

A2

**DEMANDE
DE CERTIFICAT D'ADDITION**

(21)

N° 82 10983

Se référant : au brevet d'invention n° 80 17005 du 31 juillet 1980.

(54)

Fibres optiques et procédé de fabrication de celles-ci.

(51)

Classification internationale (Int. Cl.³). C 03 B 37/025, 37/01; G 02 B 5/16.

(22)

Date de dépôt..... 23 juin 1982.

(33)

(32)

(31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 52 du 30-12-1983.

(71)

Déposant : ETAT FRANÇAIS, représenté par le ministre des PTT (Centre national d'études
des télécommunications). — FR.

(72)

Invention de : Georges Le Noane et Daniel Boscher.

(73)

Titulaire :

(74)

Mandataire : Cabinet Plasseraud,
84, rue d'Amsterdam, 75009 Paris.

Certificat(s) d'addition antérieur(s) :

Fibres optiques et procédé de fabrication de celles-ci

La présente invention concerne les fibres optiques et leurs procédés de fabrication en continu.

La demande de brevet 80 17005 décrit un procédé de fabrication de fibres optiques en continu permettant de réaliser des fibres que l'on peut qualifier comme à pseudo gradient d'indice, ayant un noyau central d'indice constant entouré d'une couronne d'indices progressivement variables.

Une telle fibre constitue un intermédiaire entre les grandes familles de fibres antérieurement existantes, les fibres à saut d'indice, de coût faible mais dont les performances en bande passante sont faibles et les fibres à gradient d'indice permettant d'atteindre des bandes passantes élevées, mais de coût élevé du fait notamment du temps nécessaire pour déposer les multiples couches successives donnant naissance à la couronne.

Les fibres à pseudo gradient d'indice permettent d'arriver à une bande passante de quelques centaines de MHz, très supérieure à celles des fibres à saut d'indice et suffisante pour de nombreuses applications. Du fait que le noyau de la fibre est en matériau homogène susceptible d'être fabriqué par des techniques de masse et que seule la couronne externe est réalisée par une opération coûteuse de dépôt progressif, on peut arriver à un coût modéré, très inférieur à celui des fibres à gradient d'indice dans toute la zone de transmission de lumière.

De très nombreuses études ont été effectuées pour déterminer les profils de variation d'indice de l'intérieur vers l'extérieur de la fibre, favorables à l'obtention d'une bande passante élevée. Ces études, en général effectuées en utilisant une approche modale du problème de la transmission, ont conduit à de nombreuses formules de variation. On en trouvera un exemple dans le document GB-A-2 017 956 et dans le brevet US 3 904 268.

Parmi les profils envisageables, on a notamment considéré celui représenté par une loi de variation dite

- 2 -

"en alpha" dont la transposition au cas d'une fibre à pseudo gradient d'indice, ayant un rayon extérieur r_2 et un rayon de noyau r_1 est :

$$n_{\alpha}(r) = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{r - r_1}{r_2 - r_1}\right)^{\alpha} [1 - (n_2/n_1)^2]} \quad (1)$$

5 Dans cette formule, n_1 désigne l'indice constant du noyau et n_2 l'indice de la couche extérieure, de rayon r_2 .

Cette transposition du cas des fibres à gradient d'indice aux fibres à pseudo gradient d'indice dans lesquelles r_1 représente une fraction importante de r_2 (typiquement environ la moitié) fait apparaître, lorsqu'on
10 étudie la trajectoire des rayons d'inclinaison variable sur l'axe, une réduction de la bande passante.

Cette étude a fait apparaître que la limitation était notamment due à une accélération insuffisante des rayons
15 lumineux présentant une force inclinaison sur l'axe dans les premières couches d'indice variable.

L'invention vise notamment à réaliser des fibres optiques à pseudo gradient d'indice présentant une bande passante satisfaisante et, dans ce but, elle propose notamment un procédé suivant lequel on
20 fait varier la proportion de dopant dans la couronne à indice variable de façon que la zone de la fibre comprise entre le noyau d'indice constant n_1 et les couches extérieures d'indice constant n_2 , inférieur à n_1 ait un indice n variable de façon monotone qui, au moins dans la partie proche du noyau, est inférieur à l'indice n_{α} donné par la
25 formule (1) ci-dessus dans laquelle r_1 et r_2 sont les rayons du noyau et de la limite des couches extérieures et α est un exposant prédéterminé.

