

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Registro de la Propiedad Industrial



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

10	ES	11	NUMERO	10	A1
		21	482.852		
		22	FECHA DE PRESENTACION		
			26-7-79		

PATENTE DE INVENCION

30 PRIORIDADES:		
31 NUMERO	32 FECHA	33 PAIS
929.415	31-7-78	EE.UU.
47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	G02B 5/14; C03B 3/00	
54 TITULO DE LA INVENCION		
"UN DISPOSITIVO DE FILAMENTO OPTICO DE INDICE EN GRADIENTE Y DE GRAN ANCHURA DE BANDA"		
71 SOLICITANTE (S)		(OLP 2811)
CORNING GLASS WORKS		
DOMICILIO DEL SOLICITANTE		
Houghton Park, Corning, Nueva York 14831, Estados Unidos de América.		
72 INVENTOR (ES)		
Robert Olshansky y Annab Sankar		
73 TITULAR (ES)		
74 REPRESENTANTE		(P.- 72.411)
DON ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ		

La presente invención se refiere, igual que la solicitud de patente española 482.850 de la misma solicitante que la presente, a filamentos ópticos de índice en gradiente, de gran anchura de banda, útiles como medios de transmisión, y al método de fabricación de los mismos. La presente invención pretende resolver esencialmente el mismo problema a que se refiere la solicitud de patente presentada concurrentemente, antes citada, pero de manera diferente, describiéndose en lo que sigue, más completamente, la solución que aquí se propone.

Los filamentos ópticos usados en sistemas de comunicación óptica se denominan aquí guías de ondas ópticas, y se construyen normalmente con un material dieléctrico transparente tal como vidrio o plástico.

TECNICA FUNDAMENTAL

Las guías de ondas ópticas de índice en gradiente tienen una composición variable radialmente, y en consecuencia un índice de refracción variable radialmente. Las patentes de los EE.UU. 3.823.995 y 3.711.262 describen guías de ondas ópticas de índice en gradiente, y métodos para su formación por procedimientos de oxidación interior en fase vapor. Cuando se hace referencia aquí a procedimientos de oxidación interior en fase vapor se tiene la intención de incluir deposición química en vapor, hidrólisis en llama, y cualesquiera otros procedimientos por los que un material en fase vapor se dirige a un tubo calentado, se hace reaccionar con oxígeno bajo la influencia de calor, y se deposita sobre la superficie de la pared interior de dicho tubo. El material se puede depositar dentro del tubo en capas sucesivas, tras lo cual el tubo se retira del ca-

lor, dejando una pieza elemental fundida. Como se entenderá, el agujero central se puede aplastar al final del procedimiento de deposición, o la pieza elemental, tras retirarla del calor, se puede volver a calentar subsiguientemente y aplastar el agujero, formando en cualquier caso una preforma maciza, o el agujero se puede aplastar durante el procedimiento de estiramiento. Cuando se forma una preforma maciza, subsiguientemente se calienta y estira a una hebra fina alargada. Dado que la estructura de la hebra o filamento estirado refleja la estructura de la preforma, es importante que las características físicas de la preforma sean controladas cuidadosamente.

Como es familiar para los expertos en la técnica, las guías de ondas ópticas de índice en gradiente presentan generalmente un índice de refracción mayor en el núcleo del centro de las mismas, e índices de refracción menores en puntos radialmente hacia fuera desde el centro del núcleo. El índice de refracción en gradiente se puede variar continua o discontinuamente, y puede presentar una característica lineal, parabólica, o cualquier otra que se desee. En lo que se refiere a la construcción y uso de guías de ondas ópticas, se debe hacer referencia a "Fiber Optics Principles and Applications", por N.S. Kapany, Academic Press, 1967; "Geometrical Optics of Parabolic Index Gradient Cylindrical Lenses", por F.P. Kapron, Journal of the Optical Society of America, vol. 60, nº 11, páginas 1433-1436, noviembre, 1970; y "Cylindrical Dielectric Waveguide Mode", por E. Snitzer, Journal of the Optical Society of America, vol. 51, nº 5, páginas 491-498, mayo 1961.

Para efectuar tal cambio del índice de re-

Fracción de una preforma o pieza elemental formada por un procedimiento de oxidación interior en fase vapor, se puede variar la composición química de los materiales de fuente que, por reacción, constituyen el material final depositado sobre la superficie interior del tubo. La mezcla en fase vapor se hidroliza u oxida y se deposita sobre la superficie interior del tubo, y subsiguientemente se funde, formando un vidrio de gran calidad y pureza. Al mismo tiempo, se pueden suministrar al tubo uno o más vapores adicionales, estando constituido cada vapor por un compuesto químico denominado "impurificador", cuya presencia afecta al índice de refracción u otras características del vidrio que se esté formando.

Es conocida, en la formación de piezas elementales o preformas de guías de ondas ópticas por el procedimiento de oxidación interior en fase vapor, la inclusión de una capa barrera sobre el interior del tubo de soporte o sustrato, antes de la deposición del vidrio de núcleo, constituyendo el tubo de sustrato el revestimiento de la preforma. La función principal de la capa barrera es minimizar las pérdidas interfaciales por dispersión y absorción eliminando la interfase núcleo-revestimiento que, en ausencia de la capa de barrera, existiría entre las capas depositadas de vidrios de gran pureza y baja atenuación y la superficie interior del tubo de sustrato. La capa barrera es usualmente una composición de vidrio de boro silicato, ya que la impurificación de sílice, que es generalmente el vidrio de base, con boro reduce la temperatura de deposición, y así minimiza el encogimiento del tubo de sustrato. Otras ventajas de impurificar sílice con boro

son que reduce el índice de refracción del vidrio, y actúa como barrera a la difusión de iones hidroxilo, comúnmente denominados hidrógeno o agua, desde el tubo de sustrato al vidrio de núcleo depositado, a las elevadas temperaturas de tratamiento y estiramiento.

Es bien sabido que la anchura de banda de información de un filamento de guías de ondas ópticas se puede aumentar sustancialmente haciendo gradual el perfil del índice de refracción. La anchura de banda de una guías de ondas ópticas con índice de refracción gradual puede ser de aproximadamente 10 a 10^3 veces mayor que la anchura de banda de un filamento con perfil de índice no gradual. El aumento de la anchura de banda depende mucho de la forma de perfil del índice de refracción.

