

Fabricación de hologramas con un láser sintonizable pulsado

M. Fernández Guasti, D. Iturbe Castillo, A. Silva Pérez,
A. Gil Villegas, H. González Torres y R. López Guerrero

*Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa,
Apartado postal 55-534, 09340 México, D.F.*

(Recibido el 5 de enero de 1989; aceptado el 12 de abril de 1989)

Resumen. Se reporta la fabricación de hologramas utilizando como fuente de iluminación un láser sintonizable de pigmento excitado por un láser de nitrógeno molecular, este último inherentemente pulsado. Se discuten distintas ventajas y posibilidades de los hologramas hechos con una fuente luminosa pulsada y en particular se muestra la obtención de hologramas de objetos en movimiento que son imposibles de realizar con láseres de emisión continua. Los láseres utilizados para estos experimentos fueron diseñados y construidos en el laboratorio de Óptica Cuántica de la Universidad Autónoma Metropolitana

PACS: 42.40.Kw; 42.40.Ht

1. Introducción

El presente trabajo describe y reporta la posibilidad de aplicar la técnica holográfica realizada con láseres continuos, pero utilizando ahora láseres pulsados. En particular se muestra un láser de pigmento orgánico excitado por un láser de nitrógeno molecular, ambos construidos en nuestro laboratorio. Más aún, se demuestra la posibilidad de implementar técnicas holográficas que no son factibles para sistemas de láser continuos.

En 1965 [1] se realizaron los primeros hologramas con láseres pulsados, desde entonces se han utilizado diversas técnicas pulsadas en el análisis de un número creciente de fenómenos, por ejemplo, en análisis estructural, visualización de flujos, biomecánica, análisis de campos de partículas, etc. [2,3,4]. Los láseres más comúnmente usados en holografía pulsada son el de rubí y el de Nd:YAG doblado en frecuencia; sin embargo, también se han utilizado láseres sintonizables de pigmento pulsados, aunque las técnicas en estos últimos no han sido plenamente dominadas [5,6].

Los principales criterios necesarios para poder utilizar láseres pulsados como fuentes para hacer hologramas son los siguientes:

i) Longitud de coherencia adecuada para producir un patrón de interferencia estacionaria en la duración del pulso.

• ii) Suficiente energía por pulso y longitud de onda adecuada para sensibilizar la placa holográfica.

iii) Duración adecuada del pulso para la técnica holográfica específica.

Los láseres sintonizables de pigmento ofrecen la máxima flexibilidad con respecto a los criterios antes mencionados, de ahí que resulten sistemas atractivos para obtener hologramas pulsados. La estructura de este trabajo es la siguiente: en la Sec. 2 describimos la técnica de la holografía pulsada. En la Sec. 3 reportamos los experimentos preliminares. En la Sec. 4 presentamos nuestro arreglo experimental y los resultados obtenidos. En la última Sección evaluamos dichos resultados.

2. Técnica de holografía pulsada

La holografía convencional requiere de arreglos muy estables debido a que la frecuencia espacial de un holograma (expresada en unidades inversas de longitud) tiene un valor típico de 1000 líneas/mm. Cualquier variación del orden de micras en: i) la posición del objeto, ii) los haces que interfieren o iii), la placa holográfica, produce el borrado de las franjas del patrón de interferencia que forman el holograma. Por esta razón, es necesario un sistema que permita gran estabilidad durante el proceso de grabado (en especial las mesas holográficas). Asimismo, sólo es posible hacer hologramas de objetos estáticos, lo cual frecuentemente es una limitación severa, como en el caso de flujos de líquidos o de seres vivos. Con el uso de láseres pulsados excitados por nitrógeno, los requerimientos de gran estabilidad no son necesarios durante el proceso holográfico ya que la duración del pulso es de aproximadamente 6 ns, tiempo durante el cual prácticamente cualquier objeto se mantiene inmóvil. A manera de ejemplo, considérese que un objeto que se mueve a una velocidad de 1.5 m/s, en un tiempo de 6 ns se desplaza 0.01μ aproximadamente, esta distancia es mucho menor que la longitud de onda de la luz visible, para la cual se puede considerar un valor típico de 0.5μ . El análogo fotográfico sucede cuando se "congela" la imagen de un objeto en movimiento utilizando un destello luminoso (flash), es decir, una fuente de luz pulsada, para que el grabado de la imagen resulte nítido. En el caso holográfico el resultado es mucho más extremo, pues si no se congela la imagen no se logra grabar el patrón de interferencia necesario para reproducirla. Es por ello que se requiere del uso de una fuente cuyos pulsos sean de una duración suficientemente corta para garantizar el grabado del patrón de interferencia.