La valeur de α sera choisie en fonction d'un calcul d'optimisation tenant compte de paramètres extérieurs. α sera toutefois en règle
30 générale inférieur à 2 et on peut considérer que la plage 0,7-1,9 sera en général la plus satisfaisante. α peut être constant de r_1 à r_2 mais une diminution de α de r_1 à r_2 (α restant dans la plage 0,7-1,9) permettra souvent d'améliorer l'optimisation.

Dans une première variante de réalisation, on fera
35 varier la proportion de dopant de façon que l'indice varie dans l'ensemble de la zone à indice variable suivant une

- 3 -

loi de la forme :

$$n(r) = n_{\alpha}(r) \cdot \left[1 - a \sin \frac{r - r_1}{r_3 - r_1} \pi \right] \quad (2)$$

a étant un facteur constant prédéterminé et r_3 étant un rayon compris entre r_1 et r_2 .

- 5 On voit que, dans cette disposition, l'indice sera supérieur à l'indice n_{α} correspondant dans la partie interne tandis que, dans la partie externe de r_3 à r_2 , l'indice sera supérieur.

- Dans une autre variante de réalisation, on réalise
 10 une discontinuité d'indice entre le noyau et la zone de diamètre variable. Dans ce cas, la zone de diamètre variable aura un indice qui varie d'une valeur n_4 à proximité immédiate du noyau à la valeur n_2 dans les dernières couches. Dans cette zone d'indice variable, on pourra
 15 adopter notamment une loi en alpha du genre donné en formule (1) ci-dessus. Le saut d'indice $n_1 - n_4$ ne dépassera généralement pas 30% de $n_1 - n_2$.

- L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit de diverses variantes de réalisation,
 20 données à titre d'exemples non limitatifs. Cette description se réfère au dessin qui l'accompagne, dans lequel :
 - la figure 1 est une courbe représentative de la variation de l'indice le long du rayon de la fibre, dans le cas d'un profil du type dit en alpha,
 25 - les figures 2 et 3, similaires à la figure 1, montrent le profil d'indice dans le cas de deux variantes de réalisation de l'invention.

- Une fibre suivant l'invention comporte un noyau 1, qui sera généralement en silice dopée ou non dopée suivant
 30 la valeur que l'on cherche à donner à son indice n_1 (figure 1). Ce noyau, de rayon r_1 , est entouré d'une couronne d'indice variable depuis le cercle intérieur de la couronne, de rayon r_1 , jusqu'au cercle extérieur de la couronne, de rayon r_2 . Cette première couronne sera fréquemment en-
 35 tourée d'une seconde couronne d'indice constant et typique-

- 4 -

ment égal à l'indice n_2 . Enfin, une gaine de protection en matière plastique, typiquement en résine plastique, entoure généralement la seconde couronne.

5 Etant donné que les dopants utilisables pour le dépôt de couches de silice à haute température abaissent l'indice, l'indice n_2 sera en règle générale inférieur à n_1 . On peut ainsi, surtout lorsque le noyau est en silice pure, adopter le mode de fabrication décrit dans la demande de brevet 80 17005 qui permet une réalisation économique,
10 la couronne de rayons extrêmes r_1 et r_2 étant la seule qui est fabriquée par un procédé de dépôt progressif coûteux, par exemple l'hydrolyse à la flamme.

Comme cela a déjà été indiqué plus haut, l'utilisation d'un profil d'indice du genre montré en figure 1,
15 avec une loi de variation en α dans la couronne de rayons extrêmes r_1 et r_2 provoque une limitation de la bande passante due notamment aux différences de temps de parcours de la lumière suivant que la trajectoire est rectiligne dans le noyau d'indice constant ou alternativement rectiligne et hélicoïdale pour des rayons présentant une inclinaison sur l'axe. Les différences de
20 temps de parcours peuvent être réduites par un choix approprié de α , à l'issue d'un calcul d'intégration tenant compte des caractéristiques géométriques de la fibre, notamment r_1/r_2 , et de son ouverture numérique; dans le cas par exemple de $r_1 = 0,5 r_2$ et d'une ouverture
25 numérique de 0,149, on a trouvé que l'optimum correspondrait à peu près à $\alpha \simeq 1$ et conduisait à une bande passante de 300 MHz. La caractéristique optimale correspondant à des rayons lumineux d'inclinaison sur l'axe de
30 4° dans le noyau.

