

SENSORES OPTICOS INTEGRADOS: UNA REVISION DEL ESTADO ACTUAL DEL ARTE

J. Roca y L. Torner

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, ETSI Telecomunicación

Universidad Politécnica de Cataluña, Apdo. 30002, 08080 Barcelona

Tel: 4016527; Fax: 4017232; E-mail: camlts@tsc.upc.es

Abstract

The state of the art on integrated optical sensor technology is briefly reviewed. Applications, problems to overcome, and potential in the future are introduced.

1 Introducción

La aparición de los Sensores de Fibra Óptica (SFO), y de los Sensores de Óptica Integrada (SOI), ha supuesto un cambio radical en el campo de los sensores ópticos. Los SFO y los SOI superan los graves inconvenientes de los sensores ópticos con elementos ópticos discretos (p. e. tamaño y peso de los componentes, problemas de alineamiento óptico, empaquetamiento, etc.). Las ventajas que presentan los SFO y SOI son: inmunidad a las interferencias electromagnéticas, seguridad, ligereza y poca voluminosidad, alta sensibilidad, gran margen dinámico, posibilidad de medidas sin contacto, buen comportamiento en ambientes hostiles, situación remota del sensor y capacidad de multiplexación (red de sensores con un control central). Además de las propiedades enunciadas, los SOI presentan las siguientes características: ventajas propias de los sistemas integrados (compactación, miniaturización, rigidez, pocos ajustes y fiabilidad), posibilidad de desarrollar nuevas estructuras ópticas (los circuitos ópticos integrados permiten estructuras complicadas, por lo tanto sugieren el desarrollo de nuevos dispositivos), flexibilidad en la geometría y en la elección de los materiales, disminución del coste por producción en masa, y el desarrollo de la tecnología de integración electrónica es aprovechable en SOI.

2 Guías de onda como sensores ópticos

La base de los SOI son las guías de ondas sobre sustrato plano, que son también la base de la Óptica Integrada [1]. La magnitud a medir por el SOI provoca una modulación de fase ó de intensidad en la luz confinada en la guía de ondas. La modulación de intensidad se detecta con un fotodetector, aunque hace falta el nivel de intensidad de referencia. Esta referencia se puede conseguir con una segunda guía de ondas que no se vea afectada por la magnitud a medir. La modulación de fase se transforma en modulación de intensidad mediante interferómetros, tales como Mach-Zehnder, Michelson, Fabry-Perot y Sagnac. El interferómetro más común en SOI es el de Mach-Zehnder. Esta modulación de la luz confinada en la guía de ondas puede ser intrínseca ó extrínseca a la estructura en función de la magnitud a medir y de la arquitectura.

SOI extrínsecos

La modulación de la luz en los SOI extrínsecos se produce en un punto exterior a la estructura de la guía de ondas. En general, el mecanismo sensor es por reflexión y puede provocar: (1) un cambio de intensidad de la luz según se refleje más ó menos luz, (2) un cambio en la fase de la luz dependiendo de la distancia del punto de reflexión, figura (1), y (3) un cambio de frecuencia dependiendo de la velocidad del punto de reflexión (efecto Doppler).

SOI intrínsecos

En los SOI intrínsecos la modulación de la luz se produce en la misma la guía de ondas, afectando a la constante de propagación del modo guiado ($\gamma = \alpha + j\beta$).

Los cambios en α producen una modulación de intensidad en la luz guiada. Estos cambios son debidos a cambios en el coeficiente de extinción, generalmente del material que recubre a la capa guiante. Por lo tanto, estos cambios afectan el campo evanescente del modo guiado. El cambio del coeficiente de extinción puede ser debido a la presencia de ciertos gases, líquidos, ó al cambio de concentración de determinados componentes químicos.

Los cambios en β producen una modulación de fase. Los cambios en β son debidos a cambios en el índice de refracción en la región guía de ondas ó en el recubrimiento. Los cambios del índice de refracción de la región guía de ondas pueden ser debidos a varios efectos: electro-óptico, termo-óptico ó elasto-óptico. Los cambios de índice de refracción en el recubrimiento son debidos principalmente a sustancias químicas, figura (2).