Considerando lo dicho anteriormente, es claro que la técnica pulsada permite hacer hologramas de fenómenos dinámicos y objetos en movimiento (como son flujos no estables y formación de gotas), hologramas de objetos como tornos y maquinaria grande, los cuales no resulta práctico montar sobre una mesa holográfica, organismos vivos que pueden ser desde insectos hasta seres humanos, etcétera. Por otro lado, esta técnica permite que los sistemas de montaje sean más versátiles y transportables, además de que en algunos casos se puede reducir el costo del proceso pues las componentes muy estables no son necesarias.

3. Experimentos preliminares

Como fuente luminosa se utilizó un láser de pigmento excitado por un láser de nitrógeno molecular. Los láseres de bombeo, diseñados y construidos en la UAM-Iztapalapa [7], emiten pulsos en el ultravioleta a una longitud de onda de 337 nm, con una energía típica entre 0.5 y 3.0 mJ y una duración aproximada de 5 a 10 ns.

Los láseres de pigmento son sintonizables, es decir, se puede variar la longitud de onda de emisión dentro de cierto rango que va de acuerdo al tipo de pigmento que se esté usando como medio activo. Dado que el pigmento es excitado por pulsos, éste también emite de manera discreta. El tiempo de emisión de un pulso es de aproximadamente 6 ns y la eficiencia de conversión de UV a visible es de aproximadamente 10%, lo que implica una energía mínima de alrededor de 50 μ J por pulso.

Para estos experimentos se usaron tres pigmentos; coumarina 503, rodamina 610 y azul nilo 690, la longitud de onda de emisión para el primero abarca de 480 a 540 nm, para el segundo 574 a 640 nm y para el tercero 660 a 710 nm [8]. El láser de pigmento construido para este trabajo [9,10] tiene un menor ancho de banda, y por lo tanto, mayor coherencia, para ángulos muy rasantes de incidencia en la rejilla de difracción intracavidad. La potencia máxima en un sistema de este tipo se obtiene a 12 mrad de incidencia en la rejilla y el ancho de banda en este caso es de 0.3 cm^{-1} . Utilizando 7 mrad de incidencia se obtiene un ancho de banda de 0.23 cm^{-1} , sin embargo, la potencia del láser se reduce en una tercera parte respecto al caso anterior [11]. Estos resultados experimentales son consistentes con la resolución teórica obtenida por uno de los autores para rejillas de difracción a ángulo rasante [11]. Por esta razón, utilizamos un ángulo de incidencia de 9 mrad que fue lo más rasante posible sin reducir notablemente la potencia de emisión.

Se determinó la coherencia del láser de pigmento por medio de un interferómetro Michelson, obteniendo una longitud de coherencia de 1.25 cm, empleándose para esto coumarina 503.

Dada la escasa duración de los pulsos y su energía limitada, fue necesario encontrar primero la densidad de energía adecuada para sensibilizar la película. Se utilizó película holográfica rápida Agfa-gevaert 10E75. Esta película requiere, según datos del fabricante, una densidad de energía de 20 ergs/cm^2 a 632 nm para obtener una densidad neutral de 1.0. Se montó un arreglo con una lente para producir un haz divergente y se expusieron películas a distintas distancias. De esta manera se determinó que la película sí es sensible a este tipo de pulsos y el área del haz directo del láser de pigmento que produce una exposición adecuada es de 3 cm^2 , aproximadamente. Esto implica una densidad de energía de 300 ergs/cm^2 , valor muy por arriba del dato reportado por el fabricante; consideramos que esta discrepancia se debió a la diferencia de longitudes de onda y al tiempo tan reducido de la exposición. El proceso de revelado se llevó a cabo de manera convencional [12]. En algunos casos fue necesario blanquear la película con una solución de ferricianuro en agua durante 30's para aumentar su transmitancia.

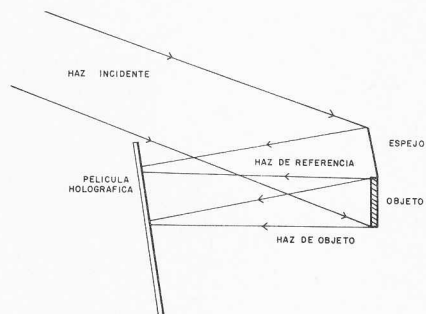


FIGURA 1. Arreglo esquemático para la formación de hologramas utilizando in mínimo de componentes ópticos.

