

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 580 330**

51 Int. Cl.:

C03B 37/018 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.09.2012 E 12184822 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2016 EP 2573056**

54 Título: **Preforma primaria para fibras ópticas y procedimiento para su fabricación**

30 Prioridad:

20.09.2011 NL 2007447

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

23.08.2016

73 Titular/es:

DRAKA COMTEQ B.V (100.0%)

De Boelelaan 7

1083 HJ Amsterdam, NL

72 Inventor/es:

MILICEVIC, IGOR;

HARTSUIKER, JOHANNES ANTOON y

VAN STRALEN, MATTHEUS JACOBUS

NICOLAAS

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 580 330 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Preforma primaria para fibras ópticas y procedimiento para su fabricación

- 5
- [0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento para fabricar una preforma primaria para una fibra óptica, utilizando un proceso de deposición química en fase de vapor asistida por plasma interna, en el que precursores de formación de vidrio dopados o sin dopar, se suministran al interior de un tubo de sustrato de vidrio hueco, una zona reactiva en forma de un plasma se mueve en vaivén a lo largo de la longitud del tubo de sustrato de vidrio hueco mencionado anteriormente entre un punto de inversión próximo al lado de alimentación y un punto de inversión próximo al lado de descarga del tubo de sustrato hueco, en el que el tubo de sustrato se coloca en un horno y en el que en la zona reactiva mencionada anteriormente se crean condiciones tales que el interior del tubo de sustrato antes mencionado se depositan uno o más conjuntos de capas de vidrio formados por, al menos dos, capas de vidrio separadas.
- 10
- [0002]** En las técnicas de deposición en fase de vapor interna, una mezcla reactiva consistente en gases de formación de vidrio y opcionalmente dopantes, se suministra al lado de suministro de un tubo de sustrato de vidrio hueco, después de lo cual dichos gases se convierten en vidrio en una zona reactiva. Los gases sin reaccionar y/o productos residuales, se descargan a través del lado de descarga del tubo de sustrato de vidrio hueco.
- [0003]** En un proceso de deposición en fase de vapor interna de tipo PCVD (Plasma Chemical Vapour Deposition [deposición química en fase de vapor asistida por plasma]), la zona reactiva es un plasma que se desplaza en vaivén a lo largo de la longitud del tubo de sustrato de vidrio hueco. En un proceso PCVD, las capas de vidrio se depositan directamente en el interior del tubo de sustrato de vidrio hueco, independientemente de la dirección en la que se desplaza la zona reactiva. Es conocido un proceso PCVD, entre otros, a partir de los documentos US 4.741.747, US 5.145.509, US 5.188.648, WO 2004/101458 y US 2008/0044150.
- 20
- [0004]** En un proceso de deposición en fase de vapor interna del tipo MCVD (Modified Chemical Vapour Deposition [deposición química en fase de vapor modificada]) o FCVD (Furnace Chemical Vapour Deposition [deposición química en fase de vapor en horno]), la reacción de los gases de formación de vidrio y agentes de dopado opcionales, se activa por calentamiento del exterior del tubo de sustrato de vidrio hueco, utilizando un quemador o un horno, respectivamente. En el zona reactiva, que se encuentra cerca del quemador o del horno, los gases de formación de vidrio se convierten en un denominado hollín, dicho hollín se deposita sobre el interior del tubo de sustrato de vidrio hueco bajo la influencia de termoforesis. Dicho hollín se convierte en el vidrio mediante calentamiento. En un proceso de MCVD o FCVD, las capas de vidrio se depositan sólo cuando la zona reactiva se desplaza en la dirección del lado de descarga del tubo de sustrato de vidrio hueco. Los procesos de PCVD, MCVD y FCVD son conocidos en la técnica.
- 25
- [0005]** El documento JP 57-51.139, describe un proceso de MCVD, en el que se produce un material de partida para una fibra óptica. En un ciclo, varias capas de vidrio se depositan en el interior de un tubo de sustrato, con la deposición empezando desde una posición próxima al lado de suministro y variando para cada capa de vidrio la distancia a lo largo de la cual se desplaza la zona reactiva en la dirección del lado de descarga. El material de partida es producido llevando a cabo sucesivamente una pluralidad de ciclos.
- 30
- [0006]** Una fibra óptica consta de un núcleo y una capa exterior que rodea dicho núcleo, también referida como "revestimiento". El núcleo por lo general tiene un índice de refracción más alto que el revestimiento, por lo que la luz puede ser transportada a través de la fibra óptica.
- [0007]** El núcleo de una fibra óptica puede consistir en una o más capas concéntricas, cada una con un espesor específico y un índice de refracción específico o un gradiente de índice de refracción en dirección radial específico.
- 35
- [0008]** Una fibra óptica que tiene un núcleo que consiste en una o más capas concéntricas que tienen un índice de refracción constante en dirección radial, también se refiere como una fibra óptica de índice en escalón (múltiple). La diferencia entre el índice de refracción n_i de una capa concéntrica y el índice de refracción n_{cl} del revestimiento se puede expresar por un valor llamado delta, indicado como $\Delta_i \%$ y se puede calcular según la siguiente fórmula:

