

## Grabado de redes de fase con un láser Nd:YAG.

### Fabrication of phase gratings by Nd:YAG laser irradiation

C. Bao, A. Castelo, M.T. Flores-Arias, C. Gómez-Reino and M.V. Pérez

Grupo de Óptica GRIN, Departamento de Física Aplicada, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Sur  
E15782, Santiago de Compostela, España  
facbao@usc.es, <http://www.usc.es/grinteam>  
teléfono/fax: +34981521984

#### RESUMEN:

Se presenta un método simple para el grabado de una red de fase en vidrios dopados con plomo mediante irradiación UV. Para ello se usa el cuarto armónico de un láser Nd:YAG pulsado (266 nm), utilizando como patrón una red de fase comercial. Se analiza la calidad de las redes obtenidas mediante el estudio de su eficiencia en función del tiempo de exposición de los vidrios .

**Palabras clave:** Red de fase, irradiación láser.

#### ABSTRACT:

We present a simple, low cost method for fabricating phase gratings by UV irradiation on the surface of lead-silicate glasses. We use the fourth harmonic of a Nd:YAG Q-switch laser (266 nm) to ablate the pattern generated for a commercial phase mask. The quality of the phase gratings is evaluated through the analysis of its efficiency. Likewise, a study of the efficiency variation with the irradiation time of the sample is presented.

**Keywords:** Phase grating, laser irradiation.

---

#### REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] K. O. Hill, B. Malo, F. Bilodeau, D. C. Johnson and J. Albert, "Bragg gratings fabricated in monomode photosensitive optical fiber by UV exposure through a phase mask", *Appl. Phys. Lett.* **62**, 1035-1037 (1993).
- [2] C. Montero, C. Gómez-Reino and J. L. Brebner, "Planar Bragg gratings made by excimer-laser modification of ion-exchanged waveguides", *Optics Lett.* **24**, 1487-1489 (1999).
- [3] E. J. Thompson, E. D. Brass, K. Samuel, S. R. Bullock, J. Lindesay and D. R. Lyons, "Formation of phase gratings on the end of gradient-index lenses with ultraviolet ablation at 193 nm", *Appl. Optics* **38**, 6494-6497 (1999).
- [4] X.-C. Long and S. R. J. Brueck, "Large photosensitivity in lead-silicate glasses", *Appl. Phys. Lett.* **74**, 2110-2112 (1999).
- [5] X.-C. Long and S. R. J. Brueck, "Composition dependence of the photoinduced refractive index-change in lead silicate glasses", *Optics Lett.* **24**, 1136-1138 (1999).

---

#### 1.- Introducción

Es bien conocido que las propiedades de los vidrios pueden modificarse mediante la exposición a

la luz. Un ejemplo importante de este efecto es la irradiación de vidrios con UV, que produce importantes cambios en el índice de refracción debido a densificación, formación de defectos o

aumento de la tensión. Además, el cambio del índice depende de las condiciones de exposición, preparación del vidrio y la inclusión de dopantes. Este efecto permite la fabricación de redes de Bragg en fibras de silicio dopadas con Ge<sup>1</sup>, modificación de guías de onda por intercambios de iones de plata<sup>2</sup> y la formación de redes de fase, tanto en lentes GRIN<sup>5</sup> como en vidrios<sup>4</sup>, usando láseres de excímero.

En este artículo se presenta la fabricación de redes de fase en vidrios comerciales dopados con plomo mediante irradiación láser directa de una red de fase comercial, con el cuarto armónico de un láser pulsado de Nd:YAG Q-switch. Se realiza un análisis de la eficiencia de las redes obtenidas en función del tiempo de irradiación.

## 2.- Procedimiento experimental.

El procedimiento experimental consta de tres etapas: preparación de la muestra, grabado de la red y limpieza de la muestra en la que se ha grabado la red.

