

Ensayos

Generación de segundo armónico en niobato de litio impurificado con magnesio

Resumen

Se investigó la generación de segundo armónico de 1064 a 532 nm en diferentes cristales cerámicos de niobato de litio dopados con magnesio. Las mediciones de eficiencia de conversión de frecuencia se obtuvieron usando un láser infrarrojo pulsado con polarización ordinaria y extraordinaria. Los resultados muestran la existencia de un valor óptimo de concentración de magnesio en niobato de litio para el cual se obtiene máxima eficiencia de conversión óptica.

Abstract

Second harmonic generation from 1064 to 532 nm in several magnesium-doped lithium niobate ceramic crystals has been investigated. The measurements of frequency conversion efficiency were obtained using a pulsed infrared laser for both ordinary and extraordinary light polarization. The results show the existence of an optimum level of magnesium concentration in lithium niobate at which maximum optical conversion efficiency can be obtained.

Résumé

On a examiné la génération de deuxième harmonique de 1064 à 532 nm sur différents cristaux céramiques de niobate de lithium dopés au magnésium. Les mesures d'efficacité de conversion de fréquence ont été obtenues en utilisant un laser infrarouge impulsé par polarisation ordinaire et extraordinaire. Les résultats montrent l'existence d'une valeur optimale de concentration de magnésium en niobate de lithium pour lequel on obtient une efficacité maximale de conversion optique.

* Jaime Castillo Torres

Palabras clave: Conversión de frecuencias ópticas.

1. Introducción

El cristal cerámico niobato de litio (LiNbO_3) es uno de los materiales más estudiados en la óptica no lineal. Esto se debe a que la mayoría de sus parámetros más importantes, tales como sus coeficientes fotorrefractivos, ferroeléctricos, electroópticos, piezoópticos, acustoópticos, fotovoltaicos y susceptibilidades eléctricas no lineales, son mayores que aquellos asociados a otras sustancias ópticas no lineales (Günter y Huignard 2007). El cerámico LiNbO_3 no existe como tal en la Naturaleza, sino que fue sintetizado por primera vez hace 60 años (Weis y Gaylord 1985). Se trata de un material transparente en la región visible del espectro, es duro, quebradizo y generalmente se obtiene mediante técnicas convencionales de crecimiento. La más empleada de ellas es la técnica de Czochralski (Grabmaier y Otto 1986), que consiste en la fundición de reactivos en forma de polvos (Li_2O y Nb_2O_5) colocados en un crisol a alta temperatura ($\sim 1300^\circ\text{C}$). Típicamente, se obtienen monocristales con dimensiones desde milímetros hasta centímetros cúbicos. Además, si durante el proceso de crecimiento se incorporan intencionalmente iones de otro tipo, llamados impurezas, el niobato de litio puede exhi-

* Profesor Investigador del Instituto de Física y Matemáticas, Universidad Tecnológica de la Mixteca

bir propiedades diferentes. Por ejemplo, cuando se agregan pequeñas concentraciones de hierro el material adquirirá un color amarillo-café, presentando además una absorción en 500 nm y un aumento en su respuesta fotorrefractiva; el efecto fotorrefractivo es el cambio en el índice de refracción debido a una distribución no uniforme de iluminación. Gracias a su alta variedad de propiedades ópticas y eléctricas, el LiNbO_3 sigue siendo un gran candidato para usarse en varias aplicaciones, las cuales incluyen almacenamiento holográfico de volumen, procesamiento de imágenes ópticas, amplificación óptica coherente, conjugación de fase óptica, generación de segundo y tercer armónico, obturadores ópticos, moduladores ópticos, conmutadores ópticos, filtros de interferencia óptica, computación óptica, redes neuronales, entre otras (Günter y Huignard 2007). Sin embargo, existen efectos ópticos, eléctricos y magnéticos del LiNbO_3 cuyas explicaciones aún no son ampliamente aceptadas. Por ejemplo, hace 20 años se observó que a partir de cierta cantidad de magnesio que se agrega durante su crecimiento, el cristal ya no presenta efecto fotorrefractivo (Bryan 1984). Desde entonces es una creencia generalizada que la inhibición de su respuesta fotorrefractiva se debe a un aumento en su fotoconductividad. Sin embargo, recientemente se encontró que esto ocurre únicamente bajo ciertas condiciones experimentales (González-Martínez 2008a). Más aún, se ha observado que el aumento en su fotoconductividad no es un factor necesario para que su respuesta fotorrefractiva se destruya (González-Martínez 2008b).

