

MINISTERIO DE INDUSTRIA  
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



10	ES	11	NUMERO	10	A 1
		21	<b>45 1740</b>		
		22	FECHA DE PRESENTACION		
			<b>22 SET. 1975</b>		

PATENTE DE INVENCION

30	PRIORIDADES:	32	FECHA	33	PAIS
	31	NUMERO			
		236.020	22 de septiembre de 1.975		Canadá.

47	FECHA DE PUBLICIDAD	51	CLASIFICACION INTERNACIONAL	62	PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
			G 0 2 B		

64	TITULO DE LA INVENCION
	" PERFECCIONAMIENTOS EN FIBRAS OPTICAS TRANSMISORAS DE LUZ "

71	SOLICITANTE (S)
	NORTHERN TELECOM LIMITED, entidad canadiense.

	DOMICILIO DEL SOLICITANTE
	1600 Dorchester Boulevard West, Montreal, Quebec, Canadá.

72	INVENTOR (ES)
	RAMA IYENGAR FELIX PAUL KAPRON.

73	TITULAR (ES)

74	REPRESENTANTE
	D. JAIME GOMEZ-ACEBO Y MODET.

La presente invención se refiere a fibras ópticas que tienen una dispersión de modo bajo, particularmente las que se utilizan para sistemas de transmisión.

Una fibra óptica transporta, o transmite, luz desde un extremo de entrada hasta un extremo de salida por el fenómeno de reflexión interna. Una fibra comprende generalmente un núcleo rodeado por un revestimiento y la luz queda retenida dentro del núcleo por la reflexión interna.

Uno de los defectos de las fibras ópticas tradicionales es la "dispersión de modo", que produce una difusión por impulsos. El retardo de modo diferencial se puede eliminar si se deja que una fibra propague solamente un modo fundamental simple. No obstante, esto exige que la fibra tenga un diámetro de núcleo pequeño, lo cual dificulta el empalme y conexión de las fibras. Así, mismo, se necesitan fuentes lásericas para una introducción eficaz de la luz en dicha fibra de modo simple. El diámetro del núcleo no se puede aumentar arbitrariamente reduciendo la abertura numérica puesto que una abertura numérica demasiado pequeña exige un revestimiento grueso para contener la onda evanescente y también un radio de curvatura demasiado grande para que las pérdidas por flexión sean pequeñas.

El presente invento proporciona una fibra óptica que tiene un área de sección transversal que permite un acoplamiento eficaz y una abertura numérica relativamente grande y que reduce prácticamente la dispersión de modo. Una fibra óptica, según el presente invento, además de un núcleo fototransmisor tiene también uno o más anillos alrededor del núcleo, siendo ambos fototransmisores, con un anillo de material de "revestimiento", que es un material que tiene un índice refractario menor que el material fototransmisor situado a cada lado del mismo. Otra modalidad tiene un núcleo de material de "revestimiento" con anillos alternos también de material de "revestimiento", siendo los anillos intermedios fototransmisores.

El invento se comprenderá fácilmente por la descripción que sigue de ciertas modalidades, a título de ejemplo, tomando como referencia los dibujos esquemáticos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una vista en sección transversal tomada a través de una forma conocida de fibra óptica que tiene un índice de refracción progresivo.

La figura 2, ilustra la forma de la curva del índice de refracción de la fibra de la Figura 1.

La figura 3 es una vista en sección transversal longitudinal de una fibra con la forma de la Figura 1, e ilustra la propagación de rayos luminosos en su interior.

La figura 4 es una curva que ilustra la característica del índice de refracción de otra forma conocida de fibra óptica.

La figura 5 es una vista en sección transversal longitudinal de la forma conocida de fibra, cuya característica de índice de refracción se ilustra en la Figura 4.

La figura 6 es una vista en sección transversal tomada a través de otra forma de fibra óptica según el presente invento.

La figura 7 es una curva que ilustra la característica de índice de refracción de la fibra de la Figura 6.

La figura 8 es una vista de sección transversal tomadada a través de otra forma de fibra óptica según el presente invento.

La figura 9 es una curva que ilustra la característica de índice de refracción de la fibra de la Figura 8.

Las figuras 10 y 11 son curvas que ilustran las características del índice de refracción de otras dos formas de fibras ópticas según el presente invento.