4. Obtención de hologramas pulsados

Se montó un arreglo para obtener rejillas de difracción por interferencia de dos haces, pues son los hologramas más simples de hacer. Para el montaje se utilizaron dos espejos colocados de tal manera que interceptaran cada uno la mitad del haz reflejándolo a la placa fotográfica. Se obtuvieron rejillas de calidad razonable con una eficiencia de difracción de 5% en primer orden. Se procedió entonces a obtener el holograma de un objeto sustituyendo uno de los espejos del arreglo de la rejilla por dicho objeto como se muestra en la Fig. 1. Debido a que la energía del láser de pigmento es pequeña, se usó este arreglo para no perder intensidad manteniendo al mínimo los componentes ópticos (lentes, objetivos, divisores de haz, aperturas, etc.). También se requirió que el objeto reflejase suficiente luz, por ello se usó una moneda y un pequeño dado cubierto con papel aluminio. Cabe aclarar que la mesa donde estaba montado todo el arreglo era muy inestable, tanto el láser de bombeo como el de pigmento estaban en una mesa aparte; sin embargo, los resultados obtenidos fueron exitosos, pues se obtuvieron hologramas de baja eficiencia, pero en los que se distingue claramente el objeto.

Para demostrar la potencialidad de la holografía pulsada fue necesario obtener el holograma de un objeto en movimiento. Como objeto se escogió una gota en caída libre saliendo de una oliva de tubería. Para ajustar la velocidad de salida de las gotas (número de gotas/seg) se utilizó una llave, llegando a concluir que la velocidad ideal era la mayor posible antes de producirse un flujo continuo, el fluido que alimentaba esta oliva fue agua teñida de blanco con un colorante, con el propósito de que la gota dispersara la luz lo más posible, por la misma razón se pintaron de blanco la oliva y el conector.

El arreglo que se utilizó contaba con los siguientes elementos ópticos: en la trayectoria del haz del láser de pigmento se colocó un plano óptico, que transmite 92% y refleja 8% de la luz incidente, de tal forma que la salida de los haces fuera en

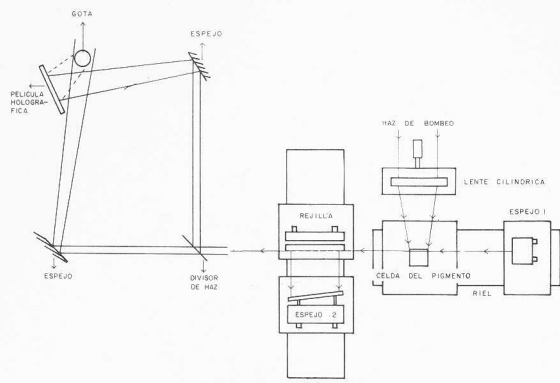


FIGURA 2. Arreglo esquemático utilizado para realizar los hologramas de diversas gotas.

forma perpendicular y mediante espejos se dirigió al haz intenso directamente hacia la gota (haz de objeto) y el restante 8% de la luz inicial directamente hacia la película (haz de referencia), como se muestra en la Fig. 2. Se utilizó como pigmento azul nilo sintonizado en 690 nm, ya que la película tiene su máxima sensibilidad en esa región del espectro [13]. En las Figs. 3 y 4, se muestran fotografías del objeto original y del holograma del objeto, respectivamente. En este caso se aprecia el momento de formación de la gota en el cuello de la oliva. En las Figs. 5 y 6 se muestran fotografías del objeto original y del holograma cuando la gota está en plena caída; nótese que en la fotografía de la gota (Fig. 5), el objeto sale corrido debido a la velocidad del mismo. Sin embargo, en el holograma la gota en movimiento se observa nítidamente (Fig. 6). En estas últimas dos figuras se introdujo un conector de aguja para jeringa a la oliva, con el propósito de reducir el diámetro por donde salía la gota, el cual fue de 0.8 mm.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos, que no habían sido previamente realizados en México, demuestran la posibilidad de hacer hologramas pulsados de objetos en movimiento con los láseres sintonizables de pigmento. La holografía pulsada nos permite explorar áreas importantes que no se han estudiado previamente en nuestro país con esta técnica de alta resolución, como son la biomecánica y el análisis estructural. El uso de láseres fabricados en México aunado al desarrollo de medios de grabado que están llevando a cabo otros grupos de óptica en el país, nos permitirán tener un sistema holográfico con instrumental enteramente nacional.

Las limitaciones actuales son las siguientes:

i) La potencia del sistema de láseres es muy baja y sólo permite hacer hologramas de objetos pequeños (típicamente 1 cm^2).