En el primer y tercer pasos se realiza una limpieza del vidrio. Para empezar sometemos la muestra que va a ser irradiada a un proceso de limpieza con agua desionizada y a continuación se introduce el vidrio en una máquina de ultrasonidos, a una temperatura de 40-50°C, durante 25-30 minutos. Una vez finalizado este proceso, se aclaran los vidrios y se introducen de nuevo en ultrasonidos con agua desionizada durante 20 minutos a una temperatura de 20-30°C. Se retira la muestra para limpiarla, secarla e introducirla nuevamente, en otra disolución de agua jabón, en ultrasonidos durante 20 minutos a una temperatura de 30°C. Finalmente se sacan los vidrios del recipiente con metanol y se secan cuidadosamente con aire a presión.

En segundo lugar se procede al grabado de la red en las muestras de vidrio dopadas con plomo. Hemos utilizado vidrios comerciales con un 80 % de PbO sobre una matriz de SiO<sub>2</sub>, y con un índice de 1.922864 para una longitud de onda de 587.56 nm. Son vidrios adecuados para esta aplicación debido a su alta calidad óptica, alta fotosensitividad<sup>4</sup>, importantes cambios del índice de refracción<sup>5</sup> y larga vida media. La muestra de vidrio se sitúa a 200 μm de una máscara de fase optimizada para 266 nm, irradiando el conjunto máscara-muestra con un láser Nd:YAG Q-switch trabajando en el cuarto armónico y con una tasa de repetición de 50 Hz. Una ventaja de esta disposición es que las muestras de vidrio se sitúan lejos de superficies ópticas eliminando cualquier contaminación potencial por fotoablación. Realizamos el grabado de las redes usando dos

métodos. En la primera configuración (Fig. 1) la red se graba mediante irradiación directa con el haz láser.

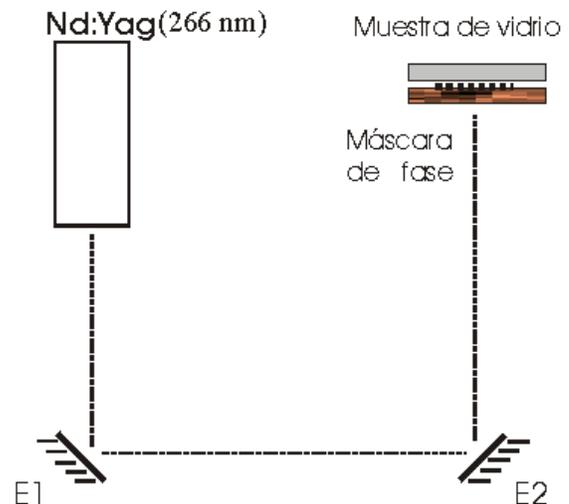


Fig. 1. Configuración experimental para irradiación directa

Para aumentar la densidad de potencia que llega a la muestra utilizamos una segunda configuración (Fig. 2), donde una lente cilíndrica (de 10 cm de focal) se sitúa a 15.2 cm de la máscara de fase. En ambos casos se usan dos espejos planos (E1 y E2) para mejorar la calidad del haz láser, trabajando a campo lejano. El conjunto formado por la máscara de fase y la muestra se desplaza perpendicularmente al haz. Para ello utilizamos una plataforma motorizada trabajando a diferentes velocidades. El tiempo de exposición necesario para

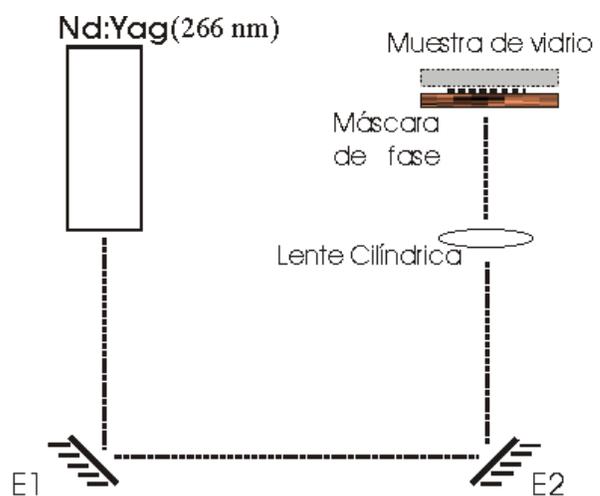


Fig. 2. Configuración experimental con lente cilíndrica

grabar la red se obtiene teniendo en cuenta el desplazamiento de la muestra y la velocidad de la plataforma.