El problema es que, en la formación por la técnica anterior de preformas o piezas elementales de guías de ondas ópticas de índice en gradiente, por oxidación interior en fase vapor, y los filamentos de vidrio formados a partir de ellos, los filamentos presentan un perfil combinado de índice de refracción en escalón-gradual, lo que causa extensión de impulsos de modos de orden superior, con el resultado de una anchura de banda menor. Tal perfil está ilustrado en la Figura 1, donde la porción de gradiente está indicada por la curva 10, mientras que la porción en escalón está indicada por la porción 12 vertical, sustancialmente rectilínea, que muestra un aumento en escalón del índice de refracción.

Un perfil combinado de índice de refracción en escalón-gradual, del que también se cree que causa extensión de impulsos de modos de orden superior, está ilus-

trado en la Figura 2, donde la porción de gradiente está indicada por la curva 14, mientras que la porción en escalón está indicada por el escalón 16. El indeseado perfil combinado de índice de refracción en escalón-gradual que se ilustra en la Figura 2 se expone aquí solo con fines de ilustración, ya que no se conoce que exista en la técnica anterior, pero se considera útil para proporcionar mejor comprensión de la presente invención.

Hay al menos dos causas del perfil combinado en escalón-gradual que se ilustra en las Figuras 1 y 2. Se desea alto nivel de boro en la capa de barrera, por las razones antes discutidas. Se desea un nivel bajo de boro en el núcleo, para aumentar la abertura numérica de la guía de ondas óptica resultante, para minimizar la dispersión de Rayleigh y para eliminar la absorción infrarroja de las bandas vibracionales B-O en la gama espectral entre 1,2 y 1,5 micrometros (H. Osani y otros, Electronic Letters 12, 549, 1976). La segunda razón de tal perfil en escalón-gradual es que, en la interfase capa de barrera-núcleo se ha de introducir un impurificador tal como GeO_2 y/o P_2O_5 , o similares, a un nivel finito fijado por la capacidad del sistema de suministro de vapor de material fuente. Se debe observar que en las ilustraciones de ambas Figuras 1 y 2, el índice de refracción del núcleo en la interfase capa barrera-núcleo es mayor, en un valor de Δn , que el índice de refracción del material o revestimiento del tubo de sustrato. Se cree que tal aumento en escalón del índice de refracción del núcleo, de la interfase capa barrera-núcleo, produce la extensión de impulsos de modos de orden superior, teniendo como resultado una anchura de banda menor.

En cada ejemplo se muestra sílice como material del tubo de sustrato, teniendo un índice de refracción de 1,4570, siendo 1,4766 el índice de refracción en los ejes centrales 18 y 20 de los filamentos de las Figuras 1 y 2, respectivamente. Como se entenderá, los índices de refracción son a una longitud de onda de aproximadamente 630 nm, para un filamento que tenga una abertura numérica de aproximadamente 0,24.

La curva 48 de la Figura 12 ilustra el ensanchamiento de impulsos que se ha observado en un perfil típico combinado en escalón-gradual, hecho por la técnica anterior. La porción estrecha y alta del impulso es producida por la parte gradual del perfil del índice de refracción, mientras que la base ancha que se extiende a la derecha está causada por la parte en escalón del perfil. Se ha medido que la anchura de banda del filamento ilustrado por la curva 48 de la Figura 12 es 260 MHz para una longitud de un kilómetro.

Un método comúnmente usado para fabricar, por ejemplo, guías de ondas ópticas de índice en gradiente con núcleo de $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ o $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$, está ilustrado en las Figuras 3 y 4, donde la reducción del nivel de B_2O_3 e introducción simultánea de niveles finitos de GeO_2 y/o P_2O_5 provoca un aumento en escalón del índice de refracción en el borde del núcleo, y conduce al perfil de gradiente en escalón de la Figura 1, según se ha descrito antes. Por otra parte, el método ilustrado por la Figura 5, que muestra el segundo tipo de perfil indeseable en escalón-gradiente ilustrado en la Figura 2, es el resultado cuando se usan en la capa barrera niveles finitos de

GeO₂ y/o P₂O₅ junto con B₂O₃, y la cantidad de B₂O₃ en la capa barrera es insuficiente para compensar el aumento del índice de refracción debido a la cantidad de GeO₂ y/o P₂O₅ presente. En tal situación se causa un aumento en escalón del índice de refracción en la interfase revestimiento-ca-
5 capa barrera, lo que conduce al perfil de índice en escalón-
-gradiente de la Figura 2.

Aunque las Figuras 3, 4 y 5 ilustran los ma-
10 teriales fuente de partida como cloruros o similares de bo-
ro, silicio, germanio y fósforo, se debe entender que es-
tos materiales fuente, bajo la influencia de oxígeno y ca-
lor, reaccionan produciendo los óxidos respectivos. Además,
como aquí se usa, la oxidación interior en fase vapor com-
15 prende "deposición química en fase vapor" y otros métodos
de oxidación en fase vapor. La frase "deposición química
en fase vapor" significa la formación de depósitos por reac-
ciones químicas que tienen lugar sobre, en, o cerca de la
superficie de deposición. Esta definición está expuesta en
la página 3 del texto "Vapor Deposition", compilado por C.
20 F. Powell y otros, Nueva York, John Wiley & Sons, Inc.,
1966. Para efectuar la deposición del revestimiento adecua-
do de vidrio por el procedimiento de deposición química en
fase vapor se pueden emplear cualesquiera variaciones de
procedimiento bien conocidas en la técnica, tal como se
25 describe, por ejemplo, en la página 263 del texto de Powell
y otros antes mencionado, que indica: "Otro medio para ob-
tener un cubrimiento uniforme que también puede dar gran
eficacia de deposición, y que es especialmente aplicable
al revestimiento de las superficies interiores de tubos de
30 alma pequeña, es calentar sólo una pequeña porción del tu-

bo hasta la temperatura de deposición.... La sección calen-
tada hasta la temperatura de deposición se desplaza lenta-
mente a lo largo de toda la longitud del tubo o de toda el
área a revestir". En relación con esto, se hace también re-
5 ferencia a la patente de los EE.UU. 3.031.338.

