

# REVISION BIBLIOGRAFICA SOBRE MATERIALES DE REGISTRO HOLOGRAFICO

Rosalina Reyes<sup>1</sup> y Lisset Rubiera<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría"

<sup>2</sup>Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

## RESUMEN

En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica sobre los materiales de registro holográfico comúnmente empleados. Para ello se utilizaron como fuentes de referencia, artículos publicados en revistas especializadas en Óptica y textos básicos de Holografía. Esta revisión puede aportar elementos de interés para la selección del medio de registro a utilizar para determinada aplicación.

## ABSTRACT

A review about the holographic recording material usually employed, is presented in this paper. Books and articles published about Optics and Holography were used as bibliographic reference source. This review can help in the selection of the recording material more appropriate for a definite application.

## INTRODUCCION

Los primeros trabajos realizados en Holografía fueron reportados en 1948 por el físico británico Denis Gabor. El propuso un nuevo procedimiento de formación de imágenes, sin lentes, que llamó "Reconstrucción del frente de onda" [1]. La meta inicial de Gabor fue perfeccionar los principios de la microscopía electrónica aplicando el ya mencionado procedimiento [2-3].

La ausencia de una fuente de luz con intensidad y longitud de coherencia adecuadas para la Holografía, debido a la propia tecnología de la época, frenaron el desarrollo de esta novedosa técnica.

La invención del láser como una fuente de luz coherente, constituyó el punto de partida necesario para revitalizar la Holografía. Fueron los científicos norteamericanos de la Universidad de Michigan, E. Leith y J. Upatnieks (1962) los que utilizando este nuevo acontecimiento, modificaron y perfeccionaron el sistema abriendo las puertas al desarrollo ulterior de la Holografía y sus aplicaciones [4-6].

Desde sus inicios, la Holografía ha tenido la interrogante de qué materiales usar para el registro. Un material ideal sería aquel que posea las siguientes características:

- Sensibilidad con amplio espectro a la radiación láser.
- Alta resolución para grabar franjas de interferencia.
- Función de transferencia lineal para reproducir una buena imagen del patrón.
- Indefinidamente reciclable.
- Grandes áreas.

En la actualidad el material que cumple todas estas características no existe, razón por la cual la aplicación es quien determina el medio de registro a emplear y como consecuencia de esto se ha desarrollado un conjunto de dichos materiales, algunos de los cuales serán presentados en este trabajo.

## DESARROLLO

### Gelatina Dicromada

Este tipo de emulsión se desarrolló como una forma de resolver el problema del tamaño finito del grano de las emulsiones de haluros de plata. En este caso se tiene una capa de gelatina en la que se introducen iones de  $\text{Cr}^{+3}$  que son sensibles a la luz. Los iones que absorben luz van a modificar la gelatina en su vecindad, de modo que se obtiene finalmente una modulación del índice de refracción en dicha gelatina. La sensibilidad de este medio de registro es menor que en el caso de las emulsiones de haluros de plata y llega hasta el extremo verde-azul del espectro visible (250.0-520.0nm). Es un material ortocromático. De especial atención es el sellado de estas emulsiones después de ser procesadas para garantizar que permanezcan de forma inalterada.

La gelatina dicromada ha sido empleada por diferentes investigadores [7-13].

Una mezcla de malaquita verde y amonio dicromado fue usada por Solano y Lessard [9] para fotosensibilizar filmes de gelatina (BDH B.44045). Cuando este material es irradiado con luz polarizada, se induce una anisotropía con eje óptico paralelo al vector campo eléctrico de la vibración

incidente. Después de un adecuado revelado del material, las partes que manifestaron anisotropía presentan un cambio en el índice de refracción de la gelatina independientemente de la orientación del eje óptico de la parte expuesta. De este modo, la gelatina fue usada para grabar patrones de interferencia. Cuando los dos rayos coherentes utilizados para el registro forman un ángulo de  $90^\circ$  respecto a su polarización, la frecuencia espacial de la red de fase resultante es dos veces la presentada cuando dicho ángulo es  $0^\circ$  [9].