Para aprovechar al máximo las propiedades que posee el LiNbO_3 es deseable que una o varias de sus características disminuyan fuertemente. Por ejemplo, el LiNbO_3 presenta generación de segundo armónico (GSA) de 1064 a 532 nm; es decir que al incidir radiación infrarroja se obtiene luz verde a la salida, este efecto recibe también el nombre de conversión de frecuencias. Sin embargo, como ya se mencionó, el LiNbO_3 es un medio óptico con respuesta fotorrefractiva, la cual destruye las condiciones óptimas que se requieren para alcanzar la máxima eficiencia de GSA. En este trabajo se presentan resultados de GSA, de 1064 a 532 nm, en LiNbO_3 a diferentes niveles de magnesio. Se encontró la existencia de un intervalo óptimo de magnesio para el cual se obtiene máxima eficiencia de GSA. En este intervalo se ocurre inhibición de su respuesta fotorrefractiva.

2. Metodología

Se midieron eficiencias normalizadas de GSA para seis muestras de LiNbO_3 , cada una con diferente concentración de magnesio. El sistema cerámico LiNbO_3 impurificado con magnesio es incoloro y no presenta absorción en el visible. Las muestras se crecieron con la técnica de Czochralski usando un cociente inicial de litio y niobio de 0.945, con el fin obtener un fundido de fase congruente (Grabmaier y Otto 1986). Posteriormente, todos los cristales fueron cortados de tal forma que se obtuvieron dimensiones rectangulares de $axbxc=6 \times 1 \times 6 \text{ mm}^3$. El eje polar o eje óptico de cada muestra yace a lo largo del eje-c. A causa de factores extrínsecos e intrínsecos durante el proceso de crecimiento, la cantidad de magnesio que se agrega en el fundido no necesariamente es igual a la concentración que se incorpora en el cristal. Por ello, se aplicó espectroscopía de absorción atómica para determinar la cantidad de magnesio que se incorporó en cada espécimen.

Para la medición de GSA se empleó un láser pulsado del tipo Q-switched Nd: YAG, con una duración de pulso de 8 ns, frecuencia de repetición de 10 Hz, energía de salida

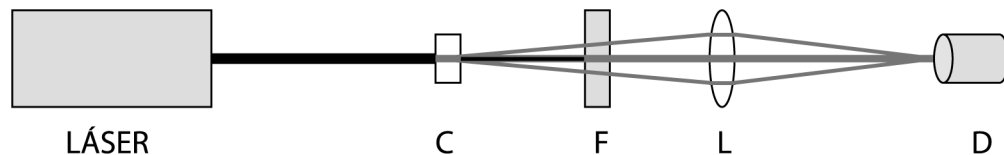


FIGURA 1. VOLUMEN DE CONTROL DE UN RÍO. FIGURA 1. ARREGLO EXPERIMENTAL PARA GENERACIÓN DE SEGUNDO ARMÓNICO. C: CRISTAL DE NIOBATO DE LITIO, F: FILTRO PARA ONDA CORTA, L: LENTE CONVERGENTE Y D: DETECTOR.

de 340 mJ y longitud de onda de 1064 nm. En la figura 1 se muestra el arreglo experimental de este experimento en el cual se utilizó un filtro para onda corta con el fin de registrar únicamente luz verde en el detector. Además, se usó una lente para enfocar en lo posible la radiación de GSA sobre el área efectiva del detector.

