

## OPTICA INTEGRADA : ELABORACION Y CARACTERIZACION DE GUIAS DE ONDA PLANAS

Luis Mosquera, Roddy Ramos, Enver Fernández, Jorge León, Hernán Soldevilla,  
Guido Castillo, Aníbal Valera, \*Mauro Lomer

Facultad de Ciencias / Laboratorio de Optica

\* Grupo de Ingeniería Fotónica /Universidad de Cantabria / Santander/ España

### RESUMEN

*En esta publicación presentamos los primeros resultados obtenidos en la UNI, en la técnica de elaboración y caracterización de guías ópticas. Este trabajo se inició en el marco de un curso teórico experimental dictado por el Prof. Mauro Lomer en Agosto 98.*

*Se presenta la teoría básica, los Métodos de elaboración empleados, el proceso de caracterización empleado y los resultados.*

### ABSTRACT

*In this paper, we show the first results obtained in the UNI, about the technology of elaboration and characterization of optical guides. This Work was initiated in August 98, in relation to a Workshop organized in our Lab by Prof. Mauro Lomer.*

*We present here the basic theory, the applied elaboration Methods, the characterization process and results.*

### INTRODUCCION

La Optica Integrada se inicio como línea de Investigación aplicada a fines de los años 60. Desde un inicio, la intención fue desarrollar dispositivos ópticos de modo análogo a los circuitos integrados de la electrónica convencional. No obstante, en la actualidad los avances de la óptica integral constituyen la base de una nueva generación de dispositivos optoelectrónicos que reemplazara a corto plazo la tecnología de semiconductores, por sus diversas ventajas, ante todo la velocidad de respuesta.

De modo análogo al caso de las fibras ópticas, la óptica integrada se fundamenta en el hecho que las ondas de luz pueden ser confinadas y guiadas por capas delgadas de material transparente. Combinando tales películas con estructuras apropiados, la tecnología de óptica integral ha logrado realizar una gran variedad de dispositivos, cuyas funciones abarcan una gran variedad de operaciones pasivas y activas. Así por ejemplo, la luz puede ser guiada, modulada, derivada, filtrada, concentrada, e incluso posibilitar la generación de radiación Láser.

Estas componentes son pequeñas y compactas, lo cual en analogía a los circuitos integrados de la electrónica, permiten reducir notablemente la configuración de los equipos y componentes ópticos convencionales, posibilitando así, incorporar en un solo elemento múltiples funciones, que usualmente requerirían de todo un Laboratorio para realizar tales montajes. Las primeras aplicaciones son desde ya muy significativas : comunicaciones ópticas, sensores ópticos, tratamiento de señales, etc.

En lo que sigue, nos limitamos a describir en la parte teórica, los lineamientos básicos de las guías ópticas dialécticas, en la parte experimental los métodos de fabricación usados en la UNI, así como el método de caracterización empleado. Finalmente presentamos los primeros resultados obtenidos.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

Las estructuras usadas ordinariamente como guías de ondas son capas dialécticas de geometría plana (Películas, tiras) . En la figura 1 se muestra de manera esquemática, la configuración mas simple de una guía óptica, en donde una película plano paralela de índice de refracción  $n_f$  es colocada a

modo de sandwich entre un soporte y una cubierta de índices de refracción menores  $n_s$  y  $n_c$ . Frecuentemente el material de cubierta es aire y el material de soporte vidrio, por tanto  $n_c = 1$  y  $n_s = 1.51$ .

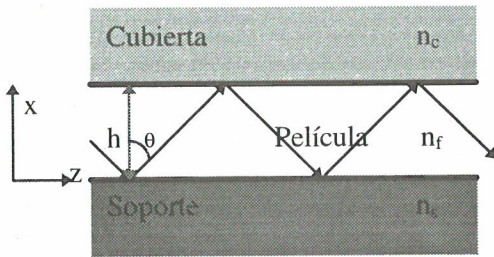


Fig.1 Vista esquemática de una guía de onda plano paralela, consistente de una película fina de espesor  $h$  e índice de refracción  $n_f$ , acotada entre un material de soporte ( $n_s$ ) y una cubierta ( $n_c$ ).[2]

En la figura 1 se muestra que para aquellos rayos que cumplen la condición de confinamiento, la luz se va a propagar en la dirección  $z$ , con una constante de propagación efectiva  $\beta$  [1].