Según refieren Tharayil G. Georgekutty y Huan-Kuang Liu [10], el proceso para obtener hologramas en gelatina dicromada (GDC) es tedioso e implica un consumo grande de tiempo, aproximadamente de 12 horas. Además, la omisión de alguno de los pasos esenciales para la síntesis holográfica, hace imposible la obtención del holograma. Por todo esto, a pesar de la alta eficiencia y la alta relación señal-ruido, pocos laboratorios hacen hologramas en GDC. Un método simplificado para obtener elementos ópticos holográficos (HOE) utilizando este material, fue descrito por G. Tharayil y colaboradores [10]. Dicho método es mucho menos tedioso y requiere un período de tiempo de procesamiento comparado con el empleado en hologramas registrados en haluros de plata. Con este método es posible registrar redes de difracción planas con una alta eficiencia de difracción.

Un trabajo para resolver algunos problemas en la interesante área del procesamiento de redes de reflexión registradas en GDC, fue realizado por Keinonen y Salminen [11]. En el estudio se midió la eficiencia de las redes bajo diferentes condiciones: variación de la concentración del sensibilizador utilizado (dicromato de amonio), distintos ángulos de reconstrucción, en el proceso de revelado se varió el tiempo de enjuague, el intervalo de tiempo entre el enjuague y el baño en isopropanol, y la duración de este último. Finalmente, las características de las redes fueron probadas variando la geometría utilizada para el registro.

Z. N. Kalyashova, et al. [13], reportan altos valores de sensibilidad en el proceso de optimización de las características de capas de gelatina dicromada, utilizando radiación continua y pulsada. Los resultados son obtenidos para hologramas de volumen de fase y de relieve de fase.

### Termoplásticos

En este tipo de material se utiliza un plástico cuya superficie puede cargarse con una distribución uniforme de carga eléctrica. La recombinación de las cargas es directamente proporcional a la cantidad de luz incidente sobre el material, de modo que la distribución de ellas reproduce la distribución de iluminación incidente. Para *revelar* este material,

esto es, para lograr que esta distribución de cargas se traduzca en un cambio estable, se calienta el material hasta el punto de ablandamiento, con lo que en las zonas donde hay mayor concentración de dichas cargas, la fuerza entre ellas en las dos caras es mayor y por consiguiente habrá mayor deformación.

La distribución de cargas se traduce en una modulación del espesor de la emulsión. Este tipo de material produce hologramas con modulación de superficie solamente, por lo que no es adecuado para hologramas de reflexión. Una ventaja importante es que no requiere de procesamiento químico.

El proceso para registrar un holograma en estos materiales requiere de las siguientes etapas:

- Carga eléctrica uniforme de la placa.
- Exposición a la luz, que redistribuye la carga superficial.
- Recarga eléctrica para intensificar el campo eléctrico.
- "Revelado", por calentamiento de la placa que se deforma proporcionalmente a la carga acumulada.
- Borrado, por nuevo calentamiento.

El nivel de exposición requerido es de  $100 \text{ erg/cm}^2$ , que es del mismo orden que en una emulsión de haluros de plata. Por necesitarse sólo calor para "revelar" la emulsión, el proceso puede realizarse sin mover la placa sensible del montaje, lo que lo hace especialmente atractivo para el caso de Interferometría. Cada placa puede utilizarse por lo menos para unos 300 ciclos de exposición.

Entre las aplicaciones de este medio de registro holográfico, tenemos el grabado de microhologramas locales en discos fototermoplásticos en movimiento [14]. Kutanov, et al., reportan la obtención de hologramas bidimensionales en régimen de paso por paso y hologramas unidimensionales. El calentamiento del disco fototermoplástico, se realiza con láser infrarrojo. Se requiere un movimiento con velocidad lineal del disco, así como una estabilización total de su superficie. Con este trabajo, se obtiene por primera vez el grabado de un microholograma en la superficie total de un disco fototermoplástico [14].

Kinoshita reporta un novedoso uso de las placas termoplásticas [15], esto es, el registro de estereogramas holográficos (SH) regrabables. Esta aplicación hace posible el control automático de todo el proceso de síntesis de SH sin necesidad de revelado químico, siendo esto una fuente muy valiosa para el muestreo tridimensional. En este trabajo, el registro de SH se realizó en placas termoplásticas de  $76 \times 76 \text{ mm}^2$  y en un tiempo de 130 s, usando un panel de cristal líquido como

modulador espacial de luz con un barrido de 300 cuadros por imagen. Las placas termoplásticas tienen la capacidad de ser usadas más de 20 veces para la síntesis de SH. Utilizando un láser de He-Ne, se puede observar con buen efecto estereoscópico la imagen reconstruida [15].