Otro medio eficaz para aplicar revestimien-
tos por oxidación en fase vapor es sinterizar una capa de
hollín del material deseado, aplicada por un procedimiento
de hidrólisis en llama similar al descrito en la patente
10 de los EE.UU. 2.272.342 o la patente de los EE.UU. - - -
2.326.059.

DESCRIPCION DE LA INVENCION

Teniendo en cuenta lo que antecede el pre-
sente invento pretende evitar en general la formación de
15 la parte en escalón del perfil y producir en su lugar per-
files de índice de refracción puros y graduales tales como
los ilustrados en las Figuras 6 ó 7. Como se muestra por
la curva 52 de la Figura 12, el filamento del presente in-
vento tiene mucho menos ensanchamiento y una anchura de
20 banda medida de 910 mHz para una longitud de un kilómetro.
El ensanchamiento reducido de impulsos y la gran anchura
de banda se consiguen por eliminación de la porción en es-
calón del perfil en escalón-gradual. Además, se aumenta la
abertura numérica, se reduce la dispersión de Rayleigh y
25 se reduce la absorción infrarroja de las bandas vibraciona-
les B-O en la gama espectral entre 1,2 y 1,5 micrómetros.

Más específicamente, y de acuerdo con el in-
vento, se proporciona un filamento óptico de índice en gra-
diente y gran anchura de banda que comprende una capa de
30 revestimiento exterior que tiene un índice de refracción

predeterminado, una capa barrera sobre la superficie de la pared interior de dicha capa de revestimiento y que comprende un vidrio de base y al menos un impurificador, siendo sustancialmente uniforme la cantidad de cada uno de dicho vidrio de base y dicho impurificador en todo el espesor de dicha capa barrera, y un núcleo de vidrio de gran pureza, que tiene un índice de refracción en gradiente, dispuesto dentro de dicha capa barrera y adherido a la misma para formar una interfase entre ellos, consistiendo esencialmente dicho núcleo en un vidrio de base y uno o más impurificadores, caracterizado porque dicho uno o más impurificadores comprenden un impurificador distinto de B_2O_3 y estando incluido(s) en una cantidad para proporcionar a través de la sección transversal del núcleo un índice de refracción en gradiente sustancial y continuamente variable desde dicha interfase hasta el eje del núcleo, siendo el índice de refracción del núcleo en dicha interfase sustancialmente igual o menor que el índice de refracción de la capa barrera en la interfase, siendo a su vez el índice de refracción de la capa barrera a lo sumo igual al de la capa de revestimiento.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

Los objetos, aspectos y ventajas del presente invento se harán evidentes para los expertos en la técnica por la siguiente descripción detallada y los dibujos adjuntos, en los que a modo de ejemplo, sólo se ilustran las realizaciones preferidas de la presente invención.

La Figura 1 es una ilustración gráfica de una guía de ondas con perfil de índice de refracción en escalón-gradiente de la técnica anterior.

La Figura 2 es una ilustración gráfica de otra guía de ondas, de poca anchura de banda, con perfil de índice de refracción en escalón-gradiente.

5 Las Figuras 3 y 4 son ilustraciones gráficas de los métodos de introducción de la técnica anterior de materiales fuente en fase vapor en la formación de guías de ondas ópticas con perfil de índice de refracción en escalón-gradiente.

10 La Figura 5 es una ilustración gráfica de un método para introducir materiales fuente en fase vapor en la formación de la guía de ondas con perfil de índice de refracción en escalón-gradiente de la Figura 2.

15 Las Figuras 6 y 7 son ilustraciones gráficas de filamentos ópticos con índice en gradiente de gran anchura de banda, formados de acuerdo con la presente invención.

La Figura 8 es una vista oblicua de una guía de ondas ópticas de acuerdo con esta invención.

20 Las Figuras 9 y 10 son ilustraciones gráficas de los métodos para introducir materiales fuente en fase vapor en la formación de filamentos ópticos de gran anchura de banda, de acuerdo con la presente invención.

25 La Figura 11 es una ilustración gráfica del número de modo principal (representado en el eje horizontal) frente al tiempo de retardo (representado en el eje vertical) de una guía de ondas ópticas que puede formarse por la presente invención, cuando se compara con una guía de ondas de la técnica anterior.

30 La Figura 12 es una ilustración gráfica de la anchura de banda representada por el tiempo (eje hori-

zontal) frente a la energía (eje vertical) de una guía de ondas ópticas, que puede formarse por la presente invención, cuando se compara con una guía de ondas de la técnica anterior.

5 En las figuras 1, 2, 6 y 7 en el eje vertical se representa el índice de refracción y en el eje horizontal el radio.

10 En las figuras 3, 4, 5, 9 y 10 en el eje vertical se representa el flujo de reaccionantes y en el eje horizontal el número de pasos.

BREVE DESCRIPCION DE LA INVENCION

15 Ha de observarse que los dibujos son ilustrativos y simbólicos de la presente invención y que no hay intención de indicar escala o proporciones relativas de los elementos que se muestran en ellos. Para mayor sencillez, el presente invento se describirá en relación con la formación de preformas de guías de ondas ópticas de índice en gradiente con gran anchura de banda y las propias guías de ondas, en las que el vidrio de base es sílice, aunque esta invención no intenta estar limitado a ello.

20 En las Figuras 6 y 7 se ilustran dos ejemplos de filamentos ópticos de índice en gradiente con gran anchura de banda hechos a partir de preformas o piezas elementales formadas de acuerdo con la presente invención.