### 3.- Resultados.

Para grabar redes a partir de una máscara de fase de  $0.60 \mu\text{m}$  de período se utiliza el cuarto armónico del láser Nd:YAG trabajando a una potencia de  $30 \text{ mW/pulso}$ .

Las muestras grabadas presentan un umbral de densidad de energía por debajo del cual no hay una modificación suficiente del índice para conseguir grabar una red. Para la primera configuración, la eficiencia de difracción del orden 1 de la red, que se mide con un láser de He-Ne, aumenta con el tiempo de exposición hasta  $50 \text{ s}$ , cayendo rápidamente para tiempos mayores, debido a la aparición de fotoablación.

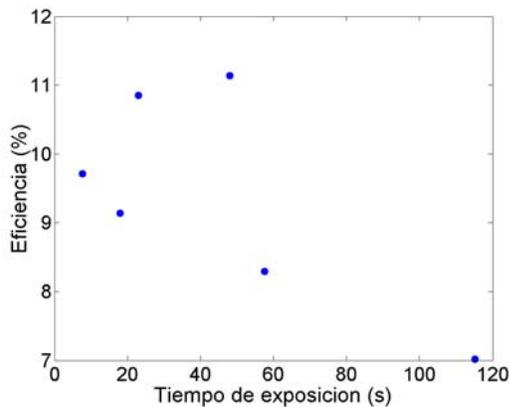


Fig. 3. Variación de la eficiencia con el tiempo de exposición para la primera configuración.

Las mayores eficiencias se obtienen para  $23$  y  $48 \text{ s}$ , como se ve en la Fig. 3.

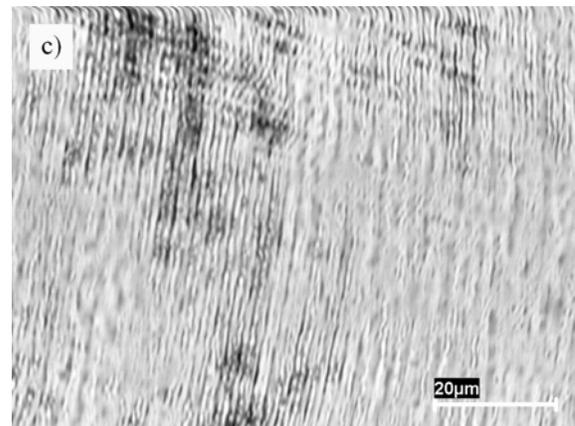
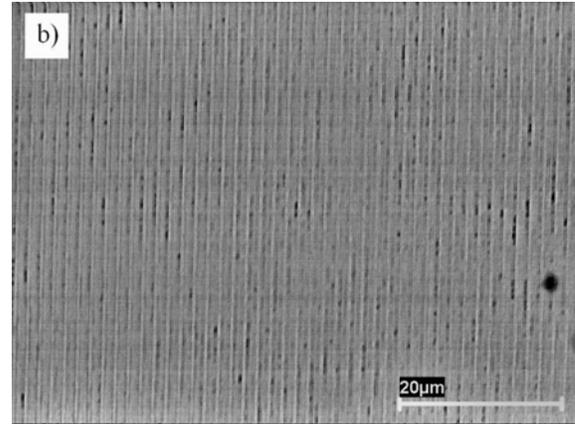
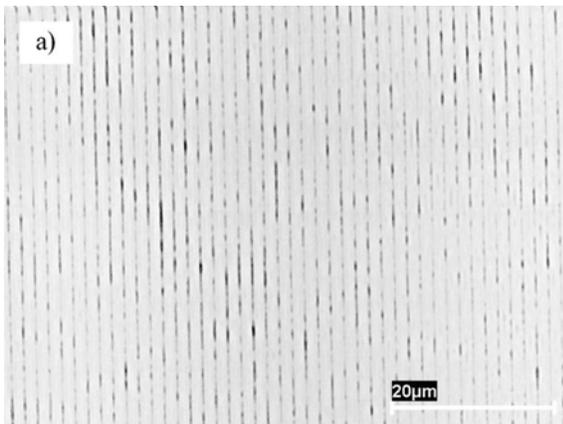