### Fotopolímeros

En una emulsión de fotopolímeros, se tiene una mezcla de monómeros en los que la reacción de polimerización es catalizada por la luz. Además de los monómeros, se incluyen en la emulsión sensibilizadores, los que contribuyen a la iniciación de las reacciones de polimerización. La exposición a la luz en la que se tienen variaciones de intensidad, resulta en un volumen en el que el grado de polimerización depende directamente del nivel de exposición, y por ende, se logra una modulación del índice de refracción. Por tratarse de un medio prácticamente continuo, la difusión de luz por parte del holograma casi no existe. Comparado con una emulsión de haluros de plata, la sensibilidad de los fotopolímeros es mucho menor, aunque han surgido avances importantes en estos materiales. Este tipo de medio de registro es especialmente útil para hacer hologramas de reflexión, que son de alta eficiencia y muy bajo ruido (muy poca difusión de luz parásita).

Fuentes, et al. [16], reportan el uso de un fotopolímero con colorante sensibilizador como medio de registro para Interferometría en tiempo real. El fotopolímero con colorante sensibilizador es una mezcla de monómeros acrílicos solubles en agua, un catalizador y un colorante sensibilizador. Las moléculas de colorante fotoexcitadas reaccionan con el catalizador produciendo radicales libres, los cuales inician la polimerización de los monómeros. El fenómeno de difusión molecular influye en la modulación del índice de refracción. Dado que el sistema es inicialmente un líquido poco viscoso, las muestras son uniformemente pre-expuestas para obtener el grabado estable de un holograma [16].

El fotopolímero es autorevelable, el holograma se fija rápidamente en la placa con una lámpara de destello para descomponer el agente sensibilizador y detener la polimerización. La alta capacidad de modulación del índice de refracción de estos materiales, permite obtener interferogramas de alta calidad con láseres de potencia relativamente baja. En este trabajo [16] se realiza un experimento de Interferometría holográfica utilizando un láser de emisión continua. En dicho experimento se estudia el área central de un objeto parabólico sometido a distorsión, bajo condiciones de presión constante.

El uso de un fotopolímero de respuesta óptica no lineal para el almacenamiento reversible de datos ópticos, se reporta por Kim, et al. [17]. Los autores realizan el estudio de la orientación fotoinducida y el

registro de redes holográficas borrables en un nuevo fotopolímero amorfo, que contiene grupos de azobenceno. Se utiliza luz blanca linealmente polarizada y un láser de argón de 488 nm, con lo cual es posible observar la orientación de estos grupos de azobenceno en la dirección perpendicular a la incidencia de la luz polarizada en la capa de polímeros. La utilización del láser de argón (polarizado) permite el registro de redes holográficas con alta eficiencia de difracción, estas redes fueron estabilizadas en una cámara de temperatura. En el trabajo se investiga [17] el grabado de múltiples redes sobre la misma área. Esto se realizó 50 veces.

Los hologramas de volumen pueden ser registrados en capas líquidas fotopolimerizables [18]. Se realiza un análisis termodinámico de la formación de dichos hologramas en estas capas compuestas por un monómero polimerizable y un solvente. Boiko et al., demuestran que este análisis en la formación de hologramas estables e inestables fotoquímicamente en el mecanismo de registro difusivo, puede hacerse si se adopta el carácter microheterogéneo de la fotopolimerización. En el trabajo [18], se formula el basamento teórico para la selección de composición del material de grabado. Otros aspectos de interés de este material pueden encontrarse en las referencias [19-22].

### Fotorrefractivos

Los cristales fotorrefractivos (CFR), constituyen un medio de registro holográfico que puede ser utilizado un número teóricamente infinito de veces y que no requiere ningún procesamiento adicional (revelado, fijado, otros).

Los hologramas se forman directamente en los CFR por medio de la luz incidente y además, pueden ser borrados ópticamente. La luz induce una redistribución de las cargas dentro del cristal, de modo que en cierto tiempo característico, se establece un equilibrio dinámico entre la distribución de intensidad de la luz de registro y la distribución interna de las cargas eléctricas. La variación de la distribución de dichas cargas provoca a su vez, una variación en el índice de refracción del cristal mediante el efecto electro-óptico, dando lugar a la formación de un holograma de volumen y de fase.

En 1976, J. P. Huignard y F. Micherón reportaron los cristales  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  (BSO) y  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  (BGO) como los de mejor sensibilidad para el registro de hologramas de volumen de lectura-escritura ( $S^{-1} \sim 300 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ ) combinado con su alta calidad de reconstrucción de imágenes [23].