25 La Figura 8 ilustra una guía 22 de ondas ópticas típicas formada de acuerdo con la presente invención. Con referencia a las Figuras 6 y 8, el índice en gradiente libre de B_2O_3 del núcleo de refracción 24 está indicado en la Figura 6 por la curva 26, mientras que la capa barrera 28 está indicada por la porción plana 30. El miembro o tubo

30

de sustrato 32 de partida, que finalmente forma el revestimiento de la guía de ondas, está ilustrado por la porción plana 34 en la Figura 6. Como se entenderá, la capa barrera comprende el primer material depositado sobre la superficie interior del tubo de sustrato que a veces se denomina revestimiento depositado. El material del tubo de sustrato empleado en la descripción del presente invento es vidrio base de sílice que contiene 2 por ciento en moles de GeO_2 como impurificador, por lo que, el índice de refracción de la porción de revestimiento ilustrada en la Figura 6 es 1,4595 que es 0,0025 mayor que el índice de refracción del vidrio base de sílice. Esto es válido para cada una de las ilustraciones expuestas en las Figuras 6 y 7, con fines de simplicidad de descripción y fácil comparación. Para continuar con estos objetivos, el índice de refracción en cada uno de estos ejemplos en los ejes centrales 36 y 38 de las guías de ondas ópticas de las Figuras 6 y 7 respectivamente es aproximadamente 1,4787, mientras que el espesor "b" de la capa barrera de cada uno es aproximadamente 1 micrómetro y el radio "a" del núcleo es aproximadamente 31,25 micrómetros.

El método de formar una preforma o pieza elemental de la presente invención, así como el propio filamento óptico puede ser cualesquiera de diversos métodos, tales como por ejemplo, los descritos en las patentes de EE.UU. 3.823.995 y 3.711.262 antes indicadas. Cualesquiera otros métodos de formar guías de ondas ópticas de índice en gradiente son también adecuados para los fines de la presente invención. Aunque puede emplearse cualquier método conocido para formar los miembros o tubo de sustrato de

partida, las patentes de EE.UU. 3.823.995 y 3.711.262 antes citadas, describen métodos de formación de tubos que son adecuados para la presente invención.

5 Con referencia a las Figuras 9 y 10, se ilustran dos métodos de formar las guías de ondas ópticas, de núcleo libre de B_2O_3 , con índice en gradiente y gran anchura de banda de las Figuras 6 y 7. Como se observará, las Figuras 9 y 10 ilustran los materiales fuente de partida, principalmente los cloruros o similares, de boro, silicio, 10 fósforo, y germanio, que bajo la influencia de oxígeno y calor, reaccionan produciendo los óxidos respectivos. El vidrio de base ilustrado en las Figuras 9 y 10 es sílice a la que se añade selectivamente B_2O_3 , GeO_2 y P_2O_5 . El miembro o sustrato de partida en cada ejemplo es sílice impurificado con GeO_2 . 15

La capa barrera se forma aplicando una pluralidad de capas de materiales a la superficie interior del tubo de sustrato, siendo la composición de la capa barrera sustancialmente uniforme en toda ella y teniendo una proporción sustancialmente constante de sílice, P_2O_5 , GeO_2 y 20 opcionalmente B_2O_3 . Como se ilustra en la Figura 9, los niveles de P_2O_5 y GeO_2 en la capa barrera se mantienen a niveles para los que el índice de refracción de la capa barrera es menor que el de la sílice del vidrio base impurificada con GeO_2 , como se muestra por la porción plana 30 25 de la Figura 6. Específicamente, el índice de refracción de la capa barrera en el ejemplo ilustrado en la Figura 6 es aproximadamente 0,0004 menor que el índice de refracción del revestimiento de sílice impurificada. Para obtener el núcleo de índice en gradiente como está ilustrado 30

por la curva 26 de la Figura 6, las cantidades de GeO_2 y P_2O_5 en la composición del material del núcleo depositadas sobre la capa barrera se aumentan gradualmente a medida que se deposita cada capa sucesiva de material del núcleo. Como se comprenderá, el núcleo puede formarse por la aplicación de una pluralidad de capas de material de núcleo hasta que se alcance el espesor deseado de la capa de núcleo.

Puesto que la capa barrera y el núcleo en la Figura 9 contienen cada uno P_2O_5 y GeO_2 y no hay cambio abrupto en las cantidades de estos impurificadores, ni introducción abrupta de un nuevo impurificador a medida que se forma el núcleo sobre la capa barrera, el perfil de guía de ondas resultante como se ilustra en la Figura 6 no tiene el perfil de índice en escalón-gradiente de las guías de ondas de la técnica anterior. Se entenderá que el cambio en la cantidad de P_2O_5 y GeO_2 dentro del espesor del núcleo está programado de manera predeterminada de modo que se obtenga un perfil transversal deseado predeterminado de la guía de ondas ópticas final.

Con referencia a la Figura 10, se ilustra un método de formar la guía de ondas ópticas de índice en gradiente y gran anchura de banda, de la Figura 7. Haciendo referencia adicionalmente a la Figura 8, el núcleo 24, exento de B_2O_3 de índice de refracción en gradiente está indicado en la Figura 7 por la curva 40, mientras que la capa barrera 28 está indicada por la porción plana 42. El miembro o tubo de sustrato de partida 32, que finalmente forma el revestimiento de la guía de ondas, está ilustrado por la porción plana 44 en la Figura 7. Como se ilustra en

la Figura 10, los niveles de B_2O_3 , P_2O_5 y GeO_2 en la capa barrera se mantienen a niveles en los que el índice de refracción de la capa barrera es sustancialmente igual al del miembro de partida de sílice impurificado con GeO_2 , como se muestra por la porción plana 42 de la Figura 7. Para obtener el núcleo de índice en gradiente según se ilustra por la curva 40 de la Figura 7, como se verá de la Figura 10, se elimina totalmente B_2O_3 de la composición del material de núcleo depositado sobre la capa barrera, mientras que la cantidad de GeO_2 y P_2O_5 se disminuye inicialmente de forma brusca en la composición del núcleo y después aumenta gradualmente en cada capa sucesiva. Como se apreciará, el núcleo puede formarse por la aplicación de una pluralidad de capas de material de núcleo hasta que se consiga el espesor deseado de la capa de núcleo. Puesto que el B_2O_3 se elimina totalmente del material de núcleo y cada uno de GeO_2 y P_2O_5 disminuye bruscamente a medida que se deposita la primera capa del material de núcleo sobre la capa barrera, hay una disminución abrupta en el índice de refracción en la interfase de la capa barrera-núcleo como está ilustrado por el perfil en la Figura 7. Por lo tanto, se ve que el perfil de guía de ondas resultante, como se ilustra en la Figura 7, no tiene el perfil de índice en escalón-gradiente con un aumento en escalón en el índice de refracción del núcleo de las guías de ondas de la técnica anterior. Se entenderá que el cambio en la cantidad de P_2O_5 y GeO_2 dentro del espesor del núcleo está programado de manera predeterminada de modo que se obtenga un perfil de sección transversal deseado y predeterminado de la guía de ondas óptica final. También ha de entenderse que aunque

30

09089

Los métodos ilustrados por las Figuras 9 y 10 para producir guías de ondas ópticas de las Figuras 6 y 7 han sido descritos en relación con B_2O_3 , P_2O_5 y GeO_2 como impurificadores, pueden emplearse otros impurificadores o sus combinaciones excepto cuando el núcleo está exento de B_2O_3 . Cuando se emplean otros impurificadores o sus combinaciones, las cantidades de cada uno deben programarse apropiadamente, como se entenderá, de forma que se obtenga un perfil de sección transversal deseado y predeterminado.

