

Microfabricación de un Interferómetro Mach-Zehnder sobre cristales de LiNbO_3

Giménez G.; Mangano E.; Fraigi L.

Centro de Electrónica e Informática
 Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI
 San Martín, Buenos Aires, Argentina
 ggimenez@inti.gob.ar

Pernas P.; Lifante G.

Departamento de Física de Materiales
 Universidad Autónoma de Madrid - UAM
 Madrid, España

Resumen—Un interferómetro Mach-Zehnder (MZ) es un dispositivo óptico con múltiples aplicaciones. Las mismas se basan en medir el desfase del camino óptico de un haz de luz coherente. Este trabajo tiene por objetivo exponer los métodos y resultados de la micromecanización que fueron utilizados para la fabricación de un MZ-MEMS, donde se usaron como materiales base Niobato de Litio como sustrato y Zinc para las guías de onda. Se describen las etapas de diseño, de la microfabricación y caracterización del proceso.

Palabras Clave: Interferómetro Mach-Zehnder – Sputtering – Electroóptica

I. INTRODUCCIÓN

La óptica integrada parece ser una de las tecnologías más prometedoras como solución para aliviar el ancho de banda en los sistemas modernos de computación y telecomunicaciones. Como material óptico, el silicio, usado por excelencia en electrónica, no posee buenas cualidades para ser usado en dispositivos de guías de onda [1]. El Niobato de Litio (LiNbO_3) ha sido rápidamente identificado como uno de los materiales alternativos más prometedores para este tipo de aplicaciones ópticas.

El interferómetro Mach-Zehnder (MZ) es un dispositivo que permite determinar el cambio de fase relativo entre dos haces colimados provenientes de una fuente de luz coherente. El uso más extendido de este dispositivo es medir el cambio de fase en una de las ramas, ya sea por la diferencia de camino óptico o por la perturbación causada por algún parámetro externo, como por ejemplo la presencia de un campo eléctrico. Guías de onda fabricadas por difusión de titanio (Ti) sobre LiNbO_3 , donde se obtiene un confinamiento óptico con muy pocas pérdidas totales y grandes efectos no lineales para modulación electro-óptica, fueron tempranamente desarrollados por Bell Labs [2-3].

Con el objetivo de miniaturizar el interferómetro se recurre al uso de tecnologías MEMS (*Micro-Electric-Mechanical Systems*) para su fabricación, las cuales ofrecen un enorme potencial para la integración del MZ a una electrónica basada en silicio.

En este trabajo presentamos la fabricación de un MZ-MEMS. El proceso de fabricación del MEMS se basó en técnicas de microfabricación: fotolitografía, deposición de películas delgadas por sputtering, ataque químico por vía húmeda y difusión de vapor de metales. El objetivo del trabajo fue lograr micro-interferómetros donde el haz incidente, confinado, se bifurca (entrada) en dos ramas paralelas de igual camino óptico y se vuelve a unir en un único canal (salida).

II. DISEÑO

Se sabe de la literatura que el máximo cambio en el índice de refracción en el LiNbO_3 producido por efectos electro-ópticos se manifiesta cuando el campo eléctrico es paralelo al eje Z de los cristales [4]. Es por ello que en este trabajo se decidió utilizar cristales de LiNbO_3 orientados según el eje Z (*Z-cut LiNbO₃*). Por otra parte, para optimizar la interacción entre el campo eléctrico y el modo óptico de los *Z-cut LiNbO₃* [5], un electrodo debe ser posicionado sobre una de las ramas, mientras que para los *X-cut LiNbO₃*, los electrodos deben ser posicionados uno a cada lado de las mismas.

$L_T = 20.0 \text{ mm}$	$R = 20.5 \text{ mm}$	$L_{ei} = 10.0 \text{ mm}$
$L_{in} = 3.1 \text{ mm}$	$\theta = 2^\circ$	$W = 10 \mu\text{m}$
$L_y = 1.4 \text{ mm}$	$Z = 50 \mu\text{m}$	$G = 15 \mu\text{m}$
$L = 11.0 \text{ mm}$	$w = 2 \mu\text{m}$	

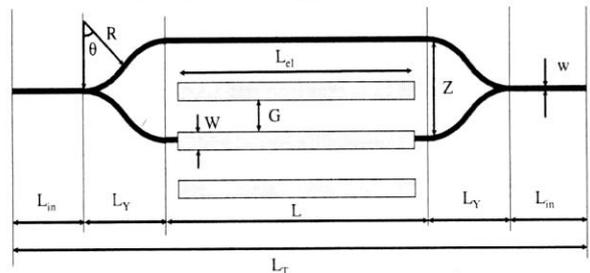


Figura 1: Diseño esquemático del Interferómetro MZ-MEMS. Geometría y dimensiones.