Una década después, Vachss realizó un desarrollo teórico para obtener la expresión analítica de la respuesta holográfica de estos sistemas anisótropos (BSO y BGO) [24].

Alfred E. Attard presenta una evidencia que corrobora la teoría de que el apantallamiento de las cargas ligadas que forman la red de fase en CFR puede ocurrir como resultado de la fotoexcitación de los portadores de carga [25].

Un análisis comparativo de diferentes técnicas para la lectura continuada de hologramas de volumen puede encontrarse en la literatura [26]. También se presenta el uso de un interferómetro adaptativo para el análisis de vibraciones y desplazamientos de objetos reales, empleando un cristal fotorrefractivo  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  (BTO). Este material exhibe la mayor eficiencia holográfica en CFR conocida hasta 1989 para el grabado con láser continuo en la región roja del espectro. Es muy importante señalar la capacidad de estos cristales para convertir las variaciones de fase de los haces luminosos a registrar en variaciones de intensidad.

El estudio de las propiedades elásticas de distintas familias de materiales sólidos, puede realizarse usando un sistema automático de Interferometría holográfica, que emplea como medio de registro un cristal fotorrefractivo BTO [27]. Esto permite estudiar entre otras características el módulo de Young de una placa plano paralela fija en un extremo al cual se le aplica una fuerza en el extremo libre [27].

Otra de las aplicaciones de los CFR es constituir espejos holográficos no lineales para medios activos en láseres de vapores de cobre. Esto se estudia teórica y experimentalmente para un cristal de Niobato de Litio [28].

El uso de un cristal fotorrefractivo BTO para el estudio de la correlación óptica holográfica en tiempo real en una longitud de onda de 632.8 nm, es reportado por Faria et al. [29]. Los experimentos realizados se basaron en la propiedad de autodifracción anisotrópica de los CFR. La acción del correlador desarrollado se evalúa por medio de un sistema simple y fácil de controlar.

Dos Santos y Acioly reportan resultados experimentales de las mediciones en un CFR BTO, de su eficiencia cuántica, longitud de difusión y densidad de trampas, para una longitud de onda de 632.8 nm, utilizando el concepto de autodifracción anisotrópica [30].

La iluminación homogénea de un cristal de Titanato de Bario ( $\text{BaTiO}_3$ ) utilizando una fuente pulsada de luz verde, permite el registro en este material de una red holográfica con pulso de luz infrarroja [31]. La red registrada, puede leerse de forma no destructiva con luz infrarroja y borrada con luz verde. Los resultados que se obtienen en el trabajo [31], confirman sólidamente el modelo de dos centros propuesto para el transporte de cargas en un cristal de  $\text{BaTiO}_3$ .

La presencia de los efectos cuasipermanentes fotocromico y fotorrefractivo de huecos en cristal BTO, para una radiación de longitud de onda de 514.5 nm ha sido reportada por J. Frejlich y P. M. García [32]. Los resultados obtenidos por los autores, demuestran la naturaleza compleja del registro en BTO y las capacidades de grabado estabilizado y del mezclado de dos ondas selectivas para la investigación fundamental y aplicada en CFR.

Soutar et al., presentan un análisis experimental y sus resultados acerca de la influencia del sesgo óptico en las características de transiente (transitorias) de redes formadas en un cristal BSO [33]. Se evidencia la existencia de un máximo transiente y la posibilidad de controlarlo por un ajuste adecuado de las intensidades relativas de los haces ópticos empleados.

Otros trabajos de interés donde se ha aplicado este medio de registro pueden encontrarse en las referencias [34-35].

### Fotorresinas

Este tipo de material de registro tiene la propiedad de comportarse como soluble (positiva) o insoluble (negativa) en un solvente orgánico, después de ser expuesta a radiación luminosa de onda corta. El espesor de la capa de fotorresina es aproximadamente de  $1\mu\text{m}$ , los niveles de exposición son del orden de  $100\text{ mJ/cm}^2$ .

En 1973, Zecht et al. [36] presentan la preparación, uso y propiedades generales de una nueva fotorresina procesada con calor, con vistas a su aplicación como medio de almacenamiento de datos en Holografía.

Gerritsen et al. [37], reportan la producción holográfica de redes de difracción de relieve en una fotorresina positiva Shipley 1400-31 y el moldeado de éstas con resina epóxica. La eficiencia de difracción de las redes en la resina epóxica fue medida cuando el medio sobre la cara opuesta del perfil de relieve fue respectivamente, aire, agua, mezclas de disulfuro carbón-benceno y nitrosodimetilanilina sólida. Se obtuvo una alta dispersión de la red con deposición de anilina, lo cual provocó gran eficiencia de difracción en el verde y una pequeña eficiencia en el resto del espectro [37].

