

Nuevo e Intuitivo Método para Diseñar Preformas de Fibras Ópticas realizadas por MCVD

J.M. López-Higuera, Adolfo Cobo, Constantino Pérez, J.L. Arce, Mauro Lomer
Grupo de Ingeniería Fotónica - Dpto. de Electrónica - Universidad de Cantabria
Avda. Los Castros S/N
39005 Santander

Abstract.- In order to design optical fibre preforms, sophisticated methods can be used taking into consideration tolerances in the fabrication processes. However, these mentioned methods are "cold" from the point of view of the easy of interrelation of the main important parameters of the preform, and complex numerical calculations are necessary.

A new easy and intuitive method is presented in this paper. Fundamental normalized parameters of the preforms such as index increase, doping concentrations, etc. and the most importantly, the optical fiber that will be obtained drawing the preform, in given conditions (mode size, cut-off wavelength, core diameter, effective index, ...) are interrelated. The developed method is based on the drawing of simple horizontal and vertical straight lines on a group of suitably assembled graphs which are obtained either theoretically or experimentally. The method has been checked with results obtained from preforms and optical fibers recently fabricated.

1. Introducción.

Para diseñar preformas, se han desarrollado métodos sofisticados que incluyen parámetros de instalación y de los procesos de fabricación. No obstante, por un lado estas técnicas requieren complejos cálculos numéricos, y por otro, no ofrecen una fácil comprensión de interrelación de los diferentes parámetros, y finalmente, debido a la gran componente experimental, casi siempre son necesarios ajustes "finos" durante la fabricación para conseguir los resultados deseados.

En este trabajo se presenta un nuevo método que permite interrelacionar de manera sencilla e intuitiva los parámetros normalizados más representativos de las preformas (incremento de índice, diámetro de núcleo, concentración de dopantes) y lo que es más importante, de las fibras que se obtendrán después del proceso de "estirado" de la preforma, realizado en unas determinadas condiciones (tamaño del modo, índice efectivo, longitud de onda de corte, etc)

El método desarrollado se basa en el trazado de simples rectas horizontales y verticales sobre un grupo de gráficas, debidamente ensambladas, que ha sido obtenidas teórica o experimentalmente. El mencionado método ha sido convenientemente programado para su uso en simples computadores PC. Diseños realizados con este método han sido positivamente contrastados con los resultados obtenidos de preformas y fibras ópticas fabricadas recientemente en el Reino Unido.

En lo que sigue se presentan los fundamentos en los que se basan los diferentes gráficas que integran el ábaco o carta, piedra angular del método, se realizará un diseño, y finalmente se extraerán las conclusiones pertinentes.

2. Fundamentos.

La carta o ábaco desarrollado está integrado por 6 gráficas, 5 de las cuales se han obtenido teóricamente y una de forma experimental. En lo que sigue se justifican cada una de ellas.

2.1 Gráfico 1. Ha sido obtenido relacionando el índice efectivo normalizado, b , y la frecuencia normalizada V :

$$b = \frac{n_{eff}^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} \quad (1)$$

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a_f \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2)$$

en las que n_1 y n_2 son los índices de núcleo y cubierta respectivamente, a_f es el radio del núcleo de fibra que se obtendrá de la preforma, y λ es la longitud de onda de la radiación óptica que se propagará por la fibra. El gráfico presentado ha sido calculado numéricamente para el caso de un perfil de índice en salto.

2.2 Gráfico 2. Interrelaciona el anteriormente mencionado parámetro V con un nuevo parámetro normalizado V' :

$$V' = \frac{V}{a_p'} \quad (3)$$

en la que a su vez::

$$a_p' = \frac{a_p}{c_e} \quad (4)$$

es el radio normalizado del núcleo de la preforma, siendo a_p el radio de la preforma, y c_e es el coeficiente de estirado que se deberá utilizar en el proceso de estirado de la preforma para convertirla en fibra óptica.

2.3. Gráfico 3. La distribución del campo eléctrico del modo fundamental guiado, puede considerarse, con una muy buena aproximación, que es función únicamente del parámetro normalizado V , para cada perfil de índice dado, tal y como se muestra en la figura 1.