Fig. 4. Redes grabadas directamente con distintos tiempos de exposición: a)  $7.68 \text{ s}$  b)  $23.04 \text{ s}$  y c)  $115.2 \text{ s}$ .

Para tiempos de exposición inferiores a  $15 \text{ segundos}$  no se genera cambio de índice suficiente (fig 4a)). Para tiempos de exposición entre  $20$  y  $50 \text{ segundos}$  se produce un cambio de índice mayor, y se consigue grabar redes de fase con una eficiencia del  $11\%$  (fig 4 b)). Para tiempos de exposición por encima de  $60 \text{ s}$  se deposita una capa de plomo en la muestra debida a la fotoablación (fig 4 c)).

En la segunda configuración experimental, el haz láser, con la misma potencia que para primera la configuración, se concentra con una lente cilíndrica, aumentando la densidad de energía. De esta forma, para menores tiempos de exposición, las modificaciones de índice en la muestra son mayores y se consiguen redes más eficientes con tiempos de exposición comprendidos entre  $10$  y  $30 \text{ segundos}$ , como se muestra en la figura 5. Para tiempos menores no se produce un cambio suficiente en las muestras, y para tiempos mayores la fotoablación provoca una disminución de la eficiencia de las redes. Una máxima eficiencia ligeramente superior al  $14 \%$  se alcanza con un tiempo de exposición de  $18 \text{ s}$ .

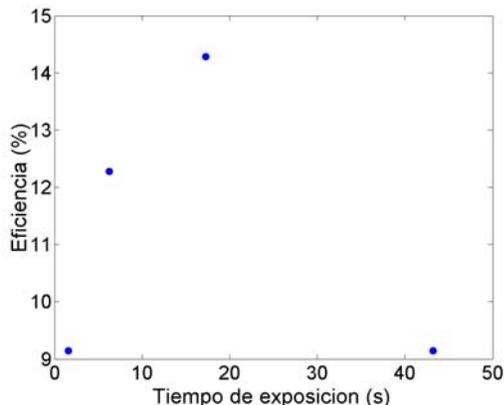


Fig. 5. Variación de la eficiencia con el tiempo de exposición para la segunda configuración

En la figura 6 se muestran imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de las redes

