

ONDAS HIBRIDAS EN GUIAS OPTICAS ULTRADELGADAS

C. Ojeda, J. Cid 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 existence conditions and waveguiding properties of new hybrid, TE and TM dominant waves guided by ultrathin organic films cladded by birefringent crystals are reported.

Resumen

Los materiales orgánicos, cuyas propiedades ópticas son fácilmente ajustables, tienen unas grandes aplicaciones para los dispositivos fotónicos integrados, pasivos y no lineales, de segundo y tercer orden (ver e.g. [1]). En la actualidad se han desarrollado diferentes técnicas de fabricación en geometrias planas y bidimensionales, que proporcionan guias opticas con dimensiones típicas del orden de micrómetros. La tecnología actual permite construir tambien películas delgadas y ultradelgadas de espesor menor, del orden de 10-1000 nm, con un control preciso de la estructura y dimensiones de la película, por ejemplo mediante técnicas de deposición Langmuir-Blodgett. Nuestro objetivo en esta comunicación es poner de manifiesto que este tipo de guias de onda ópticas, consistentes en películas ultradelgadas sobre un sustrato de cristal birrefringente positivo, si se diseñan adecuadamente permiten la existencia de ondas adicionales que no habían sido investigadas con anterioridad.

Centraremos nuestra atención en películas ultradelgadas de espesor D , recubiertas por un cristal birrefringente cuyos índices de refracción ordinario y extraordinario son n_{os} y n_{es} , y en un medio isótropo con índice de refracción n_c , u otro medio birrefringente con índices de refracción n_{oc} y n_{ec} . A efectos ilustrativos, los resultados numéricos corresponderan a los parámetros típicos de una película orgánica depositada sobre cristal de cuarzo, y como cubierta se utilizará un cristal isótropo (típicamente Corning) o cristal líquido 5CB, operando con radiación $\lambda = 532\text{nm}$, proveniente de un laser de Nd:YAG de frecuencia doblada. Centraremos nuestra atención en espesores en el rango de 50 a 150 nm, que corresponden con los resultados típicos dados por las películas ultradelgadas de Langmuir-Blodgett. Consideramos configuraciones X o $Y - cut$, en las que los ejes ópticos de los cristales se sitúan en el plano de la guía, formando un ángulo θ con el eje de la guía.

Con la excepción de las configuraciones en las que se produce propagación paralela o perpendicular al eje óptico, las ondas guiadas por la estructura considerada son de tipo híbrido con las seis componentes de campo. La tecnología de óptica integrada emplea típicamente configuraciones y materiales para los cuales $n_{es} > n_{os} > n_c$ (e.g. guías de onda de LiTaO_3 con cubierta SiO_2). Dichas estructuras permiten la existencia de ondas TE-TM e híbridas, pero como es bien conocido, existe un espesor de corte, mínimo para que existan ondas totalmente guiadas. Sin embargo, las guías de onda adecuadamente construidas con $n_{es} > n_c > n_{os}$, no muestran dicho espesor de corte [2]. Las estructuras asimétricas consistentes en películas ultradelgadas sobre un material birrefringente (con $n_{es} \neq n_{ec}$ y $n_{os} \neq n_{oc}$, o bien $\theta_s \neq \theta_c$) muestran propiedades análogas, permitiendo la existencia de ondas totalmente guiadas para cualquier valor del espesor de la película [3]. Por encima de los valores de corte, estas ondas son los bien conocidos modos híbridos guiados [4], y para $D/\lambda \rightarrow 0$, con λ la longitud de onda de trabajo, conducen a las ondas de superficie guiadas por la interfase entre la cubierta y el sustrato. La existencia de estas ondas de superficie fue puesta de manifiesto por Dyakonov [4].