3 Aplicaciones

En este apartado se hace una revisión introductoria de los diferentes campos y áreas de aplicación de los SOI.

(1) Sensores de desplazamiento y vibración. Este tipo de sensores son generalmente extrínsecos. La referencia [2] presenta un SOI de desplazamiento en tecnología de Si, figura (1).

(2) Componentes para giroscopios de fibra óptica. El giroscopio de fibra óptica utiliza circuitos de Óptica Integrada, acopladores y moduladores de fase, para conseguir un procesamiento adecuado de la señal [3].

(3) Sensores químicos. Los SOI químicos suelen ser generalmente intrínsecos y basados generalmente en el campo evanescente del modo guiado, figura (2). Una revisión reciente de los SOI químicos se encuentra en [4].

(4) Sensores de campo eléctrico. Este tipo de sensores son intrínsecos y basados en el efecto electro-óptico [5]. Además del campo eléctrico estos sensores pueden medir indirectamente la corriente y la tensión eléctrica.

(5) Sensores de temperatura. Este tipo de SOI son intrínsecos y basados en el efecto termo-óptico. Un prototipo de SOI de temperatura fue uno de los primeros SOI publicados [6].

(6) Sensores de presión. Los SOI de presión son intrínsecos y están basados en el efecto elasto-óptico. Un SOI de presión basado en un interferómetro Mach-Zehnder sobre sustrato de Si ha sido publicado en [7].

4 Problemas y dificultades a superar

A pesar de que los resultados de los laboratorios son prometedores, pocos SOI se encuentran disponibles comercialmente. Algunas de las razones que explican esta situación [8] se introducen a continuación. (1) Poca disponibilidad de fuentes de luz adecuadas. Los diodos laser basados en una cavidad Fabry-Perot producen luz de alta coherencia con un tamaño del dispositivo reducido, y son de coste bajo. Desafortunadamente sufren los siguientes inconvenientes: (a) sensibilidad a parámetros externos (especialmente la temperatura), (b) generación de ruido parásito y inestabilidad frecuencial en presencia de pequeñas realimentaciones ópticas. Estos problemas pueden ser parcialmente superados con diodos laser DFB y DBR, pero estos dispositivos son más costosos y todavía no

están disponibles a longitudes de onda cortas. (2) Problemas de montaje y acoplamiento. Estos problemas son debidos : (a) a alineamientos precisos entre componentes, y (b) a la diferencia entre los parámetros de guía entre los diferentes componentes. La superación de estos problemas pasa por conseguir elementos y estructuras adecuadas, que posibiliten acoplamientos eficientes entre diferentes componentes ópticos.

5 Potencial de los SOI

La figura (3) esquematiza una posible red de sensores conectados por fibra óptica a un control central en un petrolero (industria petro-química). Este esquema ilustra las características de los SOI apuntadas en la introducción: capacidad de multiplexación (TDM, FDM, WDM), construcción de redes de sensores con el control central remoto en la sala de mando de la nave, seguridad al eliminar el peligro de explosión, y resistencia en ambientes hostiles (temperatura, corrosión, y vibración).

La aplicación de redes de SOI en la industria aeroespacial [9], figura (4), además de las ventajas acabadas de enunciar presenta las siguientes: ligereza, buenas prestaciones, miniaturización, ausencia de "crosstalk" (inmunidad a las EMI), etc.

6 Conclusiones

Actualmente, los SOI están en una primera etapa de investigación y desarrollo, siendo por lo tanto costosos. Sus aplicaciones más inmediatas se plantean en equipos de altas prestaciones, donde sus ventajas sean requeridas.

