

Desarrollo de componentes electro-ópticos ultra-compactos a partir de membranas de Niobato de Litio.

M.A. Suarez¹, V. Calero¹, R. Salut¹, B. Robert¹, F. Behague¹, A. Caspar¹, L. Galtier², G. Gaborit², L. Duvillaret², F. Baida¹, N. Courjal¹ and M.-P. Bernal¹

¹ Univ. Bourgogne Franche-Comté, FEMTO-ST Institute, UMR CNRS 6174, Besançon, France

² KAPTEOS SAS, 354 Voie Magellan, Sainte-Helene-du-lac 73800, France.

miguel.suarez@femto-st.fr

Los componentes basados sobre las membranas de Niobato de Litio (LiNbO_3) han conocido un éxito tecnológico importante durante las últimas décadas gracias a la capacidad de aumentar los efectos electroópticos y los efectos no lineales del material debido al confinamiento de la luz sobre pequeñas regiones espaciales [1, 2]. De una parte, el uso de membranas de LiNbO_3 ha permitido el desarrollo de *ridge-based waveguides* que presentan la capacidad de crear un modo de propagación confinado con pequeñas pérdidas de inyección. Sin embargo, su fabricación a bajo costo se presenta como un desafío mayor, y gracias a un procedimiento innovador basado en el corte de precisión [3,4], nosotros estamos en la capacidad de realizar guías de ondas de LiNbO_3 con una adaptación en la inyección de la luz con pérdidas de inserción inferiores a 3 dB. Un proceso de caracterización basado en la topografía por coherencia óptica (OCT) permite de evaluar la birrefringencia, las pérdidas de propagación y la sensibilidad electro-óptica de este tipo de guías de onda.

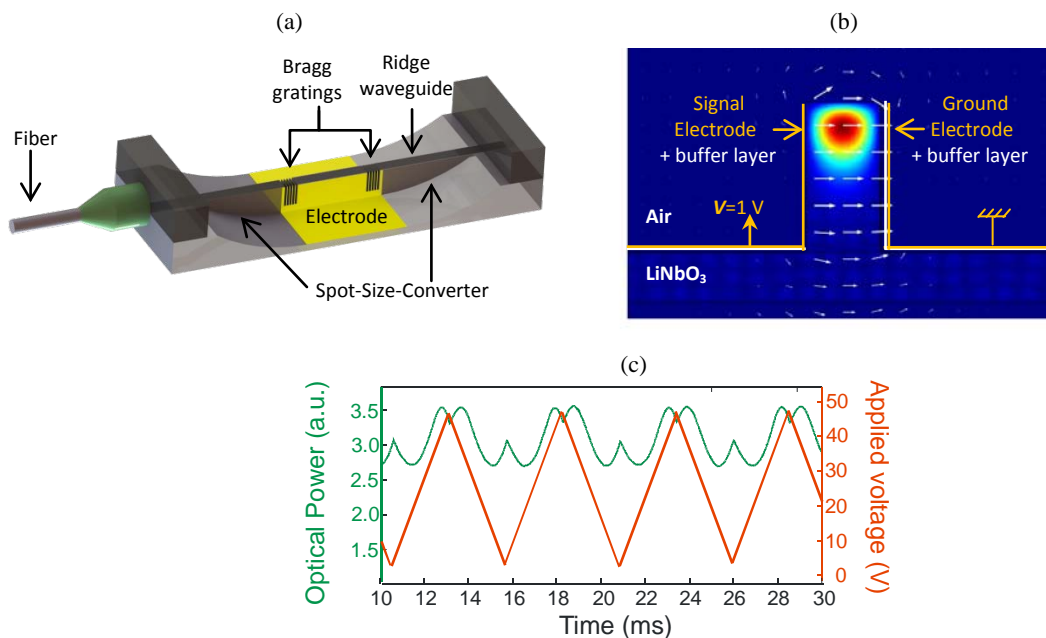


Fig 1. (a) Esquema de un *ridge-based waveguide* con electrodos y conectada a una fibra óptica. (b) Modelización del modo de propagación y del efecto electro-óptico en una guía de $6\mu\text{m}$ de ancho y $40\mu\text{m}$ de alto (COMSOL®). (c) Medida del voltaje de modulación en modo T.E. para una guía de 1.8mm de largo.

Un esquema de una guía *ridge-based* es mostrado en la Fig. 1(a). La forma circular de cada lado de la guía permite una mejor adaptación de la luz dentro de la guía, asegurando así una baja pérdida al conectar la fibra con la guía; Esta forma circular es realizada simultáneamente durante el corte de

precisión al momento de la fabricación de la guía óptica [3]. Como resultado, guías de 40 μm de alto y 6 μm de ancho pueden ser producidas con pérdidas de 3dB en la inyección de la luz. Los electrodos son realizados a posteriori sobre los flancos de la guía por evaporación de una fina capa de oro. En la *Fig. 1(b)* vemos el modo de propagación y el comportamiento del campo eléctrico que permite de estimar el efecto electroóptico sobre la guía, gracias a una modelización basada en el método de elementos finitos. Este resultado teórico se demuestra con el resultado experimental obtenido en la *Fig. 1(c)* donde vemos como la señal óptica es modulada cuando se aplica una variación de potencial sobre los electrodos.