El efecto de confinamiento se debe a la reflexión total que ocurre para incidencias internas con ángulos  $\theta$  (ver Fig. 1) mayores que el ángulo crítico ( $\theta_c$ ), dado por la relación [1]:

$$\text{sen } \theta_c = n_s / n_f$$

$$\beta = k n_f \text{sen } \theta$$

No obstante, no todos los ángulos  $\theta$  están permitidos; sino un número discreto (Modos), que cumplen la condición de resonancia transversal [1]:

$$2 k n_f h \cos \theta - 2 \phi_s - 2 \phi_c = 2 v \pi$$

donde  $v$  es un entero (0, 1, 2...) que identifica al número del Modo,  $\phi_s$  y  $\phi_c$  son los desfases que se producen en las respectivas interfaces :

$$\phi_s = \tan^{-1} (n_f^2 \text{sen}^2 \theta - n_s^2)^{1/2} / (n_f \cos \theta)$$

$$\phi_c = \tan^{-1} (n_f^2 \text{sen}^2 \theta - n_c^2)^{1/2} / (n_f \cos \theta)$$

La ecuación de resonancia constituye también la ecuación de dispersión de la guía óptica, relacionando la constante de propagación  $\beta$  como una función de la frecuencia  $\omega$  y el espesor de la película  $h$ . Debido a que los posibles valores de  $\beta$  ocurren para :

$$k n_s < \beta < k n_f .$$

se suele definir un índice efectivo ( $N_i$ ) por Modo  $i$ , dado por la expresión:

$$N_i = \beta_i / k = n_f \text{sen } \theta_i$$

$$\text{en donde : } n_s < N < n_f$$

La ecuación de resonancia constituye una ecuación trascendente, que debe ser resuelta numéricamente por aproximaciones sucesivas.

## PARTE EXPERIMENTAL

### A) ELABORACION DE LAS GUIAS OPTICAS

Los métodos usados para producir capas para guías de onda se pueden dividir en dos clases: aquellas en que las capas son realizadas por la formación de un material sobre un sustrato (evaporación al vacío, por ejemplo) y aquellos en los cuales se forman en el mismo sustrato por algún proceso químico o reacción física (Intercambio iónico, difusión).

A continuación nos limitamos a describir en este artículo dos de las técnicas empleadas en nuestro Laboratorio para la elaboración de guías ópticas: El método de Intercambio iónico y el método de difusión.

**El Método de intercambio iónico**, es la técnica menos compleja, desde el punto de vista de equipamiento y consiste en modificar el índice de refracción del sustrato (vidrio, por ejemplo) a partir de la superficie. Para lo cual se sumerge una lamina de vidrio en un baño de una sal que contenga iones metálicos móviles en donde :

$$n_s < N < n_f .$$

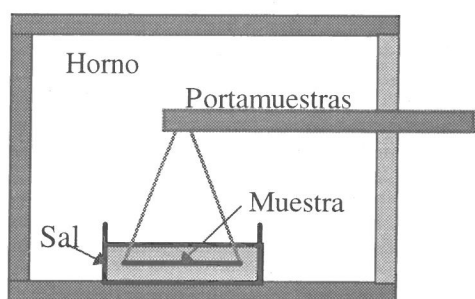


Fig.2: Diagrama esquemático del montaje experimental usado para elaborar guías ópticas por el método de intercambio iónico

( $K^+$ ,  $Cu^+$ ,  $Ag^+$ , ...por ejemplo), como se muestra en la figura 2. Las variaciones de índice de refracción y/o profundidad de penetración dependen fuertemente de los parámetros del proceso, que son básicamente la temperatura y el tiempo del baño).

En nuestro caso se uso Nitrato de plata ( $AgNO_3$ ), que en una cantidad de 125 gr. se fundió en un recipiente de acero inoxidable. Como substratos se usaron laminas de vidrio (portamuestras de microscopio). Manteniendo la temperatura del baño constante ( $392^\circ C$ ), se elaboraron 4 muestras a diferentes tiempos de exposición: 10', 15', 20' y 25', resultando todas guías Multimodo, mostrándose un mínimo de 8 Modos para la muestra de 10'.

**El método de Difusión**, es una de las técnicas mas difundidas a nivel general, sobre todo en aplicaciones en la microelectrónica, su empleo en la elaboración de guías ópticas conlleva muchas ventajas practicas, como por ejemplo la realización de diseños especiales.

En nuestra experiencia la difusión se realizo en fase sólida, a partir de un depósito previo de una capa metálica sobre el substrato (vidrio), como se muestra esquemáticamente en la figura 3 por el método de intercambio iónico.