L'invention propose d'améliorer la bande passante, notamment en réduisant les écarts de temps de parcours pour les rayons lumineux ayant une forte inclinaison sur
35 l'axe. Pour cela, il est proposé d'accélérer ces rayons lumineux très rapidement dans les premières couches de la couronne d'indice variable, et éventuellement de les ralentir dans les couches externes.

- 5 -

On obtient cette accélération, puis ce ralentissement, en superposant au profil en alpha montré sur la figure 1, un profil en sinusoïde dont l'amplitude peut, elle aussi, faire l'objet d'une optimisation. Dans le cas illustré
 5 en figure 2, la variation de $\underline{n}$ dans la couronne de rayons extrêmes r_1 et r_3 est de la forme :

$$n(r) = n_{\alpha}(r) \cdot \left[1 - a \sin \frac{r - r_1}{r_3 - r_1} \pi \right] \quad (2)$$

10 et $n(r) = n_{\alpha}(r) \left[1 + a \sin \left(\frac{r - r_3}{r_2 - r_3} \right) \right]$ entre r_3 et r_2 .

L'optimisation de cette formule peut s'effectuer en jouant notamment sur deux termes, r_3 et $\underline{a}$. En général, $\underline{a}$ sera de l'ordre de 10^{-4} et r_3 sera choisi de façon que $r_3 - r_1 / r_2 - r_1$ soit de l'ordre du tiers. Un tel choix
 15 conduit à un temps de propagation approximativement constant pour tous les rayons dont l'inclinaison sur l'axe est comprise entre $2,8^\circ$ et $5,8^\circ$. Une étude de la réponse impulsionnelle et de la bande passante montre que l'on peut obtenir une bande de 550 MHz, qui doit être comparée
 20 avec la bande de 300 MHz dans le cas de la loi en alpha pure montrée en figure 1, ceci dans le cas d'une ouverture numérique de 0,149.

Des simulations ont été effectuées avec diverses valeurs de l'ouverture numérique, variant de 0,133 à
 25 0,197, d'abord en conservant la valeur $\alpha = 1$, puis pour $\alpha = 1,4$. Ces simulations ont fait apparaître la possibilité d'obtenir une bande passante optimum dépassant 350 MHz, même pour des ouvertures numériques proches de 0,2, lorsque $r_1 = 0,5 r_2$.

30 Dans la variante de réalisation montrée en figure 3, on aplatit la courbe de variation du temps de propagation en fonction de l'inclinaison sur l'axe en prévoyant un saut d'indice $n_1 - n_4$ entre le noyau de rayon r_1 et la couronne. Cette solution se prête particulièrement bien
 35 au mode de fabrication décrit dans la demande de brevet

- 6 -

80 17005 déjà mentionnée, où les couches qui donneront naissance à la couronne de rayon $r_1 - r_2$ sont fabriquées par un processus de dépôt entièrement différent du processus de fabrication de la barre qui donnera naissance au

5 noyau. L'absence de continuité dans le processus de fabrication fait que l'on peut, sans aucune difficulté, partir, pour la fabrication de la couronne, d'un indice n_4 notablement différent de n_1 . Dans la pratique, le saut d'indice ne dépassera généralement pas 20% de $n_4 - n_2$ et

10 on adoptera une loi de variation de l'indice entre n_4 et n_2 en alpha, mais entre les valeurs n_4 et n_2 et non plus entre n_1 et n_2 .

$$15 \quad n_\alpha(r) = n_4 \left[1 - \left(\frac{r - r_1}{r_2 - r_1} \right)^\alpha \right] [1 - (n_2/n_4)^2] \quad (3)$$

On ne décrira pas ici le processus complet de fabrication, non plus que l'installation permettant de le mettre en oeuvre, car il peut être extrêmement similaire à ceux décrits dans la demande de brevet 80 17005.