Mack [38], muestra un estudio de la absorción y de los resultados de la medición de este parámetro en diferentes tipos de fotorresinas positivas.

Ichimura y Ohe [39] desarrollan una fotorresina con muy alta sensibilidad a la radiación del láser de  $\text{Ar}^+$ . Esto fue posible basándose en la catalización de la hidrólisis de polímeros con un ácido generado en la descomposición de la sal de diphenyliodonium (DPI).

Las fotorresinas tienen un uso muy significativo en la producción de hologramas Master para lograr posteriormente hologramas de superficie (embossed). Saxby [40] expone el método de empleo de la fotorresina para la construcción de tales hologramas y añade que este medio de registro es sensible a la radiación de 488 nm correspondiente a la emisión azul del láser de iones de Argón ( $Ar^+$ ), y a la línea violeta del láser de He-Cd (442 nm). Estos materiales no pueden ser utilizados para hacer hologramas de reflexión [40].

Se reporta el estudio del sesgo de la curva de absorción para una fotorresina Shipley 1350-J [41]. Luna Moreno *et al.*, logran correr el centro de absorción de este material desde el ultravioleta hasta la región roja del espectro. Esto se realizó utilizando tintes. Con este corrimiento el material se convierte en uno de los posibles a utilizar para lograr elementos holográficos con láser de He-Ne [41].

### Calcogenuros

Las capas de calcogenuros (ChVS) pueden ser empleadas como medio de registro holográfico; tal estudio es realizado por Robur *et al.* Estas capas de calcogenuro (como el  $As_2Se_3$ ) se utilizan para obtener hologramas de relieve de fase. Esto se basa en transformaciones fotoestructurales y el efecto de fotodopado. Dichos materiales poseen sensibilidad apropiada y alta resolución y uniformidad [43].

Los elementos ópticos de difracción han encontrado gran utilización y son muchos los campos donde ellos se aplican. La producción de estos elementos requiere una adecuada sensibilidad a la radiación láser. Se reporta el estudio de capas de calcogenuro como medio de registro, con los cuales es posible la producción de HOE [44].

### Otros materiales

En 1986, Matsumoto *et al.* desarrollaron un nuevo material holográfico: Polyvinyl-Carbazole (PVCZ). La ventaja de este material sobre la gelatina dicromada convencional, radica en su alta resistencia contra la humedad y la transparencia. Se reportan algunas propiedades ópticas y aplicaciones de estos materiales [45].

Yamagishi *et al.*, muestran el PVCZ como material factible de emplear en el registro de hologramas de volumen de fase. Este material contiene una base de un polímero, además, un iniciador y un sensibilizador. El PVCZ es sensible al láser de  $Ar^+$  y la energía de exposición es del orden de  $500 \text{ mJ/cm}^2$ , lo cual es apropiado para lograr altas eficiencias de difracción [46].

### Emulsiones de Haluros de Plata

La emulsión está constituida por un soporte que es una placa de vidrio o una lámina de plástico sobre la cual se tiene una capa de gelatina de algunos micrómetros de espesor, en la que hay una suspensión de partículas de haluros de plata, usualmente AgBr o AgI. El tamaño de los cristales de estos haluros, es de algunas decenas de nanómetros. Se incorporan además sensibilizadores en la emulsión.

Una vez expuesta la emulsión, se somete a un proceso de revelado, cuya función es convertir los cristales de haluros que absorbieron más de cuatro fotones a plata metálica. Cada cristal de haluro contiene una gran cantidad de átomos de plata, por lo que se produce una amplificación muy significativa. Una vez realizado el proceso anterior, se tiene en la emulsión una mezcla de cristales de haluros que no fueron revelados y granos de plata metálica, cuya forma es filamentaria o irregular. Por esto la transmisión de la emulsión es muy baja.

