



# Fibras Ópticas de Múltiples Recubrimientos

M. Aurora Filigrana de la Cruz, J. A. Uther Boylan Ballinas  
Rafael Martínez Gordillo, A. Luis-Ramos  
Facultad de Ciencias de la Electrónica  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Av. 18 sur y San Claudio, C. U.  
Puebla, Mex  
e-mail:aluis@ece.buap.mx

## RESUMEN

En este trabajo se pretende hacer una revisión acerca del estado de arte que presentan las fibras de múltiples recubrimientos. Se presentan diferentes tipos de fibras y su evolución desde la introducción del recubrimiento. Este trabajo no pretende ser llevar a cabo un análisis profundo tanto de particularidades físicas como del proceso de confinamiento de la luz en ellas, sino el dar un panorama de los diferentes tipos de fibras que existen.

## 1. INTRODUCCION

Es evidente que aunque las fibras se conocen desde hace mucho tiempo y además se tenía conocimiento del principio de reflexión total interna desde fines del siglo XVII, es hasta que se logra colocarle un recubrimiento cuando se da un punto de inflexión en el desarrollo y aplicación en los sistemas de telecomunicaciones de éstas. Este es uno de los dos sucesos más importantes dentro del desarrollo de las telecomunicaciones ópticas, el otro es la invención del láser. Antes de tener fibras con recubrimiento, la luz que era guiada dentro de la fibra se perdía en el momento en que determinado material tocaba su superficie, cambiando el índice de refracción y rompiendo con el mecanismo de la reflexión total interna; además cualquier imperfección en la superficie de la fibra daba cabida a más pérdidas. Es por esto importante poner de relieve que el recubrimiento en las fibras juega un papel primordial en el confinamiento de la luz en las fibras.

La clasificación más común es referente a su perfil de índice de refracción dado que éste es una de las características principales de la fibra óptica; en ella podemos mencionar principalmente dos tipos: las fibras de índice escalonado o abrupto, y las de índice gradiente. La diferencia esencial de estos dos tipos de fibra es respecto a la forma en que se alcanza el mayor índice de refracción (el del núcleo en este caso), como su nombre lo indica, ya sea en forma de escalón o en forma gradual.

En esta clasificación se han realizado diversas modificaciones en los perfiles de índice de refracción, para diferentes tipos de aplicaciones. Dichas

modificaciones se han realizado principalmente en la parte del perfil que corresponde al recubrimiento. Esto no resulta extraño ya que como podemos observar el colocarle un recubrimiento en la fibra resulta en una mejor forma del confinamiento de los campos en ella, resultaba obvio entonces pensar que quizá el probar con diseños con diferentes de recubrimientos, podría influir fuertemente en las características de propagación. Es de aquí que surge la inquietud de probar con un diferentes perfiles de índice de refracción y aparecen por primera vez las fibras de doble recubrimiento que posteriormente se generalizan a las de múltiple recubrimiento.

## 2. FIBRAS DE MÚLTIPLE RECUBRIMIENTO

Las fibras de doble recubrimiento, llamadas de perfil W por la semejanza que su perfil de índice de refracción tiene con la letra respectiva [1], se desarrollan principalmente como fibras compensadoras de dispersión. Estas fibras abrieron también, nuevas posibilidades de aplicaciones, siendo dos de las principales como láseres de fibra y obviamente como fibras compensadoras de dispersión [2].

KAWAKAMI AND NISHIDA: DOUBLY CLAD OPTICAL FIBER

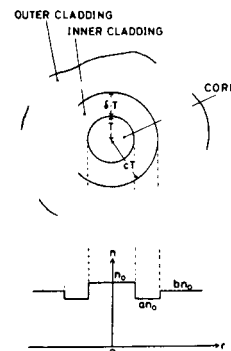




Figura 1.- Perfil de índice de refracción de una fibra tipo W.

Recientemente ha sido presentada una importante aplicación de este tipo de fibras como dispositivos compensadores de dispersión, usados en la instalación de un sistema de multiplexeo por división de longitud de onda denso (DWDM por sus siglas en inglés)[3]. También tendrían aplicaciones como filtros ópticos [4].

Otra fibra, perteneciente al grupo de fibras ópticas de múltiple recubrimiento, también estudiada es la fibra de monomodal de triple recubrimiento utilizada también como compensadora de dispersión. Además esta baja dispersión está disponible sobre una amplia banda de longitudes de onda, alrededor de la longitud de onda de cero dispersión.