3. Resultados y discusión

En la tabla 1 y figura 2 se muestran los resultados de espectroscopía de absorción atómica, donde se observa que la cantidad de magnesio incorporado es diferente al agregado en el fundido.

Muestra	Mg en fundido [% mol]	Mg en cristal [% mol]
A	3.0	0.071
B	2.5	0.085
C	1.0	0.104
D	4.0	0.122
E	4.6	0.159
F	5.0	0.242

TABLA 1. COLUMNA IZQUIERDA INDICA EL NOMBRE DADO A CADA MUESTRA, COLUMNA CENTRAL LA CONCENTRACION DE MAGNESIO EN EL FUNDIDO Y COLUMNA DERECHA EL NIVEL DE MAGNESIO INCORPORADO.

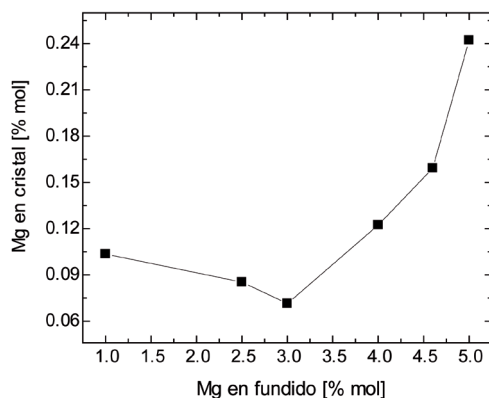


FIGURA 2. MAGNESIO INCORPORADO VERSUS MAGNESIO EN EL FUNDIDO AL CRECER NIOBATO DE LITIO. LOS PUNTOS SON DATOS EXPERIMENTALES Y LA LÍNEA SÓLIDA ES SÓLO PARA GUÍA.

En la figura 3 se observan los resultados de las eficiencias normalizadas de GSA. Se han normalizado estos datos debido a que nuestros cristales no cumplen con el espesor necesario para la condición de igualación de fase que se requiere en la teoría de generación de segundo armónico (Boyd 2008), es decir el grosor no es un múltiplo entero de la longitud de coherencia, por lo que todos los resultados se normalizaron respecto al valor más alto que se registró en el detector. Sin embargo, puede hacerse una comparación cualitativa de la influencia que ejerce el magnesio sobre la GSA en cada muestra.

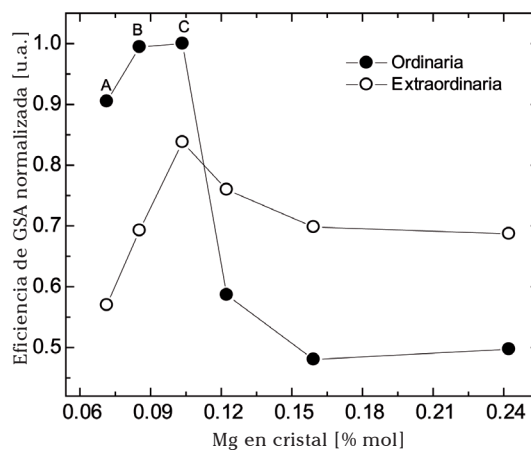


FIGURA 3. EFICIENCIA DE GENERACIÓN DE SEGUNDO ARMÓNICO COMO FUNCIÓN DEL NIVEL DE MAGNESIO INCORPORADO EN NIOBATO DE LITIO, PARA DOS MODOS DE POLARIZACIÓN DE RADIACIÓN FUNDAMENTAL INCIDENTE. LA LÍNEA SÓLIDA ES SÓLO PARA GUÍA.

Las muestras A, B y C poseen altas eficiencia de difracción cuando se emplea luz infrarroja con polarización ordinaria, ver figura 3, mientras que las demás tienen baja conversión de frecuencias para esta misma polarización de radiación. Mas aún, la respuesta fotorrefractiva para los cristales A, B y C es baja. En la figura 4 se muestran algunos resultados de máxima respuesta fotorrefractiva para las mismas muestras, los cuales se obtuvieron mediante la técnica de acoplamiento de dos ondas en una configuración que es equivalente a aquel empleado en la figura 1 con luz incidente ordinaria 532 nm, como lo describe González-Martínez 2008a.