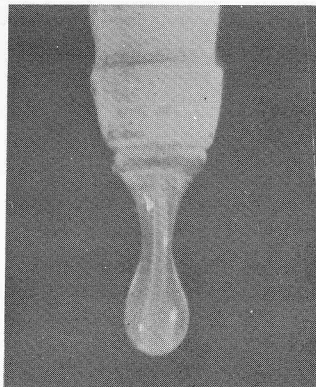


FIGURA 3. Fotografía del objeto utilizado, en este caso, oliva y gota en formación.

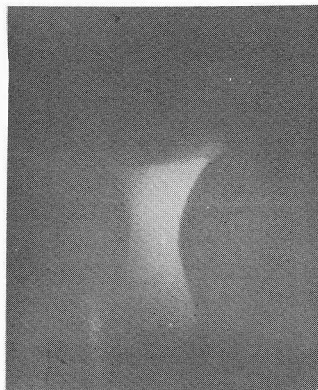


FIGURA 4. Fotografía del holograma de la gota en formación.

ii) La coherencia del láser sintonizable es de 1.25 cm de manera que la profundidad del objeto está limitada a la mitad de dicha distancia aproximadamente.

Estos problemas pueden ser superados utilizando un bombeo más intenso y usando la rejilla del láser de pigmento en un ángulo más rasante o utilizando un láser de pigmento de dos etapas.

Finalmente, hasta donde se sabe, es la primera vez que este tipo de hologramas se realizan en nuestro país y más aún, como mencionamos anteriormente los láseres de nitrógeno y pigmento que se utilizaron no son comerciales; son láseres diseñados y construidos íntegramente en nuestro plantel.

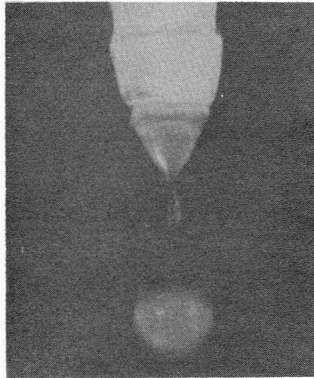


FIGURA 5. Fotografía del objeto utilizado, en este caso, oliva y gota en caída libre. Nótese la imagen de la gota barrida de arriba hacia abajo debido a su velocidad.

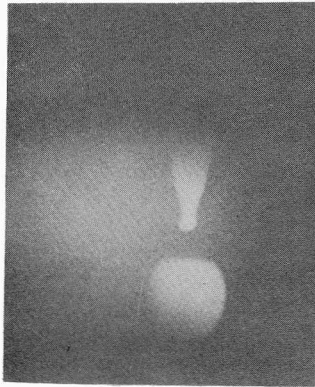


FIGURA 6. Fotografía del holograma de la gota en caída libre. La nitidez de la imagen es notable.

Referencias

1. R.T. Pitlak, R. Page, *Optical Engineering*, **24** 4(1965) 639.
2. D.A. Ansley *Pulsed laser holography, with TEM mode Ruby laser. Applications of holography*. Plenum Press, N.Y. (1971), p.141.
3. R.M. Gagosz, G.L. Whitney, F. Michael, Single pulse holographic flow visualization. *Proc. of the Eng. App. of holography simposium*. LA, Calif., TRW systems group (1972) p. 251.
4. R.E. Brooks, L.O. Heflinger, R.F. Wueker. *IEEE J. of Quantum Electronics*, **QE-2** (1966) 275.
5. Y.I. Ostrovsky, M.M. Butusov G.V. Ostrovskya. *Interferometry by holography*. Springer-Verlag, Berlin (1980) p. 97.

6. R.F. Wuerker. *Experimental aspects of holographic interferometry. Applications of holography*. Plenum Press, N.Y. (1971), p.127.
7. M. Fernández Guasti, D. Iturbe Castillo, A. Silva Pérez. Láser de nitrógeno (trabajo en preparación).
8. Catálogo *Laser dyes* Exiton Chemical Company Inc., P.O. Box 31126, Overlook Station, Dayton, Ohio 45431.
9. M. Fernández. *Láser de pigmento*. Simp. de Instrumentación. Ciudad Universitaria, UNAM (1984), p.1.
10. R.S. Cudney. *Diseño y construcción de un láser de pigmento*. Reporte Interno. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (1986) p.30.
11. M. Fernández, D. Phil. Thesis, Oxford University (1983).
12. L. Escobar. *Holografía*. Reporte Interno. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (1986), p.38.
13. Technical Information, Scientific Photography, Agfa-gevaert (1972).

Abstract. We report the obtention of holograms with a Nitrogen pumped dye laser, whose source is inherently pulsed. We review the advantages and possibilities of holograms made with a pulsed source, and in particular we demonstrate the feasibility of holograms of moving objects which are impossible to make with CW lasers. The lasers used in these experiments were designed and built in the Quantum Optics Laboratory at the Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.