En este grupo, otra fibra ampliamente estudiada es la de cuádruple recubrimiento[5] la cual tiene la remarcable propiedad de poseer dos longitudes de onda de dispersión cero. La cantidad de dispersión entre estos dos puntos permanece extremadamente pequeña, de tal manera que estas fibras, junto con las de triple recubrimiento, son totalmente libres de dispersión sobre un gran rango de longitudes de onda. Finalmente otra fibra de múltiple recubrimiento es la presentada por Thyagarajan [6], también diseñada como fibra compensadora de dispersión presentada a finales de 1996. Consiste de dos núcleos concéntricos altamente asimétricos. En esta fibra, el modo fundamental tiene valores de dispersión negativa bastante grandes, con diámetros de campo modal grandes en relación a los a las fibras compensadoras de dispersión existentes.

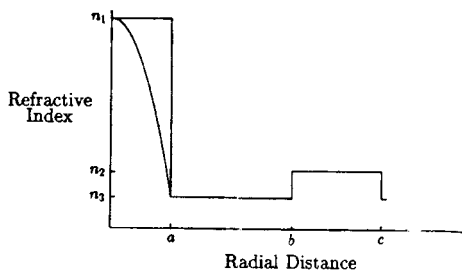


Fig. 1. Refractive index profile (RIP) of the proposed dual-core dispersing fiber (DCF).

Figura 2. Fibra compensadora de dispersión de dos núcleos.

En forma casi paralela al desarrollo de las fibras de múltiple recubrimiento aparecieron las fibras de microestructura aire-silicio, las cuales sus recubrimientos son diferentes al convencional y es debido a esto que las consideramos como fibras de recubrimientos no convencionales y de las cuales hacemos un breve recuento a continuación.

## 2.1 Fibras de microestructura aire-silicio

En años recientes, un nuevo campo con similares fines ha emergido, esta es el control de las propiedades ópticas de los materiales. La idea básica es tratar de prohibir la propagación de la luz o permitirla sólo en ciertas direcciones o frecuencias. Dada lo revolucionario que el manejo de las propiedades de los materiales tuvo en la electrónica, se espera (y de hecho ya se da) que en el caso de la luz el impacto sea aún mayor. Sobre todo en el área de las fibras ópticas, varios de estos avances se han presentado a lo largo de la década pasada, como se mencionó anteriormente, con fibras que presentan propiedades y habilidades similares a los cristales fotónicos.

La primera fibra de microestructura aire-silicio fue producida en los laboratorios Bell en 1972[7], un proyecto adelantado a su tiempo que ya presentaba amplias perspectivas e interesantes potenciales aplicaciones. El desarrollo de este tipo de fibras permaneció estancado hasta la década pasada cuando la investigación de nuevos materiales abrieron la posibilidad localizar (focalizar) y controlar la luz en cavidades y guías de onda por medio de un nuevo mecanismo físico llamado efecto de band gap fotónico (PBG por sus siglas en inglés).

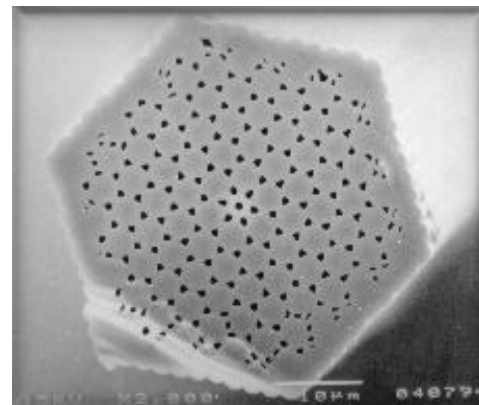


Figura 3.- Fibra de cristales fotónicos.



Este tipo de fibras tiene como característica principal que su recubrimiento está formado por estructuras periódicas parecidas a una estructura cristalina, por lo cual se les da el nombre general de fibras de cristales fotónicos, lo cual permite diferentes tipos de confinamiento de la luz. Esta característica singular de los recubrimientos, permite que las curvas de dispersión de los modos en este tipo de fibras presente regiones donde no está permitida la propagación de alguna frecuencia en particular (gaps fotónicos), como sucede en los cristales fotónicos. Un amplio rango de diferentes fibras de microestructura aire-silicio han sido exploradas. Estas incluyen: fibras de band gap fotónico, fibras de cristales fotónicos, la cual consiste de un núcleo rodeado por un arreglo de huecos de aire en la región del recubrimiento y guía la luz por reflexión total interna; la fibra de recubrimiento de aire Abramov [8] en la cual un aro de huecos de aire es introducido dentro del recubrimiento formando una región de depresión en la región del recubrimiento; y la fibra de microestructura high delta[9], la cual consiste de un núcleo de silicio rodeado por huecos de aire cercanamente espaciados. Cada fibra posee diferentes formas geométricas de huecos de aire con únicas propiedades ópticas y diferentes aplicaciones potenciales, como pueden ser láseres, compuertas, filtros, compensadores de dispersión, multiplexores, etc.

## 2.2 Fibra Coaxial Periódica

Otro tipo de fibra que presenta recubrimientos no convencionales es la fibra coaxial periódica. Estas fibras [4] tienen como característica principal el que su recubrimiento es una secuencia de capas índices de refracción alternados.