Para un mejor entendimiento de las ventajas producidas por el presente invento, se hace referencia a las Figuras 11 y 12. La curva 46 en la Figura 11 y la curva 48 en la Figura 12 se obtuvieron empleando una guía de ondas ópticas de la técnica anterior del tipo ejemplificado por la Figura 1, mientras que las curvas 50 de la Figura 11 y 52 de la Figura 12 se obtuvieron empleando una guía de ondas óptica de acuerdo con el presente invento tal como se ejemplifica por la Figura 6. Ha de entenderse que la curva 50 de la Figura 11 y la curva 52 de la Figura 12 son simplemente ilustraciones de las direcciones de los datos de las guías de ondas de la presente invención y no son representativas de los datos medidos. Refiriéndose primero a la Figura 11, el tiempo de retardo en nanosegundos por kilómetro se muestra como una función del número de modo principal (m) para guías de ondas ópticas cuyos datos medidos e ilustrativos están representados por las curvas 46 y 50 respectivamente. También se hace referencia respecto a la Figura 11 a un artículo titulado "Differential Mode Attenuation in Graded-Index Optical Waveguides" por Robert Olshansky, publicado en la página 423 del Technical Digest

de la 1977 International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communications, Tokio, Japón. El número de modo principal "m" está relacionado con la posición de lanzamiento "r" de un punto de láser en el extremo de entrada de una fibra por la ecuación

$$m = M(r/a)^2$$

donde "a" es el radio del núcleo y "M" es el valor máximo del número de modo principal, dado por

$$M = 1/2 n_1 k a \sqrt{2 \Delta}$$

donde " n_1 " es el índice de refracción en el eje, "k" es igual a $2\pi/\lambda$, λ es la longitud de onda del espacio libre (799 nm para los datos que se muestran en la Figura 11), y Δ es igual a $(n_1 - n_2)/(n_1)$, donde " n_2 " es el índice de refracción del revestimiento.

Debido al aumento en escalón en el perfil del índice de refracción en la interfase del núcleo - capa barrera de la guía de ondas representada por la Figura 1, se tiene como resultado un desplazamiento grande del tiempo de retardo para modos de orden alto transmitidos a través de dicha guía de ondas y por consiguiente se produce una anchura grande de impulso rms de 0,69 ns como se ve por la curva 46 medida de la Figura 11. Cuando la forma del perfil del índice de refracción se corrige de acuerdo con la presente invención como se representa por la Figura 6, se elimina el desplazamiento de retardo como se ilustra por la curva 46 de la Figura 11 como se demuestra por la curva 50 ilustrativa y representativa. Se ve que el ensanchamiento de impulsos rms según está representado por la curva 50 de la Figura 11 se reduce a aproximadamente 0,21

ns.

Haciendo referencia adicionalmente a la Figura 12 en la que la curva 48 representa datos de la guía de ondas ópticas de la técnica anterior, ilustrada por la Figura 1, la anchura de impulso "6" de 0,69 ns se traduce matemáticamente en una anchura de banda de 0,28 GHz. La anchura de banda medida era 260 mHz. Por otra parte, la guía de ondas ópticas del presente invento de la Figura 6 ilustrada por la curva 50 de la Figura 11 y la curva 52 de la Figura 12 que tiene una anchura de impulso "6" rms de aproximadamente 0,21 ns se traduce matemáticamente en una anchura de banda de aproximadamente 0,95 GHz.

Con fines de comparación e información, los datos del procedimiento de deposición química en fase vapor representados por las Figuras 3 y 4 que produjeron guías de ondas ópticas de la técnica anterior representadas por la Figura 1, y los datos de procedimiento calculados representados por la Figura 5 que se cree que producen una guía de ondas ópticas representada por la Figura 2, se exponen en la siguiente Tabla I. Los datos del ejemplo de las Figuras 1 y 4 están ilustrados por la curva 46 de la Figura 11 y la curva 48 de la Figura 12.

TABLA I

Ej.	REACCIO NANTE	FLUJO DE REAC- CIONANTE DE LA CAPA BARRERA	FLUJO DE REAC- CIONANTE DEL NUCLEO
5	FIGURAS 1 y 3 SiCl ₄ GeCl ₄ BCl ₃	0,6 g/min - 20 cm ³ N/min	0,6 g/min 0,05 a 0,465 g/min 5 cm ³ N/min
10	FIGURAS 1 y 4 SiCl ₄ GeCl ₄ POCl ₃ BCl ₃	0,6 g/min - - 20 cm ³ N/min	0,6 g/min 0,05 a 0,465 g/min 0,049 g/min 5 cm ³ N/min
15	FIGURAS 2 y 5 SiCl ₄ GeCl ₄ BCl ₃	0,6 g/min 0,2 g/min 20 cm ³ N/min	0,6 g/min 0,2 a 0,465 g/min 20 a 5 cm ³ N/min

20

Para cada uno de los ejemplos de la Tabla I el exceso de oxígeno es 1000 cm³N/min, la temperatura es 1750°C y la velocidad transversal de aplicación de capa es 15 cm/minuto, tanto para la capa barrera como para el núcleo; la capa barrera está formada por 3 pasos o capas, mientras que el núcleo está formado por 60 pasos o capas. La guía de ondas ópticas resultante tiene un diámetro exterior de aproximadamente 125 micrómetros, un diámetro de núcleo de aproximadamente 62,5 micrómetros, y un espesor de capa barrera de aproximadamente 1 micrómetro, aunque la

30

09089

Capa barrera puede estar comprendida, si se desea, entre aproximadamente 1 y 10 micrómetros.