Según se ha indica anteriormente, una fibra óptica transporta, o transmite, luz desde un extremo de entrada hasta un extremo de salida por el fenómeno de reflexión interna. Una forma de fibra óptica

tiene un núcleo 10 y un revestimiento 11, según se ilustra en la figura 1, teniendo el núcleo 10 un índice de refracción y el revestimiento 11 un índice de refracción menor, según se observará en la figura 2. La guía de ondas tiene lugar por reflexión interna de todos los rayos luminosos lanzados dentro del ángulo de cono completo según se ilustra en la figura 3. El ángulo cónico se obtiene por la abertura numérica (NA):

$$NA = \sin \frac{\theta}{2} = \sqrt{n^2 - n^2(1-\Delta)^2} \approx n \sqrt{2 \Delta}$$

donde n es el índice de refracción del núcleo 10 y n(1-Δ) es el índice de refracción del revestimiento 11.

Normalmente, para las guías de baja pérdida, Δ ≈ 1/2% a 4%, NA ≈ 0,15 a 0,42 y θ ≈ 17° a 50°. El diámetro del núcleo D, NA, y el espesor del revestimiento T, determinan todos la naturaleza de los modos de propagación a lo largo de la fibra. Por lo tanto, por ejemplo, un rayo luminoso 12 emitido con un gran ángulo al eje de la fibra (cerca del ángulo crítico θ/2) experimentará un gran número de reflexiones en la zona interfacial del núcleo y el revestimiento 13, si se compara con un rayo luminoso 14 que se introduzca con un ángulo menos pronunciado. En el extremo de una longitud L de fibra la diferencia de retardo entre estos modos de orden superior e inferior es:

$$\tau_s = \frac{L}{c} n \Delta \approx 50 \text{ ns/km,}$$

donde c es la velocidad de la luz en el vacío, indicándose Δ en tanto % este retardo de modo diferencia se denomina dispersión de modo y produce difusión por impulsos aún con luz monocromática. La frecuencia, anchura de banda del producto de la longitud de la fibra de índice progresivo, queda limitada por lo tanto a aproximadamente 5 a 40Hz-Km.

La dispersión de modo diferencial se elimina si se deja que la fibra propague solamente el modo fundamental simple (HE<sub>11</sub>). A una longitud de onda λ se produce esta propagación si el valor V de la guía

satisface

$$V = \frac{\pi D}{\lambda} \cdot NA < 2,405.$$

En la operación de modo simple, la capacidad de información de la fibra está limitada esencialmente por la dispersión de material cromático (aproximadamente 0,8 a 1 ns/km por 100 Å de la anchura espectral de la fuente en la gama GaALAS de 8000 a 8600 Å). No obstante, esto exige que D, el diámetro del núcleo, sea aproximadamente igual a 1-5 μm. Esta es una sección transversal de núcleo pequeño y dificulta los empalmes y conexiones. Según se ha indicado anteriormente, se necesitan fuentes láser de modo simple para una introducción eficaz de la luz en dicha fibra de modo simple. El diámetro D no se puede aumentar arbitrariamente reduciendo la NA, puesto que una NA demasiado pequeña exige un revestimiento demasiado grueso para contener la onda evanescente y un radio de curvatura demasiado grande para conseguir pérdidas bajas por flexión.

Otra forma de fibra óptica tiene un núcleo con un índice de refracción que no es uniforme. Esta modalidad se ilustra en las Figuras 4 y 5, indicando la Figura 4 el índice de refracción del núcleo que se reduce de una forma aproximadamente parabólica, en 16. El revestimiento tiene un índice de refracción menor, como la fibra de la Figura 1 a 3. Según se verá en la Figura 15, los rayos luminosos 17 siguen trayectorias cuasisinusoidales en lugar de un trayecto en zig-zag. La luz recorre una distancia más corta en las regiones de índice de refracción elevado que en las regiones de índice bajo en un tiempo dado, lo cual tiene a igualar el promedio de velocidades de los diversos rayos. El retardo entre los modos de orden superior e inferior 17 y 18, respectivamente, es

$$\tau_g = k \frac{L}{c} \quad n \Delta^2 \approx \frac{k}{2} \Delta^2 \quad \text{ns/km}$$

donde k es un número que está comprendido entre 1/8 y aproximadamente 1, dependiendo de la precisión con que se mantenga el perfil Δ %.

Con fibras de índice de refracción no uniforme, o gradual, se han obtenido retardos de modo  $1/2$  a  $2$  ns/km. Las tolerancias de fabricación deben ser extraordinariamente estrictas si se desean conseguir los límites teóricos de  $1/64-1$  ns/km. Un inconveniente que tienen las fibras de índice gradual es que aceptan solamente la mitad de luz de una fuente incoherente que las fibras de índice progresivo o por etapas, y exigen también de radio de curvatura en las incurvaciones.