En fotografía convencional, luego del proceso de revelado, se fija la emulsión, proceso que disuelve los cristales de haluro, sin afectar los granos de plata metálica. La transmisión después del fijado es prácticamente igual. Para que este tipo de material sea utilizable en Holografía, se requiere de algún proceso adicional que aumente la transmisión. Ya sea en el caso en que se ha fijado o no la emulsión, se utilizan procesos rehalogenadores, en los que se convierte nuevamente los granos de plata a cristales de haluros de plata. Con esto se logra que el patrón de interferencia que se registró inicialmente en la emulsión se convierta en una distribución de granos de haluros de plata, esto es, se tiene una modulación del índice de refracción. En el proceso se eliminan los sintetizadores originalmente presentes en la emulsión, con lo que se logra que el resultado obtenido sea bastante estable.

Algunos trabajos en los que se han empleado materiales de haluros de plata se presentan en las referencias [47-49].

### CONCLUSIONES

El trabajo presentado permitirá a los especialistas dedicados al tema de la Holografía contar con un material que facilita el conocimiento y la comparación de las principales características de los materiales de registro holográfico más frecuentemente empleados. Lo anterior está avalado por una revisión minuciosa de 49 artículos especializados y 7 referencias generales, en las que se incluyen textos relacionados con el tema de la Holografía.

## REFERENCIAS

1. GABOR, D. (1948): "A New Microscopic Principle", **Nature**, 161, 777.
2. \_\_\_\_\_ (1949): "Microscopy by Reconstructed Wavefronts", **Proc. Roy. Soc., A**, 197, 454.
3. \_\_\_\_\_ (1961): "Microscopy by Reconstructed Wavefronts: II", **Proc. Phys. Soc., B**, 64, 449.
4. LEITH, E.N. and J. UPATNIEKS (1962): "Reconstructed Wavefronts and Communication Theory", **J. Opt. Soc. Amer.**, 52, 1123.
5. \_\_\_\_\_ (1963): "Wavefronts Reconstruction with Continuous-Tone Objects", **J. Opt. Soc. Amer.**, 53, 1377.
6. \_\_\_\_\_ (1964): "Wavefronts Reconstruction with Diffused Illumination and Three-Dimensional Objects", **J. Opt. Soc. Amer.**, 54, 1295.
7. CHANG, B.J. (1976): "Post-Processing of Developed Dichromated Gelatin Holograms", **Optics Communications**, 17(3).
8. \_\_\_\_\_ (1979): "Dichromated Gelatin for the Fabrications of Holographic Optical Elements", **Appl. Opt.**, 18, 2407-2417.
9. SOLANO, C. and R.A. LESSARD (1985): "Phase Gratings Formed by Induced Anisotropy in Dyed Gelatin Plates", **Appl. Opt.** 24(12).
10. THARAYIL, G.; GEORGEKUTTY and HUA-KUANG LIU (1987): "Simplified Dichromated Gelatin Holograms Recording Process", **Appl. Opt.**, 26(2).
11. KEINONEN, T. and O. SALMINEN (1988): "Influence of Some Development Parameters on the Reflection Grating Structure in Gelatin", **Appl. Opt.**, 27(12), 2573-2578.
12. BLAIR, L.T. and L. SOLYMAR (1991): "Double Exposure Planar Transmission Holograms Recorded in Nonlinear Dichromated Gelatin", **Appl. Opt.**, 30(7), 775.
13. KALYASHOVA, Z.N.; A.G. MICHAILOVA; A.P. PAVLOV; V.S. RYKOV and B.S. CUBA (1991): "High Sensitive Layers of Dichromated Gelatin for Hologram Recording by Continuous Wave and Pulsed Laser Radiation", **Proc. of SPIE-The International Society for Optical Engineering**, 1238, 189-194.
14. KUTANOV, ASKAR A.; ASKAR A. AKAEF; BAKTYBEK D. ABDRISEV; IGOR A. SNIMSHIKOV (1991): "Local Microholograms Recording on the Moving Photothermoplastic Disk", **Proc. of SPIE - The International Society for Optical Engineering**, 1507, 94-98.
15. KENJI KINOSHITA (1992): "Novel Use of Thermoplastic Plates for Rewritable Holographic Stereograms", **J. Appl. Phys.**, 31(5B), 1677-1681.
16. FUENTES, R.; F. MATEOS and A. FIMIA (1990): "Real Time Interferometry with a Dye-Sensitized Photopolymer as Recording Material", **Proc. of SPIE-The International Society for Optical Engineering**, 1319, 249.
17. KIM, D.Y.; LIAN LI; RU. J. JENG; JAYANT KUMAR; MICHAEL A. FIDDY and SUKANT K. TRIPATHY (1993): "Nonlinear Optical Photoresponsive Polymer for Reversible Optical Data Storage", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1853, 23-28.
18. BOIKO, YURY B.; VASILY M. GRANCHAK; LOSIPH I. DILUNG and VLADISLAV YU MIRONCHENKO (1991): "Volume Holograms in Liquid Photopolymerizable Layers", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1238, 258-265.
19. ISHIKAWA, TOSHILARV; Y. KUWABARA; KENICHI KOSEKI and TSUGUO YAMAOKA (1991): "High-sensitive Photopolymer for Large Size Holograms", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1461, 73-78.