El siguiente es un ejemplo típico de como puede producirse una guía de ondas ópticas que tiene un perfil como se ilustra en la Figura 6 y formada por el método ilustrado en la Figura 9 de la presente invención. Un tubo de sustrato de sílice que contiene 2 por ciento en moles de GeO_2 y que tiene un diámetro exterior de 25 milímetros y un espesor de pared de 1,275 milímetros se monta en un torno de deposición muy conocido en la técnica. Los reaccionantes constituyentes SiCl_4 , GeCl_4 y POCl_3 se suministraron al tubo de sustrato por sistemas de deposición química en fase de vapor conocidos. Los parámetros ilustrativos del procedimiento de este ejemplo se han calculado y estimado matemáticamente, exponiéndose en la Tabla II siguiente.

TABLA II

Ej.	REACCIONANTES	FLUJO DE REACCIONANTE DE LA CAPA BARRERA	FLUJO DE REACCIONANTE DEL NUCLEO
FIGURAS 6 y 9	SiCl_4	0,6 g/min	0,6 g/min
	GeCl_4	0,04 g/min	0,04 a 0,46 g/min
	POCl_3	0,0059 g/min	0,0059 a 0,20 g/min

Para el ejemplo de la Tabla II el exceso de oxígeno proporcionado es aproximadamente $1000 \text{ cm}^3/\text{minuto}$, la temperatura de formación es aproximadamente 1750°C , y la velocidad transversal de aplicación de la capa es apro-

aproximadamente 15 cm/minuto, tanto para la capa barrera como para el núcleo; estando formada la capa barrera por 3 pasos o capas, mientras que el núcleo está formado por 60 pasos o capas.

5

La pieza elemental o preforma así formada se calienta luego a una temperatura de aproximadamente 2200°C, se hace girar a una velocidad de 60-90 rpm, y el agujero central se aplasta formando una preforma maciza.

10

La preforma maciza se monta luego en un aparato de estiramiento como es bien conocido en la técnica, su extremo se calienta a una temperatura de aproximadamente 2000°C y se estiró a un filamento de guía de ondas ópticas que tiene el perfil transversal que se ilustra en la Figura 6 y propiedades ilustradas por la curva 50 de la Figura 11 y curva 52 de la Figura 12. La guía de ondas ópticas resultante

15

tendría un diámetro exterior de aproximadamente 125 micrómetros, un diámetro de núcleo de aproximadamente 62,5 micrómetros, y un espesor de la capa barrera de aproximadamente 1 micrómetro. El revestimiento de sílice que contiene 2 por ciento en moles de GeO_2 tendría un índice de refracción de aproximadamente 1,4595, la capa barrera que

20

contiene 1 por ciento en moles de cada uno de GeO_2 y P_2O_5 , siendo el resto sílice, tendría un índice de refracción de aproximadamente 1,4591, y el núcleo en el eje central 36

25

que contiene aproximadamente 15 por ciento en moles de GeO_2 y aproximadamente 4 por ciento en moles de P_2O_5 , siendo el resto sílice tendría un índice de refracción de aproximadamente 1,4787.

30

Otro ejemplo del presente invento emplea el mismo sistema de suministro y el mismo torno de deposición

09089

química en fase vapor que se ha descrito con referencia al ejemplo previo. Se proporciona y monta en dicho torno un tubo de sílice que contiene 2 por ciento en moles de GeO_2 y que tiene un diámetro exterior de 25 milímetros y un espesor de pared de 1,275 milímetros. Los parámetros del método para formar una guía de ondas ópticas que tiene un perfil de índice de refracción como se ilustra en la Figura 7 por el procedimiento ilustrado en la Figura 10 han sido calculados y estimados matemáticamente, exponiéndose en la Tabla III siguiente.

TABLA III

Ej.	REACCIONES	FLUJO DE REACCIÓN DE LA CAPA BARRERA	FLUJO DE REACCIÓN DEL NÚCLEO
FIGURAS 7 Y 10	SiCl_4	0,6 g/min	0,6 g/min
	GeCl_4	0,23 g/min	0,02 a 0,46 g/min
	POCl_3	0,05 g/min	0,044 a 0,20 g/min
	BCl_3	$30 \text{ cm}^3\text{N/min}$	Ninguno

Para el ejemplo de la Tabla III el exceso de oxígeno proporcionado es aproximadamente $1000 \text{ cm}^3\text{N/minutes}$, la temperatura de formación es aproximadamente 1750°C , y la velocidad transversal de aplicación de la capa es aproximadamente 15 cm/minuto, tanto para la capa barrera como para el núcleo; estando formada la capa barrera por 3 pasos o capas mientras que el núcleo está formado por 60 pasos o capas.

Después que se ha fabricado la preforma o pieza elemental como se ha descrito antes, se calienta a una temperatura de aproximadamente 2200°C, se hace girar a una velocidad de 60-90 rpm y se aplasta el agujero central formando una preforma maciza. El artículo así formado se coloca subsiguientemente en un aparato de estiramiento conocido por los expertos en la técnica, su extremo se calentó y se estira de una manera bien conocida en la técnica una fibra que tiene un diámetro exterior de aproximadamente 125 micrómetros, un diámetro de núcleo de aproximadamente 62,5 micrómetros y un espesor de la capa barrera de aproximadamente 1 micrómetro. La guía de ondas así formada debe tener un perfil de índice de refracción como se ilustra en la Figura 7. El revestimiento de sílice que contiene 2 por ciento en moles de GeO_2 tendría un índice de refracción de aproximadamente 1,4595, la capa barrera que contiene 5,7 por ciento en moles de GeO_2 , 1 por ciento en moles de P_2O_5 y 10 por ciento en moles de B_2O_3 , siendo el resto sílice tendría también un índice de refracción no superior a aproximadamente 1,4595, el primer paso o capa del núcleo que contiene 1 por ciento en moles de cada uno de GeO_2 y P_2O_5 , siendo el resto sílice tendría un índice de refracción de 1,4591 y el núcleo en el eje central 38 que contiene aproximadamente 15 por ciento en moles de GeO_2 y aproximadamente 4 por ciento en moles de P_2O_5 siendo el resto sílice tendría un índice de refracción de aproximadamente 1,4787.