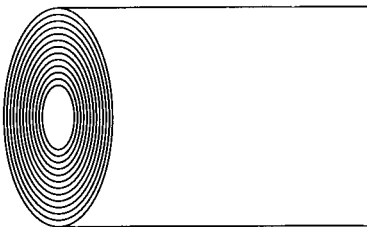


Fig. 3. Coaxial periodic optical waveguide.

#22839 - \$15.00 US  
(C) 2000 OSA

Received June 01, 2000; Revised June 14, 2000  
3 July 2000 / Vol. 7, No. 1 / OPTICS EXPRESS 16

Figura 3 Fibra Coaxial Periódica

Es posible que este tipo de fibras pueda ser utilizado como filtros o como reductor de la dispersión en fibras ópticas no lineales.

## 2.3 Fibras de Recubrimientos Segmentados

SEGUNDO CONGRESO NACIONAL DE ELECTRONICA 24, 25 Y 26 DE SEPTIEMBRE DEL 2002 CENTRO DE CONVENCIONES WILLIAM O. JENKINS PUEBLA, PUE. MEXICO

El diseño de esta fibra[10] consiste de un núcleo uniforme y un recubrimiento segmentado formado por regiones alternadas de índices de refracción bajos y altos en la dirección azimutal. La fibra tiene un recubrimiento altamente dispersivo y muestra características similares a las fibras de cristales fónicos mencionadas anteriormente. Dadas sus características, esta fibra ofrece la posibilidad de operación monomodal en un amplio rango de longitudes de onda con un gran diámetro del núcleo.

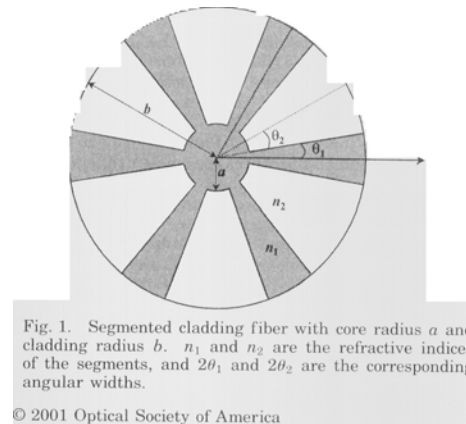


Fig. 1. Segmented cladding fiber with core radius  $a$  and cladding radius  $b$ .  $n_1$  and  $n_2$  are the refractive indices of the segments, and  $2\theta_1$  and  $2\theta_2$  are the corresponding angular widths.

© 2001 Optical Society of America

Figura 4. Fibra de recubrimientos segmentados

## 2.4 Fibra óptica de dos núcleos concéntricos

Esta fibra tiene como principal característica que posee dos regiones donde la luz puede ser confinada, a éstas se les ha llamado núcleo central y núcleo exterior. Esta fibra posee promisorias aplicaciones en dispositivos ópticos ultrarrápidos como pueden ser los láseres de fibra y los dispositivos de conmutación[11].



Figura 5.- Fibra de dos núcleos concéntricos



### 3. CONCLUSION

Como hemos podido observar el abanico de diseños de fibras con variados recubrimientos es bastante amplio, también es conveniente mencionar que el tratamiento que se le da al análisis de la propagación de los campos es diferente en cada uno ellos, pero no deja ser fundamental el conocer la estructura modal de estos, ya que esta juega un papel fundamental en todo diseño de una fibra óptica.

### REFERENCIAS

- [1] Kawakami, S. and Nishida, S., 1974, *IEEE J. of Quantum Electron.*, QE-10, 879-887.
- [2] D. J. DiGiovanni M & M. H. Muendel, High-power fibre laser, *International Opt. And Phot. News*, 1(1), 1999, 26.
- [3] Auguste, J. L., Jindal, R., Blondy, J. M., Clapeau, M., Marcou, J., Dussardier, B., Monnom, G., Ostrowsky, D.
- [4] Kawanishi, T. and Itzutsu, M., 2000, *Opt. Express* 7, 10-22.  
<http://www.opticsexpress.org/opticsexpress/tocv7n1.htm>
- [5] P.L. Francois, J.F. bayon and F. Alard. *Electron. Lett.*, 25, 1961, 1984
- [6] K. Thyagarajan, Patel. *Phys. Rev. Lett.*, 13, 617, 1964.
- [7] Kaiser P., *Bell Sys. Tech. J.* 52, 256, 1973
- [8] K. Abranov, *Phis. Rev. Lett.*, 13, 617, 1964.
- [9] J.K. Ranka, J.R.S. Windeler and A.J. Stentz, *Optics Express*, 25, 796, 2000.
- [10] Rastogi and Chiang, *Opt. Lett.*, 26, 491, 1997.
- [11] A. Luis-Ramos and E. Martí Panameño, *Journal of Modern Optics* , 49(10), 2002.