Además de los inconvenientes citados, las fibras de índice gradual cuando se producen a partir de crisoles dobles concéntricos exigen un intercambio de difusión iónica rápido en la etapa de estiramiento de la fibra. Además se utilizan vidrios blandos con una atenuación mayor que la del sílice fundido se producen núcleos pequeños de  $30$  a menos de  $50$   $\mu$ m de diámetro, y es difícil obtener un perfil prácticamente parabólico del índice de refracción.

Las fibras de índice gradual se pueden producir también por métodos de deposición de vapor químico (CVD), pero se exige una gran precisión en las concentraciones de adulterante.

El presente invento emplea fibras que tienen un gradiente "escalonado" para el índice de refracción al par que se obtiene con las mismas las ventajas que ofrece una dispersión de modo reducido. Las figuras 6 y 7 ilustran una fibra según una características del presente invento. La fibra comprende un núcleo 20 y una serie de anillos o capas concéntricas 21. El núcleo 20 y cada anillo alterno, v.g., anillos 22, 24, 26, 28 y 30 son de índice de refracción más elevado que los anillos intermedio y exterior 21, 23, 25, 27 y 29, 31, según se verá en la Figura 7. En el ejemplo de la Figura 6, la luz se transporta a través del núcleo 20 y los anillos 22, 24, 26, 28 y 30. El espesor de cada anillo fotoconductor se reduce con relación al anillo interior siguiente y el anillo más interno, 22, tiene un espesor ligeramente menor que el radio del núcleo 20.

Todos los anillos, 22, 24, 26, 28 y 30, tiene valores  $V_r$ , definidos por la ecuación

$$V_r \equiv 2 \frac{\pi r}{\lambda} \sqrt{b^2 - a^2} \quad NA$$

donde  $a$  y  $b$  son los radios interior y exterior de un anillo fototransmisor. Para asegurar que todas las velocidades de los grupos modales aproximadamente iguales, los valores  $V$  y  $V_r$  del núcleo 20 y los anillos 22, 24, 26, 28 y 30 deberán ser aproximadamente iguales. Por lo tanto, el diámetro del núcleo 20 y los radios interior y exterior de los anillos fototransmisores son de tal naturaleza que todas las áreas son iguales. Si se mantienen constantes las diferencias de índice del núcleo y el revestimiento, o sea las diferencias de índice entre el núcleo 20 y los anillos 22, 24, 26, 28 y 30 y los anillos de revestimiento 21, 23, 25, 27, 29 y 31, entonces el espesor de los anillos fototransmisores se reducirá medida que aumenta el radio. Es conveniente que los espesores de los anillos de revestimiento 21, 23, 25, 27, 29 y 31 sean suficientemente grandes para que el acoplamiento del campo evanescente entre los núcleos o los anillos fototransmisores se reduzca al mínimo, puesto que dicho acoplamiento produce una cierta difusión en las velocidades modales.

No obstante, la eficacia de la introducción de luz está relacionada con la fracción de área en sección transversal ocupada por el núcleo y los rayos fototransmisores y, por lo tanto, los espesores de los anillos de revestimiento no deberán ser demasiado grandes. Como indicación, de un 30 a 50% de la sección transversal total de una fibra es un punto óptimo a conseguir para el núcleo fototransmisor y los anillos fototransmisores.

El número de anillos fotoconductores puede variar y en cierto grado está controlado por la NA. Una NA, grande, por ejemplo de

0,2, reduce el número de anillos, y una NA menor, 0,1, permite un mayor número de anillos. Una NA pequeña permite más anillos de mayor tamaño y una mayor fuente luminosa pero la fuente luminosa debe ser más colimada que una pequeña. Una NA mayor exige menos colimación de la luz de entrada y permite curvaturas mayores de la fibra. La disposición de la figura 6 da una NA constante, con espesores de los anillos fototransmisores variables.

Las figuras 8 y 9 se refieren a una fibra óptica que tiene un núcleo fototransmisor y una pluralidad de anillos fototransmisores donde existe un índice de refracción variables y espesores de anillos constantes. Hay un núcleo fototransmisor 35 y anillos fototransmisores 37 y 39, y anillos de revestimiento 36, 38 y 40.

En ambas modalidades, como en las figuras 6 y 8, el núcleo puede ser de "revestimiento", o sea de menor índice de refracción y los anillos alternos sucesivos pueden ser también de revestimiento, con anillos intermedios de índice de refracción elevado, o sea, en la figura 6, el índice de refracción según se indica en la figura 7, se puede invertir, aun cuando se necesitará un anillo exterior de revestimiento.