Como se entenderá, el agujero central de cualesquiera de las preformas o piezas elementales de guías de ondas de los ejemplos anteriores pueden aplastar-

Se al final del procedimiento de deposición como se ha descrito, o la pieza elemental puede volverse a calentar subsiguientemente, o el agujero puede aplastarse durante el procedimiento de estiramiento según se desee.

5

Aunque la presente invención ha sido descrita respecto a detalles específicos de algunas de sus realizaciones, no se pretende que tales detalles sean limitaciones del alcance de la invención excepto en la medida que se exponga en las reivindicaciones adjuntas.

10

15

20

25

30

1

- REIVINDICACIONES -

5

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

10

15

20

25

30

1ª.- Un dispositivo de filamento óptico de índice en gradiente y de gran anchura de banda, que comprende una capa de revestimiento exterior que tiene un índice de refracción predeterminado, una capa barrera sobre la superficie de la pared interior de dicha capa de revestimiento y que comprende un vidrio de base y al menos un impurificador, siendo sustancialmente uniforme la cantidad de cada uno de dicho vidrio de base y dicho impurificador en todo el espesor de dicha capa barrera, y un núcleo de vidrio de gran pureza, que tiene un índice de refracción en gradiente, dispuesto dentro de dicha capa barrera y adherida a la misma para formar una interfase con ella, consistiendo esencialmente dicho núcleo en un vidrio de base y uno o más impurificadores, caracterizado porque dichos uno o más impurificadores comprenden un impurificador distinto de B_2O_3 y porque están incluidos en una cantidad para proporcionar a través de la sección transversal del núcleo un índice de refracción en gradiente sustancial y continuamente variable desde dicha interfase hasta el eje del núcleo, siendo el índice de refracción del núcleo en dicha interfase sustancialmente igual o menor que el índice de refracción de la capa barrera en la interfase, siendo a su vez el índice de

07040

1 refracción de la capa barrera a lo sumo igual al de la capa de revestimiento.

2ª.- El dispositivo de la reivindicación 1ª, caracterizado porque dicha capa de revestimiento está compuesta de sílice que contiene GeO_2 .

3ª.- El dispositivo de la reivindicación 1ª ó 2ª, caracterizado porque dichos impurificadores en dicha capa barrera y dicho núcleo comprenden GeO_2 y/o F_2O_5 .

4ª.- El dispositivo de la reivindicación 1ª ó 2ª, caracterizado porque uno de dichos impurificadores, exclusivamente en dicha capa barrera, comprende B_2O_3 .

5ª.- Un dispositivo de filamento óptico de índice en gradiente y de gran anchura de banda.

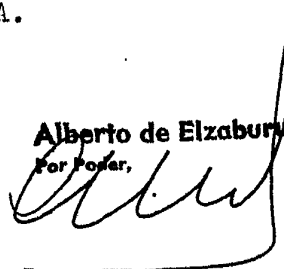
Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y con los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de veintiséis hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 09 ABR 1960

P.A.

Alberto de Elzaburu
For Forer,



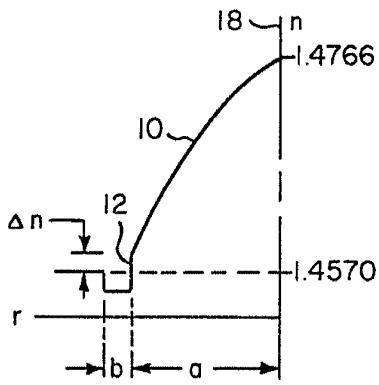


FIG. 1

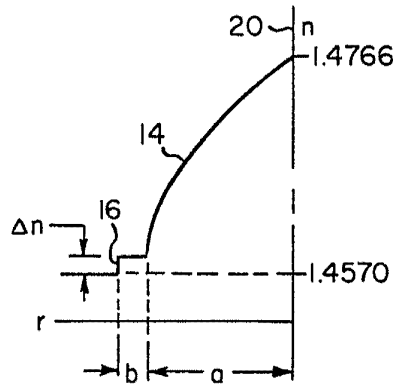


FIG. 2

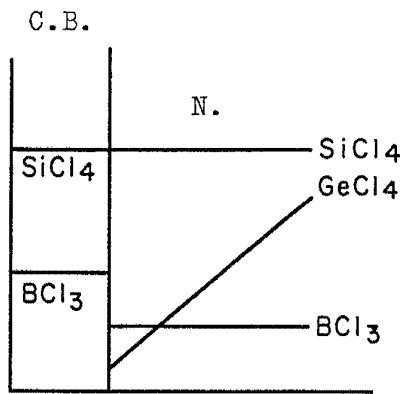


FIG. 3

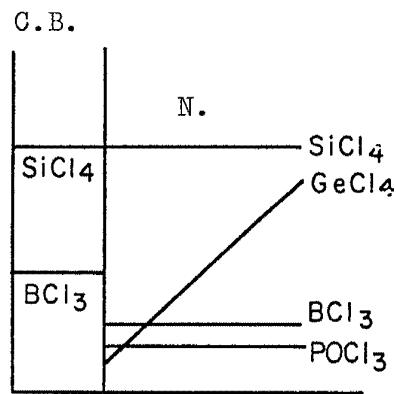
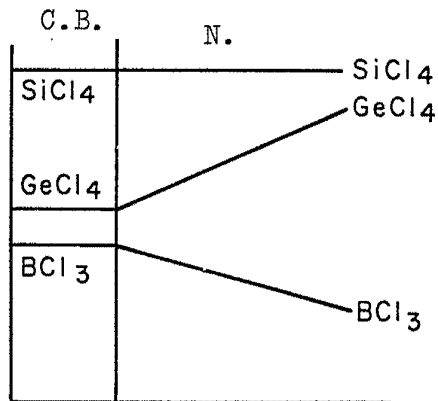