De otra parte, el desarrollo de cristales fotónicos (PhC) sobre membranas de LiNbO₃ permite también el desarrollo sensores ultra-compactos de campo eléctrico aprovechando la generación de un pico de resonancia FANO, donde gracias a las propiedades electro-ópticas del Niobato de Litio, la longitud de onda de la resonancia varía en función de la amplitud del campo eléctrico presente sobre el área sensible del sensor [5]. Esta nueva generación de sensores de campo eléctrico no invasivo son interesantes debido a su capacidad de superar las grandes barreras que presentan los captosres convencionales, los cuales presentan una área sensible grande y están basados sobre materiales conductivos que distorsionan el campo medido. Recientemente el concepto de *Lab-on-Fiber* ha tomado fuerza y ha conducido al desarrollo de nano-pruebas ópticas que ofrecen una amplia gama de aplicaciones [6].

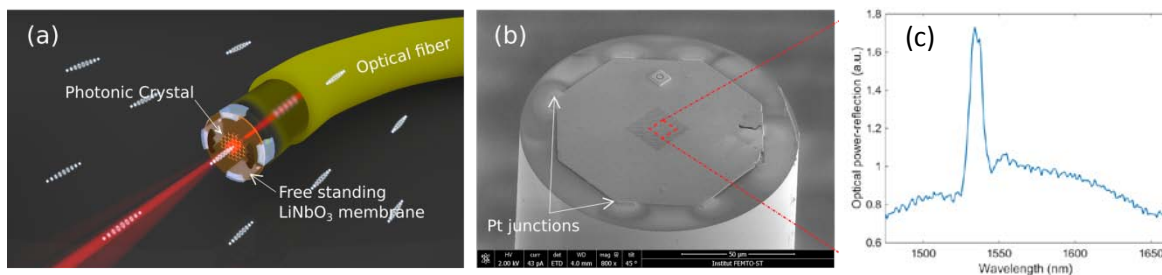


Fig 2. (a) Esquema de un sensor basado sobre un cristal fotónico a la extremidad de una fibra. (b) Imagen S.E.M. de una membrana con un PhC ensamblada a la extremidad de la fibra. (c) Pico de resonancia FANO observado en el espectro en reflexión del sensor.

En la *Fig. 2(a)* podemos ver el concepto de esta nueva generación de sensores de campo eléctrico donde una membrana de 700nm de LiNbO₃-CorteX, con un PhC grabado en el centro, es ensamblada a la extremidad de una fibra óptica. Las características geométricas del cristal han sido estudiadas a fin de generar un pico de resonancia FANO en la gamma de longitudes de onda telecom [7]. La membrana LiNbO₃ es fabricada gracias a un proceso estándar de litografía U.V. y de un grabado profundo de iones radioactivos (DRIE), mientras que le PhC es grabado con un rayo de iones focalizados (F.I.B.) sobre la membrana. El ensamblado de la membrana sobre la extremidad de la fibra es realizado con la ayuda de un F.I.B. y de un micro-manipulador. En la *Fig. 2(b)* podemos observar una imagen S.E.M. del ensamblado final a la extremidad de la fibra, cuyo diámetro es de 125 μm ; La parte activa del sensor es estimada en 19x19 μm^2 (tamaño del cristal fotónico). Sobre la *Fig. 2(c)* un espectro en reflexión del sensor, que muestra la resonancia FANO du PhC a una longitud de onda alrededor de 1540nm. Esta implementación sobre fibra óptica conduce a dispositivos no invasivos, altamente sensibles, con una alta resolución espacial y un gran ancho de banda, adoptando al mismo tiempo la versatilidad de las fibras ópticas, permitiéndole ser empleado en varias aplicaciones de detección de señales en campos como: la ingeniería biomédica (BME), la electrofisiología, la compatibilidad electromagnética (EMC) o los campos aeroespaciales y de defensa.

Referencias:

[1] G. Poberaj, H. Hu, W. Sohler, and P. Günter, "Lithium niobate on insulator (LNOI) for micro-photonic devices," *Laser Photon. Rev.* 6, 488 (2012).

- [2] L. Chang, Y. Li, N. Volet, L. Wang, et al, "Thin film wavelength converters for photonic integrated circuits," *Optica* 5, 531 (2016)
- [3] N. Courjal, F. Devaux, A. Gerthoffer, C. Guyot, F. Henrot, A. Ndao, and M.-. Bernal, "Low-loss LiNbO₃ tapered-ridge waveguides made by optical-grade dicing," *Opt. Express* 23, 13983-13990 (2015)
- [4] N. Courjal, A. Caspar, V. Calero, G. Ulliac, M. Suarez, C. Guyot, and M.P. Bernal, Simple production of membrane-based LiNbO₃ micro-modulators with integrated tapers. *Opt. Lett.*, 41(21), 5110-5113 (2016).
- [5] W. Qiu, A. Ndao, V. Calero, R. Salut, N. Courjal, F. Baida, and M.-P Bernal, "Fano resonance-based highly sensitive, compact temperature sensor on thin film lithium niobate", *Opt. Lett.* 41(6), 1106-1109 (2016).
- [6] A. Cusano, M. Consales, A. Crescitelli, and A. Ricciardi, "Lab-on-Fiber Technology", (Springer, 2015).
- [7] W. Qiu, A. Ndao, H. Lu, M.-P Bernal, and F. Baida, "Guided resonances on lithium niobate for extremely small electric field detection investigated by accurate sensitivity analysis", *Opt. Express* 24(18), 20196-20209 (2016).