En otra modalidad, no ilustrada, los espesores de los anillos y las diferencias de índice de refracción pueden variar apropiadamente.

También se puede variar el índice de refracción para cada anillo a través del espesor del anillo. En las figuras 10 y 11 se ilustran ejemplos típicos de una formación de fibra óptica como la de la Figura 8, por ejemplo.

Las fibras ópticas de anillos múltiples se producen fácilmente por deposición de vapor químico (CVD), deposición por plasma o hidrólisis por llama que son todos ellos métodos conocidos para producir fibras ópticas. Se consigue una ventaja particular si se producen anillos con un índice de refracción constante a través de su espesor en el sentido de que se puede conseguir fácilmente la adulteración. El nivel de

adulteración es constante y se reduce a un asunto de adulterar o no adulterar, en lo que se refiere a cada adulterante, para un anillo fototransmisor o un anillo de revestimiento.

Cuando se trata de un índice de refracción gradual es más fácil de conseguir puesto que el nivel de adulteración debe variar durante la producción de un anillo. Un ejemplo típico de un procedimiento para la producción de una fibra óptica por CVD es como sigue:

Un tubo de sílice fundido se monta para girar alrededor de su eje longitudinal, el eje vertical. Se burbujea oxígeno por separado a través de depósitos que mantienen  $\text{SiCl}_4$  y  $\text{GeCl}_4$  en forma líquida, captando el oxígeno vapor del líquido. El oxígeno y el vapor de cada depósito se alimentan a una cámara colectora más un flujo directo de oxígeno. Los flujos se combinan y se alimentan a través del tubo de sílice fundido. El tubo se hace girar y se hace recorrer una llama en sentido ascendente y descendente por el tubo. En la posición caliente en el tubo los gases y vapores se disocian y se produce oxidación del silicio y del germanio con una deposición resultante sobre la pared del tubo. La deposición adopta la forma de un depósito de hollín que se funde sobre la pared del tubo en forma de una capa vítrea. Se efectúan diversas pasadas de la llama para formar un anillo particular. El nivel de adulteración se ajusta variando la proporción de flujo de oxígeno a través de la solución de cloruro de germanio.

Después de haberse formado el número necesario de anillos se abate el tubo, haciendo pasar de nuevo la llama a lo largo del tubo, pero a una temperatura elevada, de forma que el tubo se reblandece y se abate bajo las fuerzas de tensión superficial. De este modo el anillo interior se convierte en el núcleo. El tubo abatido se estira para formar una fibra de una forma normal, por ejemplo alimentándolo en un horno y ejerciendo tracción desde el extremo inferior y enrollándolo sobre un cilindro.

Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriores son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental.

- REIVINDICACIONES -

1.- Perfeccionamientos en fibras ópticas transmisoras de luz, caracterizados porque se constituyen de un núcleo y una pluralidad de anillos rodeando al núcleo, teniendo los anillos y el núcleo índices de refracción alternos alto y bajo entre sí.

2.- Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque el núcleo y los anillos alternos subsiguientes presentan trayectos de transmisión de luz, siendo los anillos intermedios de material de revestimiento, cuyo material de revestimiento tiene un índice de refracción menor que el de los trayectos de transmisión de luz.

3.- Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque el núcleo y los anillos alternos subsiguientes son de material de revestimiento y los anillos intermedios son de material fototransmisor.

4.- Perfeccionamientos según la reivindicación 2, caracterizados porque el núcleo y cada anillo fototransmisor tienen un espesor radial en reducción y un índice de refracción relativamente mayor y virtualmente constante.

5.- Perfeccionamientos según la reivindicación 2, caracterizados porque el núcleo y cada anillo fototransmisor tienen el mismo espesor radial, reduciéndose el índice de refracción del núcleo y de los anillos fototransmisores progresiva o escalonadamente.

6.- Perfeccionamientos en fibras ópticas transmisoras de luz, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria e ilustrado en los dibujos adjunto.

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

Madrid, 22 SET. 1976

NORTHERN TELECOM LIMITED.