$$\Delta_i \% = \frac{n_i^2 - n_{cl}^2}{2n_i^2} * 100\%$$

- 50
- donde:
 n_i = valor del índice de refracción de la capa i
 n_{cl} = valor del índice de refracción del revestimiento
- 55
- [0009]** Una fibra óptica puede también ser fabricada de manera tal que tenga un núcleo con un denominado perfil de índice de refracción de índice de gradiente. Un perfil de índice de refracción radial tal se define tanto con un valor delta $\Delta\%$ como con un llamado valor alfa α . El índice de refracción máximo en el núcleo se utiliza para determinar el valor $\Delta\%$. El valor alfa se puede determinar por medio de la fórmula siguiente:

$$n(r) = n_1 \left(1 - 2\Delta\% \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right)^{\frac{1}{2}}$$

donde:

- 5 n_1 = valor del índice de refracción en el centro de la fibra
 a = radio del núcleo índice de gradiente [μm]
 α = valor alfa
 r = posición radial en la fibra [μm]
- 10 **[0010]** Un perfil de índice de refracción radial de una fibra óptica debe considerarse como una representación del índice de refracción como una función de la posición radial en una fibra óptica. Del mismo modo, es posible representar gráficamente la diferencia de índice de refracción con el revestimiento como una función de la posición radial en la fibra óptica, lo que también puede ser considerado como un perfil de índice de refracción radial.
- 15 **[0011]** La forma del perfil de índice de refracción radial, y en particular los espesores de las capas concéntricas y el índice de refracción o el gradiente de índice de refracción en la dirección radial del núcleo, determina las propiedades ópticas de la fibra óptica.
- [0012]** Una preforma primaria comprende una o más capas de preforma que forman la base para una o más capas concéntricas de núcleo y/o parte del revestimiento de la fibra óptica que se puede obtener a partir de una preforma final.
- 20 **[0013]** Una capa de preforma está construida por varias capas de vidrio. En un proceso de deposición en fase de vapor interna, la capa es una capa de vidrio que se deposita durante el desplazamiento de la zona reactiva desde el lado de suministro al lado de descarga o desde el lado de descarga al lado de suministro.
- [0014]** Una preforma final como se refiere aquí es una preforma a partir del cual se fabrica una fibra óptica, utilizando un proceso de estirado de fibra.
- 25 **[0015]** Para obtener una preforma final, una preforma primaria es externamente provista de una capa adicional de vidrio, cuya capa adicional de vidrio comprende el revestimiento o parte del revestimiento. Dicha capa adicional de vidrio se puede aplicar directamente a la preforma primaria. También es posible colocar la preforma primaria en un tubo de vidrio ya formado, también referido como "tubo de camisa". Dicha camisa puede ser contraída sobre la preforma primaria. Por último, una preforma primaria puede comprender tanto el núcleo como el revestimiento de una fibra óptica, por lo que no existe necesidad de aplicar una capa adicional de vidrio. Una preforma primaria es en este caso idéntica a una preforma final. Un perfil de índice de refracción radial se puede medir en una preforma primaria y/o en una preforma final.
- 30 **[0016]** La longitud y el diámetro de una preforma final, determinan la longitud máxima de la fibra óptica que puede ser obtenida a partir de la preforma final.
- 35 **[0017]** Para disminuir los costes de producción de las fibras ópticas y/o aumentar el rendimiento por preforma primaria, el objetivo, por tanto, es producir una longitud máxima de fibra óptica que cumpla con los estándares de calidad requeridos, y a partir de una preforma final.
- [0018]** El diámetro de una preforma final puede aumentarse mediante la aplicación de una capa de vidrio adicional más gruesa a una preforma primaria. Dado que las propiedades ópticas de una fibra óptica están determinadas por el perfil de índice de refracción radial, la capa de vidrio adicional debe estar en todo momento en la proporción correcta respecto del espesor de capa de las capas de preforma de la preforma primaria que formarán el núcleo, más particularmente, la capa o las capas concéntricas del núcleo, en la fibra óptica. En consecuencia, el espesor de capa de la capa de vidrio adicional aplicada a la preforma primaria, está limitada por el espesor de las capas de preforma que se forman por medio del proceso de deposición en fase de vapor interna.
- 40 **[0019]** La longitud de una preforma final puede aumentarse mediante el aumento de la longitud, más en particular, la longitud útil, de una preforma primaria. El término "longitud útil" se ha de entender como la longitud de la preforma primaria a lo largo de la cual las propiedades ópticas, se mantienen dentro de límites de tolerancia predeterminados, cuyos límites de tolerancia han sido seleccionados de modo que se obtengan fibras ópticas que cumplan con los estándares de calidad deseados.
- 45 **[0020]** Para determinar la longitud útil de la preforma primaria, un perfil de índice de refracción radial se mide en numerosas posiciones a lo largo de su longitud, después de lo cual es posible, basándose en dichas mediciones, determinar un denominado perfil de índice de refracción longitudinal y un perfil geométrico longitudinal para cada capa de preforma, si se desea.
- 50 **[0021]** De esta manera, un perfil de índice de refracción longitudinal puede considerarse como la representación gráfica del índice de refracción de una capa de preforma como función de la posición longitudinal en la preforma. Naturalmente, también es posible utilizar la diferencia de índice de refracción en lugar del índice de refracción para determinar un perfil de índice de refracción longitudinal.
- 55 **[0022]** Un perfil geométrico longitudinal puede ser considerado como una representación gráfica del espesor del área de la sección transversal de una capa de preforma como función de la posición longitudinal en la preforma primaria. El área de la sección transversal, también referido como CSA, se puede calcular a partir de un perfil de índice de refracción radial. La CSA se puede calcular como sigue:
- 60