20 L'invention ne se limite évidemment pas aux modes particuliers de réalisation qui ont été représentés et décrits à titre d'exemples et il doit être entendu que la portée du présent brevet s'étend à toute variante restant dans le cadre des équivalences, ainsi qu'à toutes fibres conformes

25 à celles obtenues par mise en oeuvre de l'invention et présentant donc une loi de variation du genre donné ci-dessus.

REVENDECATIONS

1. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3 de la demande de brevet 80 17005, caractérisé en ce qu'on fait varier la proportion de dopant dans la couronne de façon que la zone de la fibre comprise entre le noyau d'indice constant n_1 et les couches extérieures d'indice constant n_2 , inférieur à n_1 , ait un indice n variable de façon monotone qui, au moins dans la partie proche du noyau, est inférieur à l'indice n_α donné par :

$$10 \quad n_\alpha(r) = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{r-r_1}{r_2-r_1}\right)^\alpha [1 - (n_2/n_1)^2]} \quad (1)$$

r_1 et r_2 étant les rayons du noyau et de la limite des couches extérieures et α étant un exposant prédéterminé, inférieur à 2.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la proportion de dopant est réglée de façon que la loi de variation de l'indice dans l'ensemble de ladite zone obéisse à une loi de la forme :

$$n(r) = n_\alpha(r) \cdot \left[1 - a \sin \frac{r - r_1}{r_3 - r_1} \pi\right] \quad (2)$$

- a étant un facteur constant prédéterminé et r_3 étant un rayon compris entre r_1 et r_2 .

3. Procédé suivant la revendication 2, caractérisé en ce que r_3 est choisi pour que $r_3 - r_1/r_2 - r_1$ soit de l'ordre de $1/3$ et en ce que a est de l'ordre de 1.10^{-4} .

4. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la proportion de dopant est réglée de façon que l'indice dans ladite zone présente une diminution brusque jusqu'à une valeur n_4 à proximité immédiate du noyau, puis varie jusqu'aux couches extérieures suivant une loi de la forme :

$$30 \quad n_\alpha(r) = n_4 \sqrt{1 - \left(\frac{r - r_1}{r_2 - r_1}\right)^\alpha [1 - (n_2/n_4)^2]} \quad (3)$$

- 8 -

5. Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que α est une fonction décroissante de r de r_1 à r_2 .

5 6. Procédé suivant la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que n_4 est choisi tel que $n_1 - n_4$ ne dépasse pas 30% de $n_1 - n_2$.

7. Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que α est compris entre 0,7 et 1,9.

1/1

FIG.1

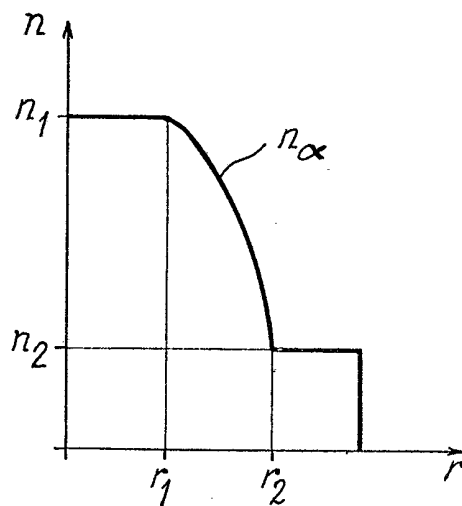


FIG.2

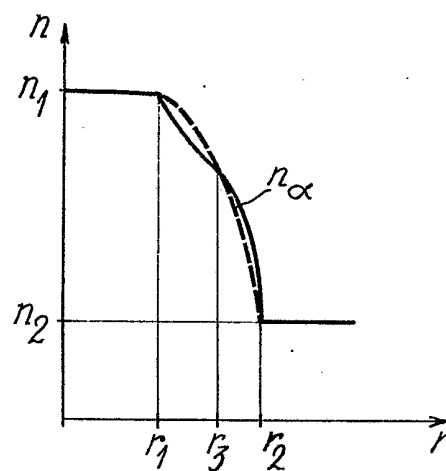


FIG.3