Cuando tratamos con un medio isótropo en la cubierta, el margen angular de orientaciones del eje óptico que permite la existencia de ondas de superficie guiadas depende muy fuertemente del valor de la birrefringencia del sustrato y del índice de refracción del material de la cubierta. Para el cristal de cuarzo, el intervalo angular permitido es extremadamente pequeño, $\Delta\theta \sim 1^\circ \times 10^{-3}$, mientras que para cubiertas de cristal líquido 5CB los cálculos predicen valores típicos de $\Delta\theta \sim 0.5^\circ$. Sin embargo, el punto importante es que en ambos casos el margen angular aumenta rápidamente con el espesor de la película. Conforme D/λ aumenta, las orientaciones del corte del eje óptico se acercan a 0° y 90° . En el caso de una película isótropa, los valores límite se alcanzan para los espesores de corte de las ondas guiadas con polarización TE. Por otra parte, la razón entre las componentes transversales y longitudinales de los campos de las sondas guiadas depende de la orientación del eje óptico, alcanzando el valor mínimo en el punto de corte de radiación hacia el sustrato. Análogamente, el cálculo de las fracciones de potencia TE y TM que transporta la onda híbrida guiada en una película ultradelgada (régimen monomodal), muestra que $P_{TE} \gg P_{TM}$, poniendo de manifiesto la naturaleza TE dominante de la onda híbrida.

Centrémonos ahora en las estructuras asimétricas con medios birrefringentes en la cubierta. La Figura 1(a) ilustra (no a escala) las orientaciones permitidas del eje óptico del sustrato que permiten la existencia de ondas guiadas de superficie en una interfase simétrica (pero con $\theta_c \neq \theta_s$), para un valor dado de θ_c . El intervalo angular de posibles valores de θ_s está prácticamente centrado en $-\theta_c$, y su anchura depende del valor de θ_c . Para

una interfase cuarzo-cuarzo y $\theta_c = 30^\circ$, $\Delta\theta \simeq 1^\circ \times 10^{-2}$, mientras que en un cristal líquido 5CB $\Delta\theta \simeq 2.3^\circ$. Conforme crece el espesor de la película, el margen angular aumenta rápidamente y aparece un nuevo intervalo permitido casi simétrico (centrado en $+\theta_c$). La Figura 1(b) es representativa de una configuración típica de película ultradelgada. Finalmente, la Figura 1(c) corresponde a una cubierta birrefringente diferente al material que forma el sustrato. En este caso, debido a la naturaleza asimétrica de la guía de onda, existe espesor de corte para los modos TE y TM que tiene lugar para $\theta_c = \theta_s = 0^\circ, 90^\circ$, pero de nuevo no hay corte de las ondas híbridas. Además, las ondas de superficie guiadas por la interfase cubierta-sustrato existen para orientaciones del eje óptico del sustrato dentro del intervalo angular permitido centrado en $\pm\theta_{s0}$, donde θ_{s0} es la orientación del eje óptico cumpliendo $n_{es}(\theta_{s0}) = n_{ec}(\theta_c)$, con $n_e(\theta)$ el índice de refracción extraordinario de la onda que se propaga en el cristal uniaxial. En la Figura 2 se muestra la dependencia del índice efectivo de las ondas guiadas con la orientación del eje óptico, para una muestra típica basada en cuarzo cristalino con dos espesores distintos de la capa guiante, que corresponden a una guía monomodo y a una bimodo. En la región monomodal la onda guiada es TE dominante, mientras la segunda es TM dominante. La Figura 3 nos muestra la gráfica grosor-orientación eje óptico, donde se observan las tres regiones posibles de operación: zona prohibida (corte), región monomodal y zona con propagación de dos ondas guiadas.

En conclusión, el resultado principal de este trabajo es que las guías de onda adecuadamente construidas, consistentes en películas ultradelgadas recubiertas por cristales positivos birrefringentes, no muestran corte para la existencia de una onda totalmente guiada con polarización casi transversal, y por lo tanto existen ondas híbridas guiadas por debajo del punto de corte usual. Las condiciones de existencia de tales ondas dependen fuertemente de los grosores de la película y de los diferentes índices de refracción de los materiales involucrados. Las posibles aplicaciones de estas ondas a dispositivos fotónicos dependen de la posibilidad de sintonizar la orientación de corte del eje óptico a través de los parámetros de la guía de ondas, bien controlando el procedimiento de fabricación o por medio de procedimientos dinámicos.

Referencias

- [1] L.A. Hornak ed., "Polymers for Lightwave and Integrated Optics," Marcel Dekker, NY, 1992.
- [2] L. Torner, J.P. Torres and D. Mihalache, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, **5** (1993) 201.
- [3] A. Knoesen, T. K. Gaylord and M. G. Moharam, *J. Lightwave Technol.*, **6** (1988) 1083.
- [4] M.I. D'yakonov, *Sov. Phys. JETP*, **67** (1988) 714.