$$CSA_i = \frac{\pi}{4} (d_{i,u}^2 - d_{i,i}^2)$$

5 donde

CSA_i = área de la sección transversal de la capa de preforma i [mm²]

d_{i,u} = diámetro exterior de la capa de preforma i [mm]

d_{i,i} = diámetro interior de la capa de preforma i [mm]

10

[0023] La longitud útil de una preforma primaria es en particular afectada negativamente por el llamado "ahusamiento". El término "ahusamiento" se ha de entender como una desviación de la óptica y/o de las propiedades geométricas de la preforma primaria en las regiones próximas a los extremos de la misma. Se hace una distinción entre el ahusamiento óptico y el ahusamiento geométrico.

15

[0024] El ahusamiento óptico se refiere a desviaciones del índice de refracción (o la diferencia de índice de refracción), mientras que el ahusamiento geométrico se refiere a desviaciones del área de la sección transversal de la capa de preforma.

[0025] Si una preforma primaria está construida con varias capas de preforma, los ahusamientos óptico y geométrico de las capas de preforma difieren entre sí.

20

[0026] Son conocidos en la técnica procedimientos para reducir el ahusamiento óptico y/o geométrico.

[0027] El documento de patente US número US 4.741.747, por ejemplo, da a conocer un procedimiento para la fabricación de preformas ópticas de acuerdo con el procedimiento PCVD, en el que capas de vidrio se depositan haciendo desplazar un plasma en vaivén entre dos puntos de inversión en el interior de un tubo de vidrio, con adición al tubo de una mezcla gaseosa reactiva a una temperatura que varía entre 1100° C y 1300° C y una presión que oscila entre 1 hPa y 30 hPa. Haciendo desplazar el plasma, no linealmente en función del tiempo, cerca de, al menos uno de los puntos de inversión, en los extremos de la preforma óptica se reduce la magnitud de la región que presenta geometría de deposición no constante.

25

[0028] Los presentes inventores han descubierto que un procedimiento de este tipo conduce, ciertamente, a una reducción del ahusamiento geométrico pero que el ahusamiento óptico no mejora, o incluso empeora. Por otra parte, los presentes inventores han encontrado que es necesario, en algunos casos, influir sobre el índice de refracción del vidrio depositado también en otras posiciones fuera de las llamadas regiones de ahusamiento.

30

[0029] A pesar de que este modo es posible, utilizando los procedimientos de la técnica anterior, aumentar la longitud útil de una preforma primaria, existe necesidad de un procedimiento por medio del cual, la longitud útil pueda ser aumentada aún más.