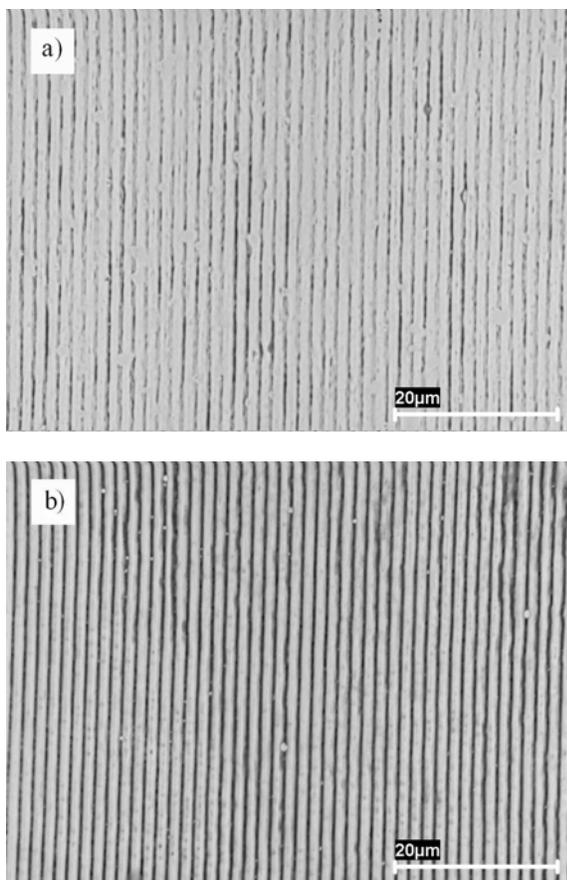


Fig. 6. Redes grabadas con lente cilíndrica y diferentes tiempos de exposición: a) 6.24 s y b) 17.18 s.

grabadas con lente cilíndrica y distinto tiempo de exposición. Se obtiene una red de mayor calidad para el caso b) que para el caso a).

La figura 7 nos muestra la forma de la superficie de una de estas redes (la que se muestra en la figura 4 b)), obtenida mediante un Microscopio de Fuerzas Atómicas. Observamos que la altura de los surcos grabados es de, aproximadamente, 10 nm.

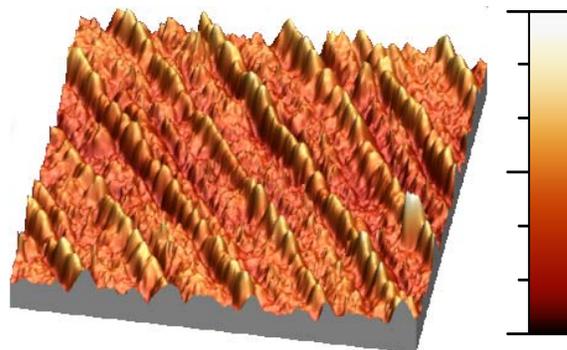


Fig. 7. Imagen de la red de la figura 4 b) obtenida mediante un microscopio de fuerzas atómicas.

Asimismo, se han llevado a cabo una serie de pruebas para analizar la variación del periodo de las redes con la distancia de separación entre máscara y muestra. Para ello se utiliza la configuración experimental mostrada en la figura 1 trabajando con una máscara de fase de período  $1.12 \mu\text{m}$  y variando la separación máscara-muestra desde el contacto

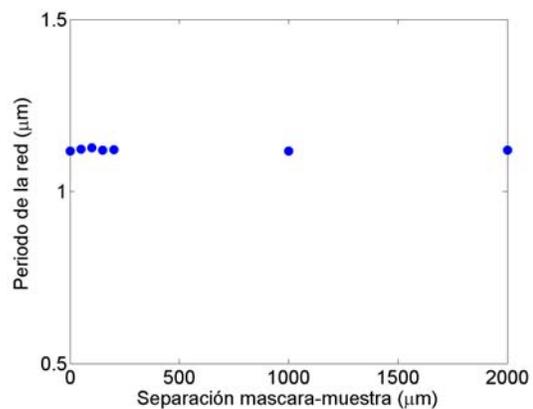


Fig. 8. Período de las redes para varias distancias máscara-muestra.

físico hasta 2 mm. En la figura 8 se muestra que el periodo de las redes grabadas es independiente de la separación máscara-muestra.

#### **4.- Conclusiones.**

Se han mostrado dos sencillas configuraciones experimentales para el grabado de redes de fase en vidrios dopados con plomo. El conjunto formado por la máscara y la muestra se irradia con un láser pulsado Nd:YAG trabajando a 266 nm. Del análisis de las eficiencias se observa que los mejores resultados se obtienen para un tiempo de exposición de 48 s en el caso de la primera configuración, y de 18 s para la segunda. Se ha observado que el

período de las redes grabadas es independiente de la separación entre máscara y muestra.

#### **5.- Agradecimientos.**

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto ESGHOPET/TIC 2003-03041 del MCyT. Agradecemos a Daniel Nieto García su asistencia técnica y al Dr. Juan Pedro Silveira Martín la obtención de las imágenes con el Microscopio de Fuerzas Atómicas.