La configuración en forma de Y fue implementada con dos arcos opuestos de una circunferencia, con un radio de curvatura alto de 20,5 mm para minimizar pérdidas en las curvas [6]. Las dos ramas paralelas del interferómetro tienen una longitud de 11 mm, y están separadas una distancia de 50 μm , siendo la longitud total del dispositivo de 20 mm. La entrada, la salida y los

canales de la guía de onda tienen un ancho de 2 μm . Los electrodos metálicos de aluminio (Al), acorde a lo discutido anteriormente, fueron colocados de tal forma que uno quede sobre una de las ramas y el otro a un lado de la misma, con un largo de 10 mm y 10 μm de ancho (Figura 1).

III. FABRICACIÓN

La fabricación del dispositivo involucró técnicas de fotolitografía, deposición de películas delgadas, ataque químico por vía húmeda y difusión por vapor sobre cristales de LiNbO_3 comerciales (Saes Getter). En la Figura 2 se aprecia un esquema en el cual se resumen las etapas de fabricación del interferómetro MZ.

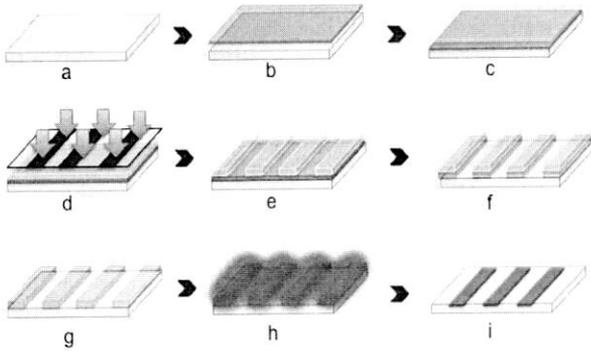


Figura 2: Etapas de fabricación del MZ-MEMS: a) Cristales de LiNbO_3 . b) Deposición de película delgada de SiO_2 . c) Deposición de fotorresina. d) Alineación y exposición UV. e) Revelado. f) Ataque químico por vía húmeda. g) Eliminación de la fotorresina. h) Difusión de vapor de Zn. i) Eliminación de la máscara de SiO_2 .

Como primera instancia de la microfabricación se depositó una película delgada de dióxido de silicio (SiO_2) sobre la superficie de los cristales con un equipo de DC/RF Sputtering (Boc Edwards Auto 500). Dicha película de unos 150 nm de espesor, sirve como máscara para controlar la difusión del Zn en el sustrato, ya que el Zn difunde en las zonas donde está expuesto el LiNbO_3 pero no donde hay SiO_2 . Para transferir el diseño presentado en la Figura 1 a los cristales, se realizó un proceso fotolitográfico con una máscara de Cuarzo/Cr. La fotorresina (AZ3027, de MicroChemicals) fue depositada por spin-coating, logrando una película de unos 2,7 μm , la alineación de los cristales con el diseño fue realizado con una alineadora de doble cara EVG620 con una energía de exposición de 140 mJ/cm^2 . Una vez transferido el diseño sobre la fotorresina se realizó un ataque químico por vía húmeda para abrir los canales sobre el SiO_2 , que luego serán las guías de onda. Para ello fue utilizada una solución 15:1 de NH_4F (40%): HF (49%). Una vez abiertos los canales en el SiO_2 queda expuesta la superficie del LiNbO_3 lista para la difusión del Zn sobre la misma y la posterior remoción del SiO_2 . La difusión consiste en evaporar el Zn a una temperatura de 550 $^\circ\text{C}$ durante 2 horas seguido de un proceso de pasivado en atmósfera de oxígeno a 850 $^\circ\text{C}$ durante 12 horas [7]. Una vez fabricado el MZ-MEMS se realiza el depósito de los electrodos (~ 300 nm), los cuales deben quedar correctamente alineados con el diseño del MZ para poder

usar los mismos para la modulación óptica a partir del efecto producido por un campo eléctrico regulable. Tanto la alineación como el depósito de los electros de Al se realizaron con los equipos arriba citados.

IV. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO

Una vez fabricado el dispositivo se realizaron una serie de fotografías del mismo, en donde comparamos el ancho de las líneas de la máscara con las obtenidas luego de dos etapas críticas en el proceso: i) el revelado de la fotorresina y ii) el ataque químico al SiO_2 por vía húmeda (Figura 3).