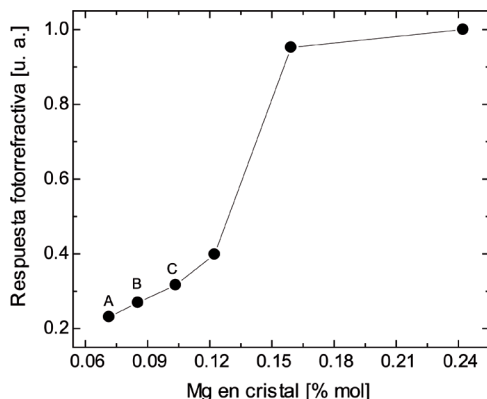


FIGURA 4. MÁXIMA RESPUESTA FOTOREFRACTIVA NORMALIZADA COMO FUNCIÓN DE MAGNESIO EN NIOBATO DE LITIO. LOS DATOS SE OBTUVIERON CON TÉCNICA DE ACOPLAMIENTO DE DOS ONDAS EN UN ARREGLO EQUIVALENTE AL DE LA FIGURA 1 PARA LUZ FUNDAMENTAL ORDINARIA.

Hasta el momento, se acepta que la cantidad de 4.6 % de Mg agregado en el fundido representa el valor a partir del cual se inhibe la respuesta fotorrefractiva (Bryan 1984); a este valor se le denomina valor umbral. De acuerdo con los resultados presentados en las figuras 2, 3 y 4, no es necesario que el nivel de magnesio esté por arriba del umbral para obtener GSA y, simultáneamente, destrucción de respuesta fotorrefractiva. Las muestras A, B y C, cuyo contenido de magnesio está por debajo del valor umbral, pueden no exhibir respuesta fotorrefractiva dependiendo de la configuración empleada (González-Martínez 2008a). Por otra parte, en este estudio se observa que dichas muestras pueden presentar las máximas eficiencias de conversión de frecuencias.

Estos resultados pueden ser de gran utilidad en aquellas aplicaciones de la óptica no lineal, por ejemplo GSA, en las cuales la inhibición de la respuesta fotorrefractiva pudiera ser indeseable.

Conclusiones

Se obtuvieron mediciones de generación de segundo armónico de 1064 a 532 nm en cristales de niobato de litio variando la concentración de impurezas de magnesio. Los resultados muestran la existencia de un intervalo de nivel de magnesio en el cual se obtiene máxima eficiencia de conversión de frecuencias y baja respuesta fotorrefractiva. Este intervalo está por debajo del llamado valor umbral de concentración de magnesio. **T**

Bibliografía

- Boyd R. W.
2008 Nonlinear Optics. Academic Press. CA.
- Bryan D. A.; Gerson R.; Tomaschke H. E.
1984 Increased optical damage resistance in lithium niobate. *Applied Physics Letters*. 44: 847-849.
- González-Martínez S.; Castillo-Torres J.; Hernández J. A.; Murrieta H. S.; Murillo J. G.
2008 Anisotropic photorefraction in congruent magnesium-doped lithium niobate. *Optical Materials* DOI 10.1016/j.optmat.2008.10.042
- González-Martínez S.; Castillo-Torres J.; Hernández J.; Murrieta H.; Murillo J. G.; Farías R.
2008 Experimental evidence of a non-relationship between photorefractive inhibition and photoconductivity increase in LiNbO₃: Mg. *Optics Communications*. Aceptado.
- Grabmaier B. C.; Otto F.
1986 Growth and investigation of MgO-doped LiNbO₃. *Journal of Crystal Growth* 79: 682-688
- Günter P.; Huignard J. P.
2007 Photorefractive Materials and Their Applications Vol. 1, 2 y 3. Springer. New York.
- Weis R. S.; Gaylord T. K.
1985 Lithium niobate: summary of physical properties and crystal structure. *Applied Physics A* 37: 191-203.