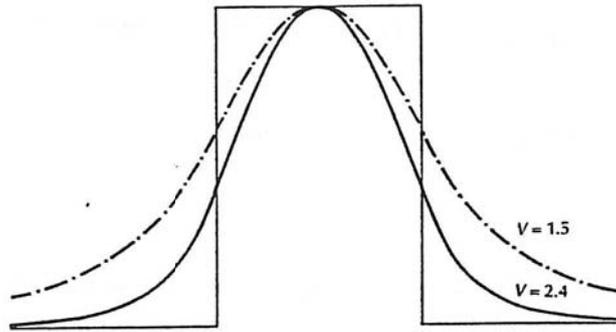


Figura 1. Forma del campo.

Por ello, es posible obtener una relación entre los parámetros normalizados V y tamaño del modo w' .

$$w' = \frac{w}{a'_p} \quad (5)$$

en la que w es el tamaño absoluto del modo, medido entre puntos en los que el campo decae hasta e^{-1} del máximo.

2.4 Gráfico 4. Definiendo la longitud de onda de corte normalizada como:

$$\lambda'_c = \frac{\lambda_c}{\lambda} \quad (6)$$

puede encontrarse con una precisión superior al 1% una relación aproximada con el tamaño del modo normalizado w' anteriormente definido. En el gráfico 4 se muestra la curva calculada para un supuesto de perfil de índice en salto.

2.5 Gráfico 5. De la frecuencia V puede extraerse la relación:

$$V'^2 \left(\frac{\lambda}{2\pi} \right)^2 = n_1^2 - n_2^2 \quad (7)$$

por lo que es factible, fijando una longitud de onda λ , obtener una interrelación entre V' y la diferencia de los cuadrados de los índices de núcleo y cubierta.

2.6 Gráfica 6. Como es conocido, la técnica modificada de deposición química en fase vapor (MCVD) es profusamente utilizada para producir cristales con alta transparencia y con óptimas propiedades ópticas. La modificación del índice de refracción de lo que será el núcleo se produce a través del dopado en fase vapor de la capa interna del tubo de lo que será la preforma con unos compuestos tales como el TiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , Ge_2O_2 , etc. [1].

Como el incremento del índice de refracción es proporcional a la concentración de dopantes introducidos, manteniendo la referida, constante o no en las sucesivas capas que se depositarán, se

obtienen perfiles transversales de índice de salto o graduales de las preformas que tras el proceso de colapsado se conseguirán.

Así pues, el gráfico 6 se ha obtenido a partir de datos experimentales.

3. Ejemplo de diseño.

Con el objetivo de ilustrar el método propuesto, en lo que sigue se presenta un ejemplo de aplicación. Para obtener una fibra óptica de salto de índice con un radio de núcleo de $5 \mu\text{m}$ que produzca máximo confinamiento del único modo que se propagará a la longitud de onda de $1.55 \mu\text{m}$, se procederá:

Por un valor de V (2,21) que garantice el funcionamiento monomodo, pero lo más próximo a la frecuencia normalizada de corte ($V=2,405$) para lograr el máximo confinamiento, se traza una horizontal y los consiguientes verticales, sobre el ábaco. De los cortes con los ejes se obtienen los siguientes resultados:

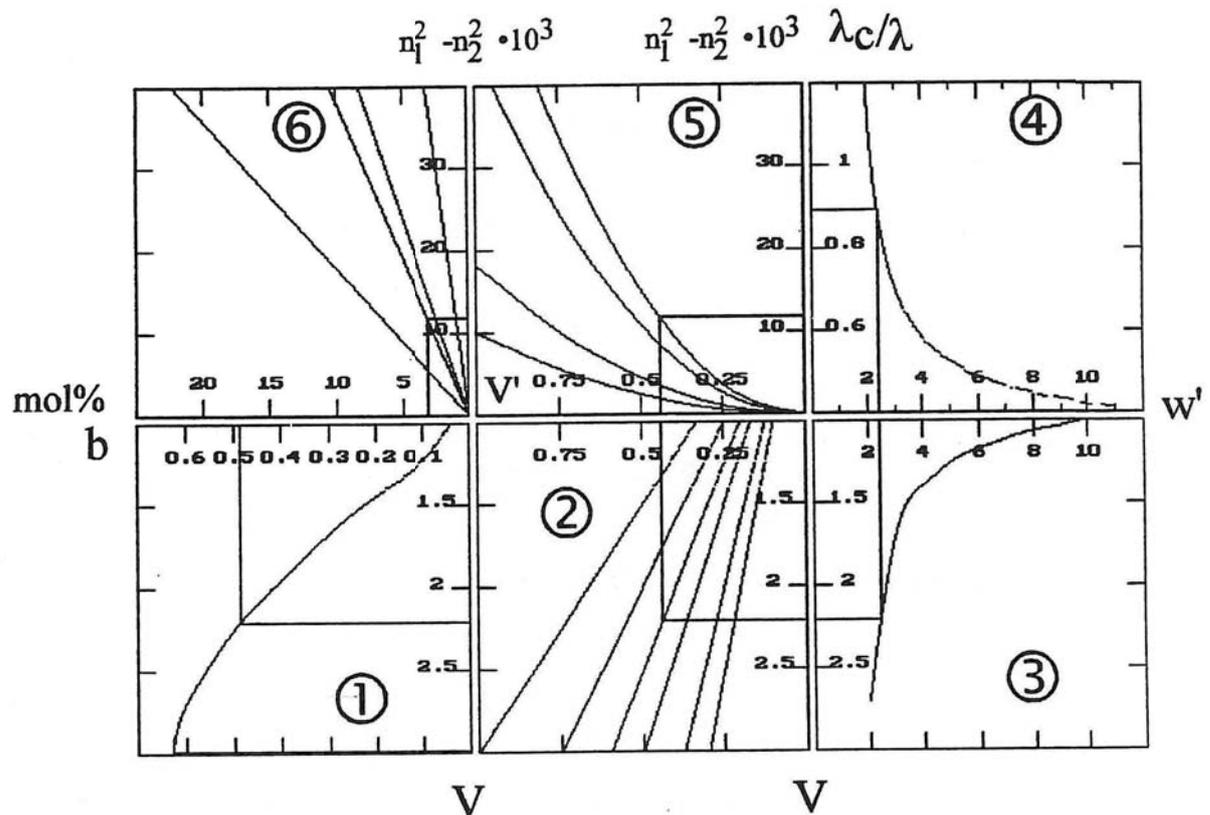


Figura 2. Ábaco correspondiente al ejemplo (véase texto).

$$\begin{array}{lll}
 V=2,21 & V'=0,440 & (n_1^2-n_2^2)=11,80 \cdot 10^{-3} \\
 w'=2,40 & \lambda'_c=0,892 & b=0,48
 \end{array}$$

Tamaño del modo $w = 12,0 \mu\text{m}$.

Longitud de onda de corte = $1,38 \mu\text{m}$.

Lo que puede ser obtenido fabricando una preforma con un dopado de 3,0 % moles de Ge_2O_2 . y utilizando un coeficiente de estirado de $c_e=75$, deberá tener un radio de núcleo de $375 \mu\text{m}$.

4. Conclusiones.

Un método nuevo, sencillo e intuitivo ha sido propuesto para diseñar preformas de fibra óptica realizadas mediante la técnica modificada de deposición química en fase vapor.

El referido método se fundamenta en una carta gráfica o ábaco compuesto por 6 gráficas obtenidas teórica o experimentalmente.

Los diseños pueden realizarse trazando simples rectas horizontales y verticales, de cuyos cortes con los ejes y tras la consiguiente desnormalización, pueden obtenerse los parámetros más significativos de las fibras ópticas y de las preformas que se realizarán.

El método ha sido favorablemente chequeado con los resultados obtenidos de preformas y fibras que se han fabricado.

Referencias:

[1] K.J. Bealy & C.R. Day "A review of glass fibers for optical communications", Phys. and Chem. of Glass, 21, pp. 5-21, 1980.

Agradecimientos:

Este trabajo ha sido desarrollado gracias al soporte aportado por Caja Cantabria y el proyecto CICYT TIC92-0052-C02-02