Las capas metálicas depositadas por evaporación al vacío fueron respectivamente películas de cobre y plata, con espesores del orden de 0,1 micras. Luego del proceso de difusión el resto de la capa metálica se remueve con un solvente apropiado. Se construyeron 5 guías ópticas en base a difusión de cobre y 8 en base a la difusión de plata, según los

tiempos y temperatura descritos en la tabla 1: Todas ellas Multimodo con un mínimo de 5.

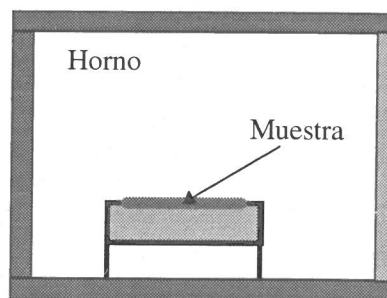


Fig.3: Diagrama esquemático del montaje experimental usado para elaborar guías ópticas por el método de difusión térmica.

**Tabla 1 :** Guías Ópticas elaboradas por el método de difusión, indicándose el tiempo que la muestra fue sujeta al tratamiento térmico y la temperatura correspondiente.

Muestra	Tiempo / min.	Temp. / $^\circ C$	Diseño
Cu 01	30	420	Planar
Cu 02	15	420	Planar
Cu 03	2	420	Planar
Cu 04	10	286	Circular
Cu 05	25	290	Cuña
Ag 01	30	420	Planar
Ag 02	10	365	Planar
Ag 03	10	305	Planar
Ag 04	10	292	Cuña
Ag 05	10	292	Circular
Ag 06	10	260	Planar
Ag 07	10	231	Planar
Ag 08	10	256	Planar

## B) EVALUACION DE GUIAS OPTICAS

El principal método de evaluación de guías ópticas, consiste en excitar los distintos Modos propios desde un extremo de esta (Zona de ingreso) y detectar su salida del otro extremo (Zona de salida), para lo cual se acopla la radiación incidente (Láser) mediante un prisma de índice de refracción alto. En la figura 4 se presenta de manera esquemática el efecto de acople. Se hace incidir un haz de luz monocromática



(Láser He-Ne: 633 nm, por ejemplo) sobre la superficie del prisma con un ángulo de incidencia ( $i$ ), al penetrar en el prisma este es refractado y alcanza la guía en el punto P, penetrando en ella con un ángulo de refracción  $g$ .

Para asegurar un buen acoplamiento entre el prisma y la guía, es necesario que el espesor de la cuña de aire entre ellos sea inferior a  $\lambda/2$  (316 nm), lo que en la práctica se logra ejerciendo una presión controlada sobre el sustrato. En nuestro caso se logra realizar el acople mediante un aceite de inmersión (Di bromo naftalina,  $n = 1.656$ )

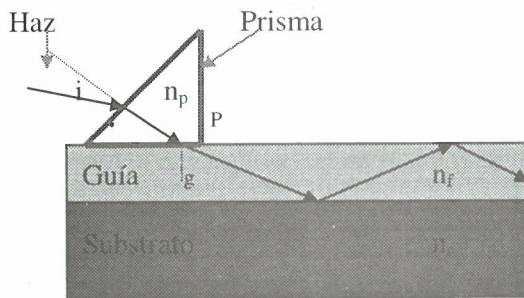


Fig. 4: Acoplamiento de un haz incidente (Láser) en una guía óptica ( $n_f$ ) mediante un prisma de índice de refracción alto ( $n_p$ );  $i$ : ángulo de ingreso al prisma,  $g$ : ángulo de un Modo de la guía. [2]

Para efectos experimentales se dispone el conjunto (Guía, prisma) sobre una mesa goniométrica rotatoria, de modo tal que sea posible variar el ángulo de incidencia en un gran rango angular, como se muestra en la figura 5. Sobre una pantalla se observa la luz proveniente del prisma.

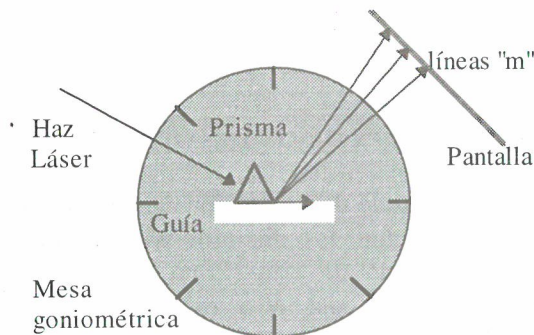


Fig.5: Diagrama esquemático del arreglo experimental empleado en la observación de los modos de las guías ópticas.