ROMEZ ACEBO Y MODEI

En Firma de L. Gasta Fernández

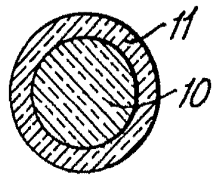


Fig. 1

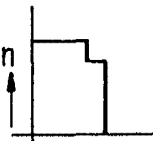


Fig. 2

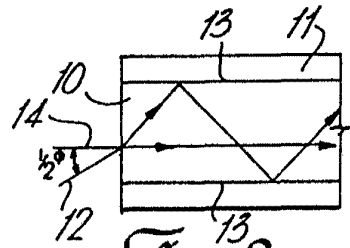


Fig. 3

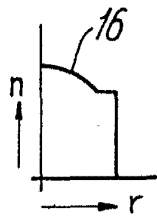


Fig. 4

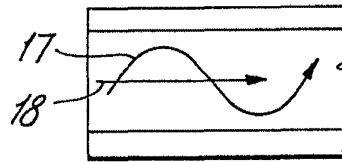


Fig. 5

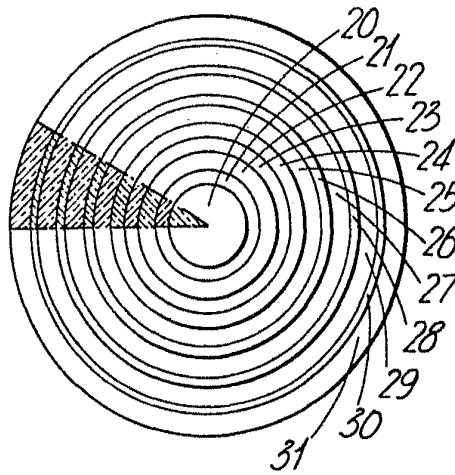


Fig. 6

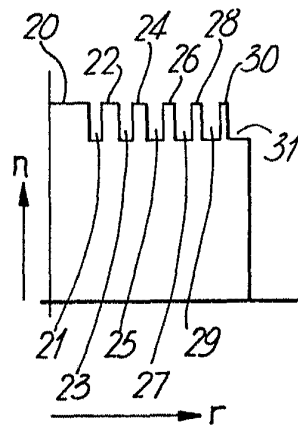


Fig. 7

Madrid, 2 de Septiembre de 1964

AGENCIA ASESORIA Y MODELO  
n.º de Registro: L. 10.000

*[Handwritten signature]*

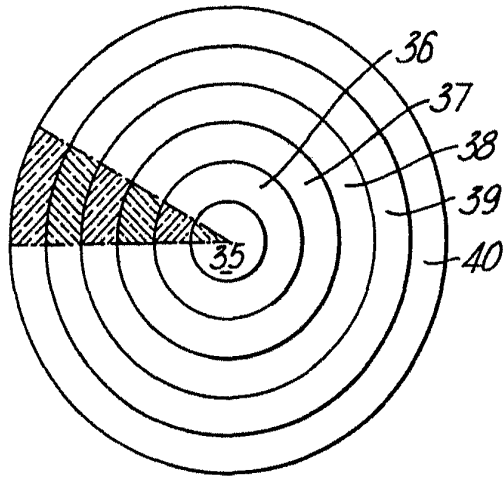


Fig. 8

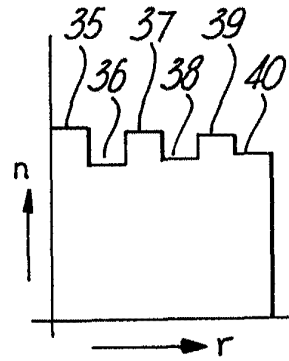


Fig. 9

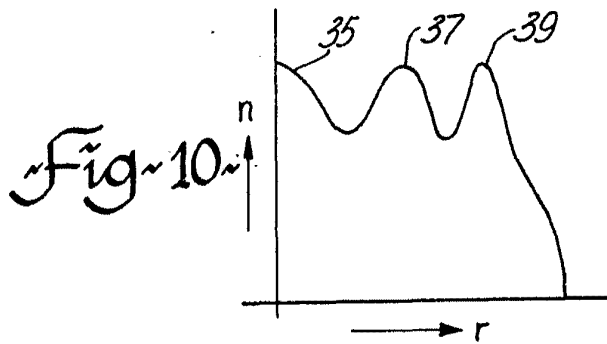


Fig. 10

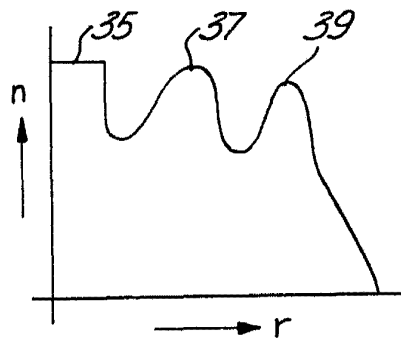


Fig. 11

EP  
CAL  
A  
E

Madrid

22 SEP 1973

AGUIRRE ACEBU Y MURRI  
Ingenieros de Camión y Carreteras

*[Handwritten signature]*