20. ZHANG, CUNLIN; MEIWEN YU; YONGYUAN YANG; JUN LI and ERJIAN WANG (1993): "New Initiation System for Photopolymer Holographic Recording Material", **Proc. of SPIE-The International Society for Optical Engineering**, 1914, 115-119.
21. MAZURENKO, YURI T.; VLADIMIR S. UDALTSOV; ANDREI V. VENIAMINOV; ERHARD DOPEL and PETER KUHMSTEDT (1993): "Recording and Reconstruction of Femtosecond Light Pulses Using Volume Holograms", **Optics Communications**, 96(4-6), 202-207.
22. DRIEMEIER, W. (1990): "Prepolymer-Based Waveguiding Thin Films for the Holographic Recording of Dry-Developing Refractive-Index Gratings", **Optics Communication**, 76(1), 25-29.
23. HUIGNARD, J. P. and F. MICHERON (1976): "High-Sensitivity Read-Write Volume Holographic Storage in BSO and BGO Crystals", **Appl. Phys. Letters**, 29(9), 591-593.
24. VACHSS, FRED and LAMBERTUS HESSELINK (1986): "Electrogyratory and Electrooptics Coupling in BSO and BGO", **Proc. of SPIE-The International Society for Optical Engineering**, 613, 178-187.
25. ATTARD, A.E. (1988): "Charge Shielding Effects of Photoexcited Mobile Carriers on Occupied Deep Trapping Centers in BSO", **Appl. Opt.**, 27(2), 232-238
26. KANSHILIN, ALEXI A.; ELENA V. MOKRUSHINA, and MIKHAIL P. PETROV (1989): "Adaptive Holographic Interferometers Operating Through Self-Diffraction of Recording Beams in Photorefractive Crystals", **Optical Engineering**, 26(6), 580-585.
27. KAMSHILIN, A.A.; A.A. OLIVA and E. MORENO (1990): "Use of Dynamic Holography to Study the Elastic Properties of Solids", **Sov. Phys. Tech. Phys.**, 35(6), 742-744.
28. BAZHENOV, V. YU.; S.F. LYUKSYUTOV; S.G. ODOULOV and ROLF JUNGEN (1990): "Copper-Vapor Laser with Adaptive Holographic Mirror Based on Photorefractive Crystal", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1273, 48-53.
29. FARIA, S.G.; A.A. TAGLIAFERRI and PAULO ACIOLY M. DOS-SANTOS (1991): "Photorefractive Optical Holographic Correlation Using a BTO Crystal at  $\lambda = 632.8$  nm", **Optics Communications**, 86(1), 29-33.
30. DOS-SANTOS, PAULO ACIOLY M. (1991): "Photorefractive Intrinsic Parameters Measured in BTO Crystal at  $\lambda = 632.8$  nm", **Optics Communications**, 80(3-4), 225-228.
31. BUSE, K.; L. HOLTSMANN and E. KRAETZIG (1991): "Activation of BaTiO<sub>3</sub> for Infrared Holographic Recording", **Optics Communication**, 85(2-3), 183-186.
32. FREJLICH, J. and P.M. GARCÍA (1992): "Quasipermanent Hole-Photorefractive and Photochromic Effects in Bi<sub>12</sub>TiO<sub>20</sub> Crystals", **Appl. Phys.**, A. 55, 49-54.
33. SOUTAR, C.; W.A. GILLESPIE and C.M. CARTWRIGHT (1992): "Effect of Optical Bias on Grating Formation Dynamics in Photorefractive BSO", **Optics Communication**, 90, 4-6, 329-334.
34. XIAO GUANG, WU; HU XIERONG; SHAO ZHONGSU; CHEN HUANCHU and SHONG, YONGYAN (1993): "Self-Pulsation and chaos in KNSBN Crystal", **Proc. of SPIE-The International Society for Optical Engineering**, 1812, 251-255.
35. KANWAI KAMRA; NATASHA BIRIA and K. SINGH (1993): "Erasure Rate in Photorefractive KNbO<sub>3</sub> induced by Laser Pulses", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1983, 798-799.
36. ZECH, R.G; J.C. DWYER, H. FICHTER and M. LEWIS (1973): "Heat-Processed Photoresist for Holographic Data Storage Applications", **Appl. Opt.**, 12(12), 2822-2827.