En la experiencia, cuando la luz guiada sale por la extremidad de la guía, se mide el ángulo de ingreso  $i$ , lo que permite deducir el índice efectivo de cada Modo (figura 6). En el equipo descrito, la rotación de la mesa goniométrica se efectúa manualmente y la determinación de los Modos propios se efectúa visualmente. Este procedimiento resulta apropiado, si la guía dispone solo de algunos Modos, no obstante si se trata de una guía de muchos Modos, la metodología manual no es suficiente. Por tal motivo una próxima tarea del grupo es la de automatizar del sistema con el objeto de dar precisión a las medidas.

## C) RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación nos limitamos a presentar los resultados experimentales (Tabla 2) obtenidos manualmente con el montaje de la figura 5 en base a la muestra Ag08, obtenida por difusión térmica. Esta muestra es la única que muestra pocos Modos propios, lo que facilita su evaluación.

Tabla 2: Resumen de parámetros modales obtenidos para la guía óptica Ag08

Modo	Angulo incidencia	Indice efectivo	Angulo del Modo
0	28.75	1.677	88
1	27.75	1.673	85.5
2	26.25	1.667	83

La solución de la ecuación de resonancia para esta muestra (Ag 08), dio como resultado un índice de refracción de la guía óptica  $n_f = 1.678$  y un espesor efectivo  $h = 4.513 \mu\text{m}$ .

## DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Los resultados aquí presentados representan un avance respecto a la tarea sistemática de fabricación y caracterización de guías ópticas que se tiene por delante.

Un análisis interferométrico de las muestras realizadas permiten afirmar que las muestras realizadas por difusión térmica son de mucho mejor calidad que las realizadas por intercambio iónico, notándose en estas últimas irregularidades tipo burbujas.

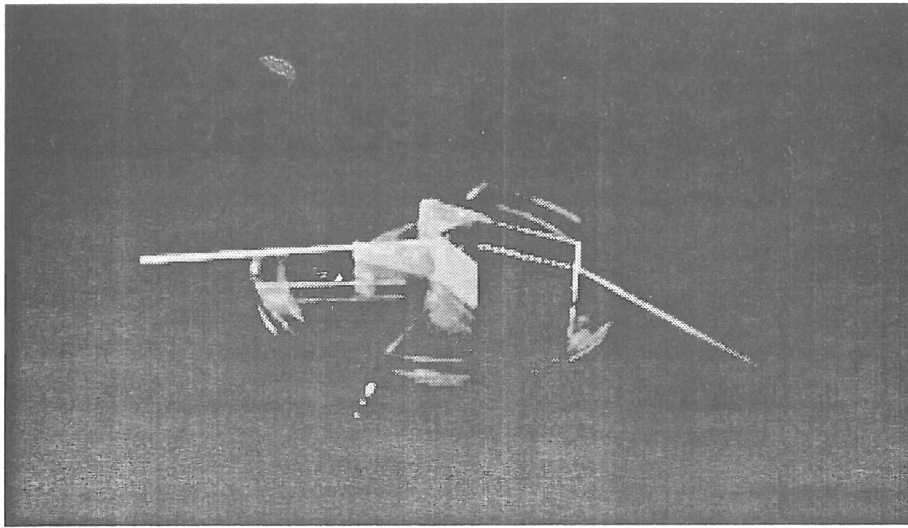


Fig. 6 Detalle del procedimiento experimental de generación de Modos propios de una guía óptica./Lab UNI/

Con respecto a los resultados obtenidos con la muestra Ag 08, estos son coherentes con la teoría, no obstante la limitación, respecto a la excitación de solo tres modos se puede explicar por el hecho de usar un líquido de contacto con el prisma, con lo cual el ángulo límite de acople se fija alrededor de  $81^{\circ}$ . Medidas precisas a realizar podrán confirmar estas conclusiones.

#### RECONOCIMIENTO

Los experimentos de óptica Integral y enfoque teórico descritos fueron realizados en el marco de un Curso Teórico/Experimental desarrollado en nuestros Laboratorios por el Profesor Mauro Lomer de la Universidad de Cantabria, entre el 10 y 21 de Agosto 1998, lo cual ha permitido abrir una línea de trabajo de implicancias tecnológicas importantes, por lo cual quedamos muy reconocidos.

La realización de este curso tuvo el apoyo del Instituto General de Investigación de la UNI (IGI), por lo cual quedamos también muy reconocidos.

#### REFERENCIAS

1. Tamir, T. "Integrated Optics" Springer Verlag, Berlín 1982
2. Lomer, M. "Optica Integrada" Edición especial, próximo a publicarse.