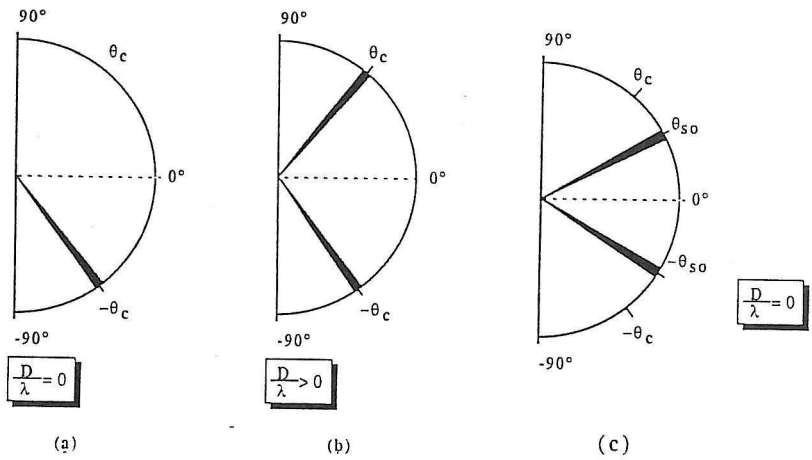


Figura 1: Diagramas polares de las orientaciones del eje óptico permitidas para que existan ondas guiadas en la interfase y películas ultradelgadas. (a)-(b): estructura simétrica; (c): interfase asimétrica.

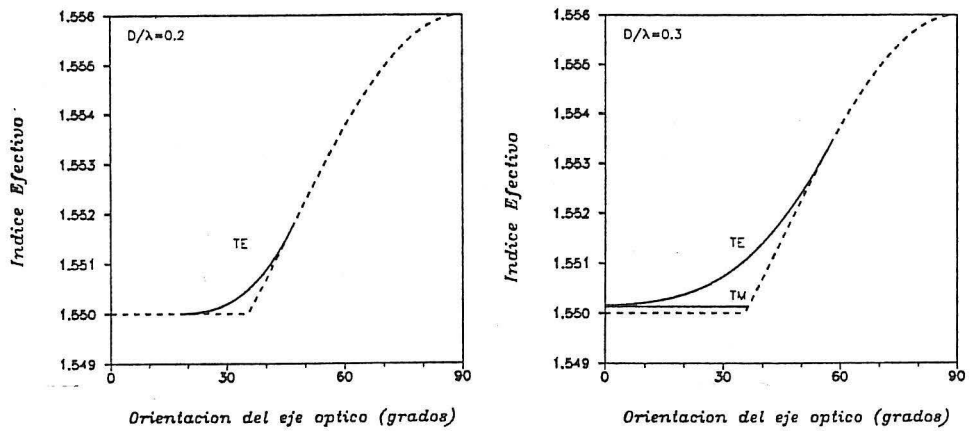


Figura 2: Índice efectivo de las ondas guiadas en función de la orientación del eje óptico. (d): $D/\lambda = 0.2$; (e): $D/\lambda = 0.3$

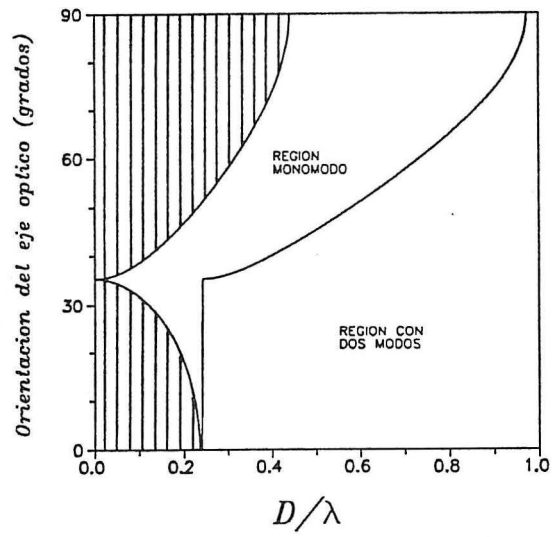


Figura 3: Regiones de existencia de ondas guiadas en función de los valores de la orientación del eje óptico y del espesor normalizado de la película.