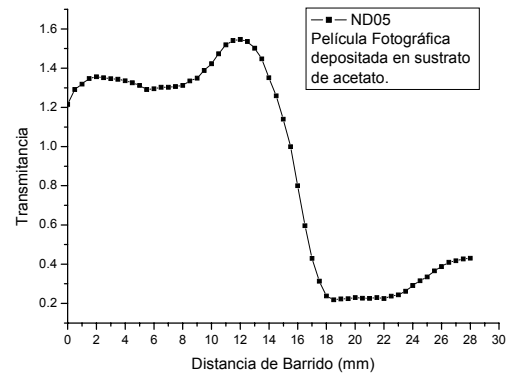
Al medir directamente la potencia de entrada a la muestra y después de ella, se puede concluir (y calcular utilizando la ley de Beer) que la película fotográfica depositada en sustrato de acetato tiene un coeficiente de absorción α_I más grande que la película depositada en sustrato de vidrio.

En las gráficas 1 y 2 observamos el comportamiento no lineal que tiene la película fotográfica depositada en sustrato de vidrio y en el de acetato, con una potencia de entrada a la muestra de 2.15mW se observa que se presenta una no-linealidad con signo negativo para ambos casos y una variación en la magnitud del 27% para la película depositada en vidrio y una variación del 73% para la depositada en sustrato de acetato.



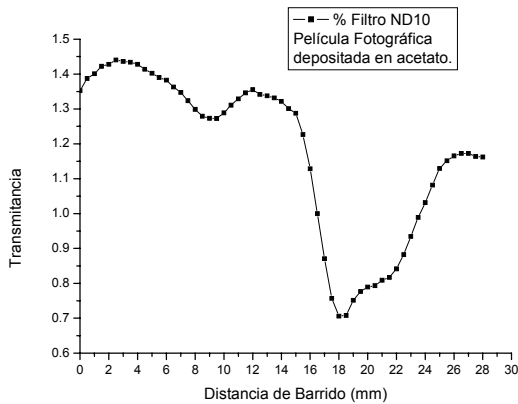
Gráfica 1. Resultados de la Película Fotográfica depositada en vidrio mostrando una no-linealidad negativa y cambios en ΔT del 27%.

En las gráficas 3 y 4 se observa la no-linealidad negativa presentada por la película fotográfica (en sustrato de vidrio y de acetato, respectivamente) con una potencia de entrada a la muestra de 8.4

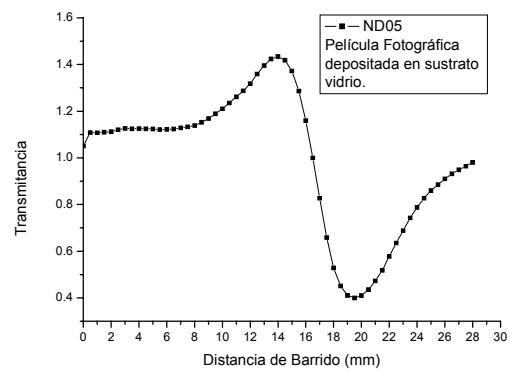


mW (ND05) y con valores de ΔT de 1.034 y de 1.645.

Gráfica 3. Resultados de la Película Fotográfica depositada en vidrio mostrando una no-linealidad negativa y un $\Delta T = 1.034$.



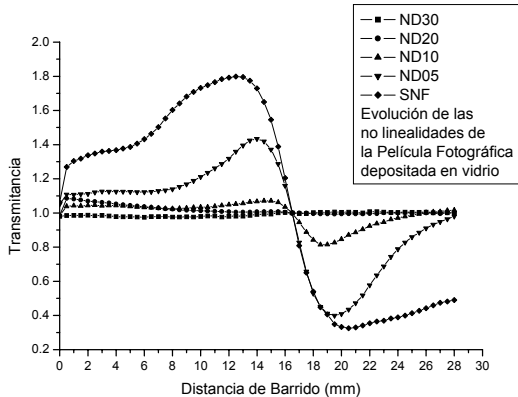
Gráfica 2. Resultados de la Película Fotográfica depositada en acetato mostrando una no-linealidad negativa y cambios en ΔT del 73%.



Gráfica 4. Resultados de la Película Fotográfica depositada en acetato mostrando una no-linealidad negativa y un $\Delta T = 1.645$.



Por último en las gráficas 5 y 6 presentamos una familia de curvas en la cual podemos observar la evolución de las características no lineales para la película en sus diferentes sustratos. Es fácil observar que en la película depositada en vidrio se observan no-linealidades más fuertes que en la



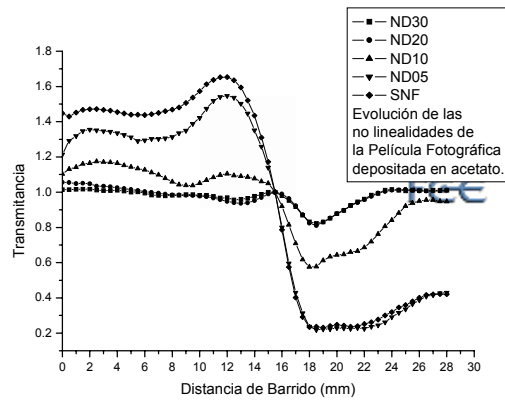
película depositada en el sustrato de acetato.

Gráfica 5. Evolución de las no-linealidades de la película fotográfica depositada en vidrio.

Gráfica 6. Evolución de las no-linealidades de la película fotográfica depositada en acetato.

3. CONCLUSIONES

Al mencionar las conclusiones de este trabajo podemos decir que está técnica es sencilla de implementar por que se requiere una sola fuente basta; así como también los requerimientos en equipo para estos experimentos son de bajo costo y de fácil obtención. La implementación de la técnica es sencilla y fácil de manejar.



Se observa que para la película caracterizada podemos observar no linealidades con potencias ópticas mayores a 2 mW y cambios en las variaciones de la transmitancia de hasta dos ordenes de magnitud.

La película depositada en ambos sustratos mostró no-linealidades con signo negativo y una evolución bastante notoria conforme se aumentaba la potencia del sistema.

Es importante mencionar que para obtener buenos resultados, el sistema debe de estar adecuadamente alineado sin la presencia de la muestra a caracterizar; un parámetro importante que hay que cuidar es el tomar en cuenta en que sustrato está depositada la muestra, ya que este puede producir reflexiones que pueden afectar al laser y al mismo tiempo se pueden observar al graficar los datos obtenidos.

4. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al grupo de fotónica del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) por facilitarnos sus instalaciones para realizar estos experimentos y en especial la asesoría de los doctores David Iturbe Castillo y Rubén Ramos García.

REFERENCIAS

Artículos de Journal:

- [1] P.B. Chapple, J. Staromlynska, J.A. Hermann & T.J. McKay, *Single-beam Z-scan: measurements techniques and analysis*, *Journal of Nonlinear Optics Physics and Materials*, 6(4), 1997, 251-293.
- [2] M. Sheik-Bahae, A. A. Said and E. W. Van Stryland, *Opt. Lett.* 14, 955-957 (1989).
- [3] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T. H. Wei, D. J. Hagan and E. W. Van Stryland, *IEEE J: Quantum Electron.* 26, 760-769 (1990).