7 Referencias

- [1] R. Th. Kersten, *Optical Fiber Sensors: Principles and Components*, J. Dakin & B. Culshaw eds., Artech House, pp. 277-317 (1988).
- [2] S. Valette, S. Renard, J.P. Jadot, P. Gidon and C. Erbeia, *Sensors and Actuators A*, vol. 23, pp. 1087-1091, (1990).
- [3] H. F. Taylor, *Proceedings IEEE*, vol. 75, pp. 1524-1535, (1987).
- [4] P.V. Lambeck, *Sensors and Actuators B*, vol. 8, pp. 103-116, (1992).
- [5] N.A. Jaeger and L. Young, *IEEE J. Lightwave Technology*, vol. LT-7, pp. 229-235, (1989).
- [6] L.M. Jonhson, F.J. Leonberger and G.W. Pratt, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 41, pp. 134-136, (1982).
- [7] M. Ohkawa, M. Izutsu and T. Sueta, *Appl. Opt.*, vol. 28, pp. 5153-5157, (1989).
- [8] S. Valette, *Proceedings ECIO'93 (Neuchâtel, Switzerland, March, 1993)*, pp. 12-1, 12-3.
- [9] R. Baumbick, *Proceedings SPIE*, vol. 1374, pp. 238-250 (1990).

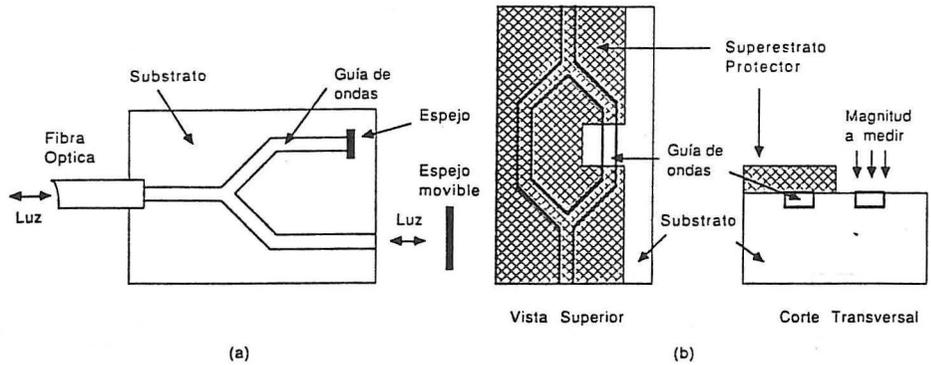


Figura 1: (a) SOI extrínseco basado en un interferómetro de Michelson que mide el desplazamiento del espejo móvil. (b) SOI químico intrínseco basado en un interferómetro de Mach-Zehnder, diseñado para medir la concentración de una sustancia química.

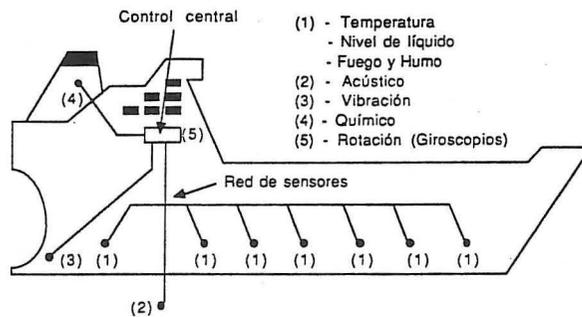


Figura 2: Ilustración de una posible red de sensores ópticos interconectados por fibra óptica a un control remoto central, en un barco petrolero (industria petro-química).

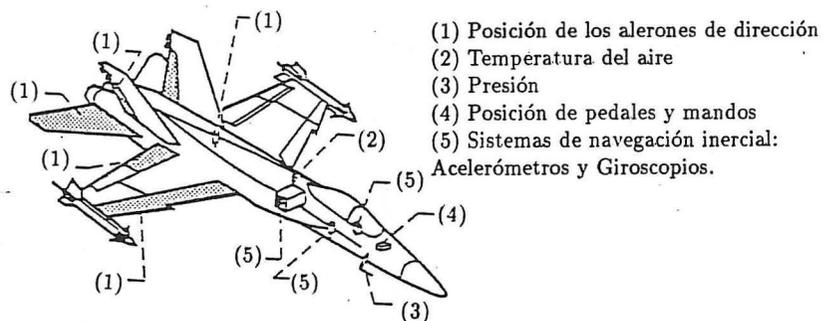


Figura 3: Ilustración en una nave aerospacial de una red de posibles sensores ópticos, interconectados por fibra óptica al control central situado en la cabina del piloto.