37. GERRITSEN, H.J.; M. JEPSEN and C.C. FERIA (1988): "Transmission Diffraction Grating Composed of one Material with Anomalous Dispersion in the Visible", **Appl. Opt.**, 27(13), 2781-2785.
38. MACK, C. A. (1988): "Absorption and Exposure in Positive Photoresist", **Appl. Opt.**, 27(23), 4913-4919.
39. ICHIMURA, K. and Y. OHE (1990): "Highly Sensitive Positive Resist for Holography", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1212, 73-75.
40. SAXBY, GRAHAM (1994): "Practical Holography", Prentice Hall Int. (UK) LTD.
41. LUNA MORENO, D.; A. OLIVARES P. and L.R. BERRIEL-VALDOS (1995): "Estudio sobre el Sesgo de la Curva de Absorción de la Fotorresina Shipley 1350-J", Libro de Resúmenes, V Encuentro Latinoamericano sobre Óptica, Láser y sus Aplicaciones", La Habana (para publicar en las memorias del OPTILÁS).
42. SLINGER, C. W.; A. ZAKERY; P.J.S. EWEN and A.E. OWEN (1992): "Photodoped Chalcogenides as Potential Infrared Holographic Media", **Appl. Opt.**, 31(14), 2490.
43. ROBUR, I. I.; P.F. ROMANENKO; A.V. STRONSKI; L.I. KOSTROVA; P.E. SCHEPELJAVI and S.A. KOSTIOUKEVITCH (1993): "Chalcogenide Layers as Holographic Media", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1983, 593-594.
44. STRONSKI, A.V.; P.F. ROMANENKO; I.I. ROBUR; I.Z. INDUTNYL and P.E. SCHEPELJAVI (1993): "Application of Vitreous Chalcogenides in Diffractive Optics", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1983, 674-675.
45. MATSUMOTO, K.; T. KUWAYAMA; M. MATSUMOTO and N. TANIGUCHI (1986): "Holographic Optical Elements Using Polyvinyl Carbazole Holographic Material", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 600, 9-13.
46. YAMAGISHI, YASUO; TAKESHI ISHIZUKA; TERUO YAGISHITA; KASUMI IKEGAMI and HIROFUMI OKUYAMA (1986): "Holographic Recording Material Containing Poly-N-Vinyl Carbazole", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 600, 14-19.
47. BOONE, PIERRE M. (1986): "Some Problems Associated with Processing Agfa-Gevaert 8E75HD Sheet Film for Reflection Holography", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 600, 172-177.
48. ALIAGA, R.; H. CHUAQUI and P. PEDRAZA (1990): "Archival and Wide Exposure Latitude Process for Holography", **Appl. Opt.**, 29(19), 2861-2863.
49. LOGAK, L.G.; H.H. FASSAKHOVA; N.E. ANTONOVA; L.A. MININA and R.K. GAINUTDINOV (1991): "Ultra-Fine Grain Silver Halide Photographic Materials for Holography on the Flexible Film Base", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1238, 171-176.

#### REFERENCIAS GENERALES

- COLLIER, ROBERT J.; CHRISTOPH B. BURCKHARDT and LAWRENCE H. LIN (1971): "Optical Holography", Academic Press, N.Y., 1971.
- STROKE, G.W. (1969): "An Introduction to Coherent Optics and Holography", Academic Press, N.Y.
- GOODMAN, J.W. (1968): "Introduction to Fourier Optics", McGraw-Hill Book Co., N.Y.
- LEHMAN, MATT (1970): "Holography", The Focal Press, London-New York.
- OLIVA, AURELIO A.; ALEKSEI A. KAMSHILIN y VICTOR V. PROKOFIEV (1992): "Registro de Hogramas en C.F.R de  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  con láser de He-Ne", Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, 13(3).



- SOTO N., LEOPOLDO; HERNAN CHUAQUI K. y RENATO SAAVEDRA S. (1995): "Optica, Holografía y Aplicaciones", Comisión Chilena de Energía Nuclear,
- SAXBY, GRAHAM (1994): "Practical Holography", Prentice Hall Int. (UK) LTD, G.B.