FIG. 4

FIG. 5



Alberto de Elzaburu
 Por Poder,

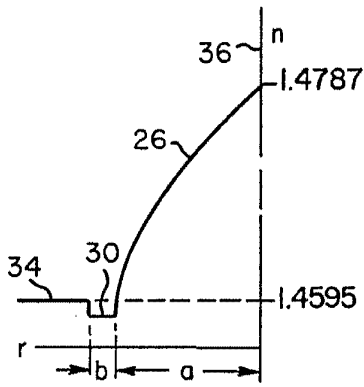


FIG. 6

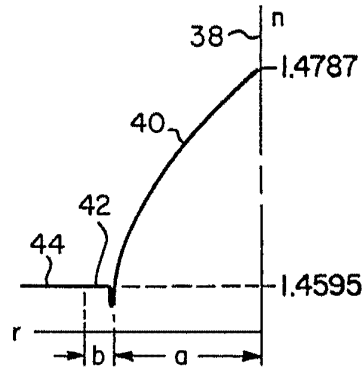


FIG. 7

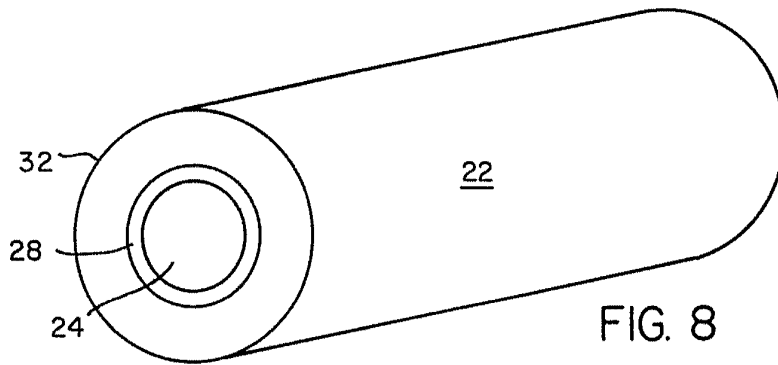


FIG. 8

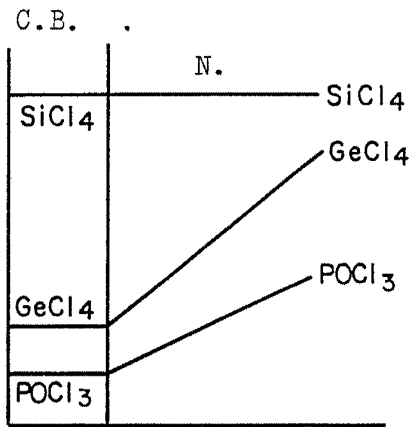


FIG. 9

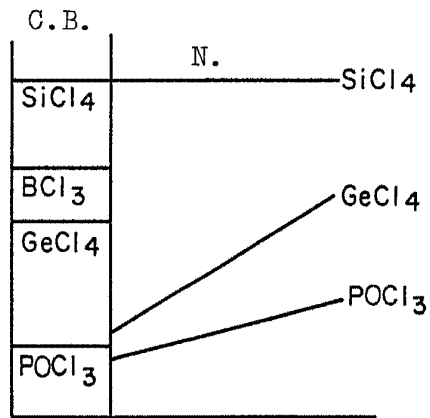
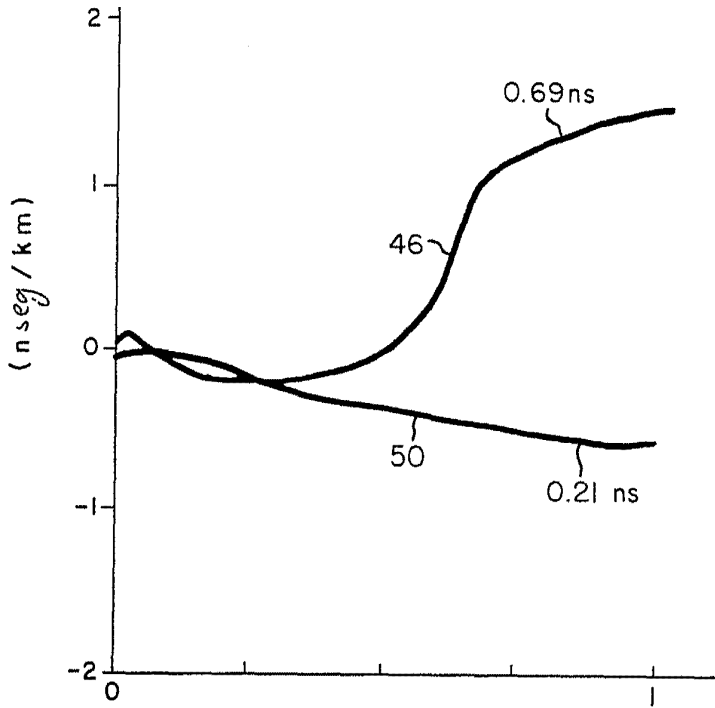


FIG. 10

Alberto de Ezequiel
 Por poder,

P72411



$\frac{m}{M} = (r/a)^2$ FIG. 11

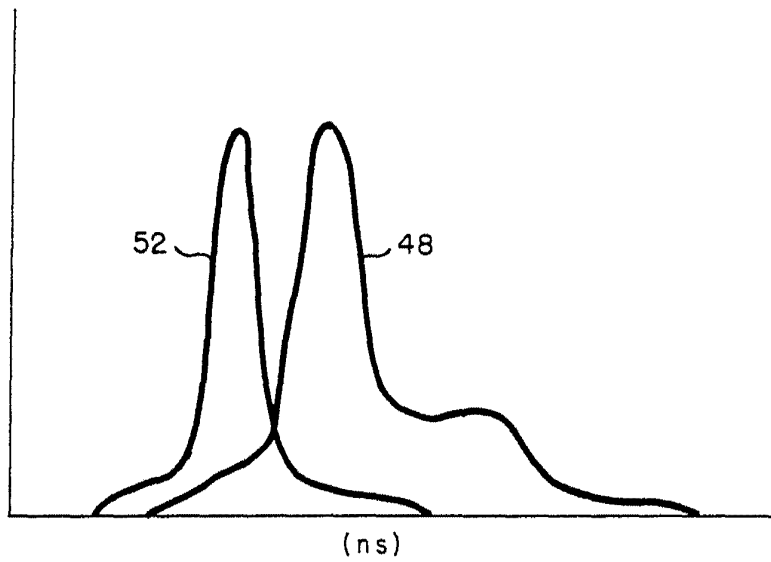


FIG. 12

[Handwritten signature]