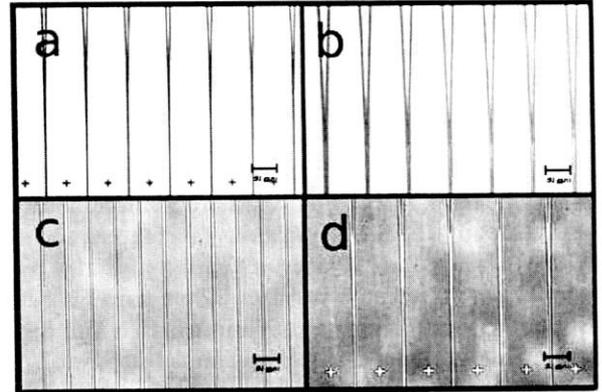


Figura 3: a) Máscara de Cuarzo/Cr. b) Película de Fotorresina sobre el sustrato con SiO_2 . c) y d) Fotografías luego del ataque por vía húmeda en dos sectores diferentes del MZ-MEMS. La barra de escala en el ángulo inferior derecho corresponde a 50 μm

También se caracterizó el dispositivo, previo a la difusión del Zn, utilizando un microscopio de fuerza atómica (AFM) utilizando un equipo “UltraObjective

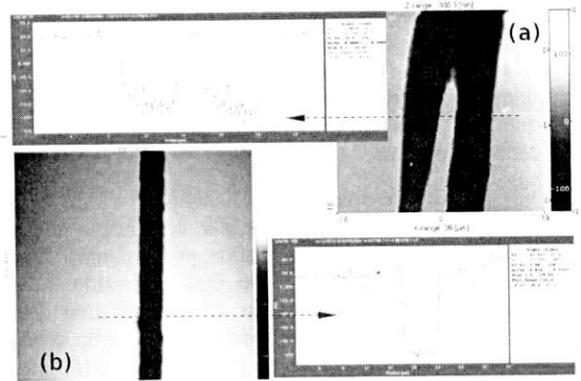


Figura 4: Imágenes por AFM en dos partes del dispositivo con la máscara de SiO_2 y previo a la difusión del Zn: a) en la bifurcación de las guías b) la parte recta de una de las ramas.

scanning probe microscope (Surface Imaging Systems GmbH)” en modo no-contacto (tapping) con una viga en voladizo de Si (Si cantilever) con una fuerza de contacto nominal 48 N/m (NanoProbes GmbH). Las imágenes son planas con corrección de paso, sin ningún otro tipo de filtrado (Figura 4). Se observa en dichas imágenes que se

llegó al fondo del canal ya que el color de la microscopía es diferente para la máscara (de SiO_2 , sobre la superficie) y para el sustrato (LiNbO_3 , fondo de los canales). Las caracterizaciones correspondientes a la parte óptica es objeto de actuales estudios y futuros trabajos.

V. CONCLUSIONES

Se pusieron a punto las técnicas de microfabricación necesarias con las cuales un Interferómetro Mach-Zehnder MEMS fue desarrollado y fabricado. Mediante microscopía óptica se verificó que el ancho de la guía obtenido es comparable al de la máscara. Se pudo observar que el depósito de SiO_2 es uniforme a lo largo de toda la superficie del MZ con una profundidad promedio de 150 nm. Fue posible la fabricación íntegra de un MZ-MEMS con el objetivo de modular eléctricamente un haz de luz coherente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo del programa Dr. Cesar Milstein, RAICES del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MINCYT) y por el Banco Santander de España. Se agradece al Centro de Procesos Superficiales del INTI por la generosidad de haber realizado las imágenes por AFM.

REFERENCIAS

- [1] M. A. Powell and A. O. Donnell, "What Intergrated Optics is Rally Used For", Optics and Photonics News, 23 – 29, September 1997.
- [2] K. Noguchi and K. Kawano, "Proposal for Ti:LiNbO_3 modulator with modulation bandwidth of more than 150 GHz", Electronics Letters, 28 (18) (1992), 1759.
- [3] H. Suche, T. Oesselke, J. Pandavenes, R. Ricken, K. Rochhausen, W. Sohler, S. Balsamo, I. Montrosset and K. K. Wong, "Efficien Q-switched Ti:Er:LiNbO_3 waveguides laser", Electronics Letters, 34 (12) (1998) 1228.
- [4] Ed. L. Wooten et al. "A review fo lithium niobate modulators for fiber-optic communications system", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2000, 6 (9), pp. 69-82.
- [5] O. G. Ramer, "Integrated optics electrooptics modulator electrode analysis", IEEE Journal of Quantum Electronics, 1982, QE-18 (3), pp. 386-392
- [6] L. Lerner, "Minimun bending loss interconnection for integrated optics waveguides", 1993, Electronics Letters, 29 (9), pp. 733-734.
- [7] P.L. Pernas, M. J. Hernández, E. Ruiz, E. Cantelar, R. Nevado, C. Morat, G. Lifante and F. Cussó, "Zn-vapor diffused Er:Yb:LiNbO_3 channel waveguides fabricated by means of SiO_2 electron cyclotron resonance plasma deposition" Appl. Surf. Sci 161 (2000) 123.