35

[0030] De acuerdo con ello, un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para fabricar preformas primarias de fibras ópticas que tengan una longitud útil grande.

[0031] Otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para la fabricación de preformas primarias para fibras ópticas en el que la influencia sobre el ahusamiento óptico puede tener lugar de manera independiente del ahusamiento geométrico.

40

[0032] Aún otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento mediante el cual, el índice de refracción y/o el área de sección transversal pueden ajustarse, con precisión deseada, como función de la posición en la dirección longitudinal de la preforma primaria.

[0033] La presente invención se caracteriza porque el procedimiento comprende la siguiente etapa: definir condiciones de deposición como una función de la posición de la zona reactiva, vista en la dirección longitudinal del tubo de sustrato de vidrio hueco, para la deposición de, al menos, una capa de vidrio, con las condiciones de deposición así definidas difiriendo entre sí dentro de la deposición de la capa de vidrio antes mencionada.

45

[0034] La presente invención se basa en el entendimiento de que cuando una preforma final es estirada, los espesores de capa de las capas de vidrio depositadas utilizando de un proceso de deposición en fase de vapor interna, se reducen drásticamente en la preforma final. Una fibra óptica típica tiene un diámetro de 125 μm. Una preforma final para fibras de modo único tiene un diámetro de alrededor de 100 a 150 mm, por ejemplo, o incluso mayor. Durante la fabricación de la fibra óptica, el espesor de las capas de la preforma, y así también el espesor de las capas de vidrio en la preforma final, se reduce por tanto en un factor del orden de aproximadamente 800 a 1200, o incluso mayor.

50

[0035] Los presentes inventores se han dado cuenta de que la forma en que la luz se propaga a través de la fibra óptica, está influenciada por las propiedades medias de varias capas de vidrio adyacentes en vez de por las propiedades de cada capa de vidrio individual. Así, los presentes inventores han encontrado que es posible construir una capa de preforma a partir de conjuntos de capas de vidrio, en donde cada conjunto de capas de vidrio se compone de, al menos, dos capas de vidrio y en donde las propiedades ópticas de las, al menos dos, capas de los conjuntos de capas de vidrio se diferencian entre sí, sin que esto tenga efecto sobre la propagación de la luz a través de la fibra óptica.

55

60

[0036] Es decir, los presentes inventores han encontrado que una primera fibra fabricada a partir de una primera preforma primaria compuesta de una o más capas de preforma, cada una de las cuales a su vez compuesta de capas de vidrio que son idénticas entre sí, tiene las mismas propiedades ópticas que una segunda fibra fabricada de

acuerdo con la presente invención, con las propiedades ópticas promedio de un conjunto de capas de vidrio en la segunda preforma primaria correspondiente a las propiedades ópticas de las capas de vidrio de la primera preforma primaria. Se observa que las propiedades ópticas promedio se determinan en la dirección radial.

5 **[0037]** En otras palabras, los presentes inventores han descubierto que en un proceso de deposición en fase de vapor interna en el que se depositan capas de vidrio relativamente delgadas, no todas las capas de vidrio necesitan tener exactamente el mismo índice de refracción o el mismo área de sección transversal; preferiblemente, el espesor de la capa de vidrio individual en la fibra óptica producida a partir de la preforma primaria, es significativamente menor que la longitud de onda de la luz que se propaga por la fibra óptica, y el índice de refracción promedio de las capas de vidrio es idéntico al índice de refracción de una capa de preforma de una preforma primaria en la que todas las capas de vidrio presentan el mismo índice de refracción. Además, es deseable que el objetivo antes descrito en relación con el valor del índice de refracción también se aplique al área de sección transversal de las capas de vidrio dentro de un conjunto de capas de vidrio que se han obtenido por deposición.

10 **[0038]** Utilizando la presente invención, es por tanto posible ajustar las condiciones de deposición de las capas de vidrio, de tal manera que el ahusamiento geométrico se reduzca al mínimo, mientras que el ahusamiento óptico está apenas influenciado, en todo caso. Utilizando la presente invención, es además posible ajustar las condiciones de deposición de las capas de vidrio, de tal manera que el ahusamiento óptico se reduzca al mínimo, mientras que el ahusamiento geométrico es apenas influido, en todo caso, de esta manera. En otras palabras, utilizando la presente invención, se ha encontrado que es posible ajustar el ahusamiento óptico y el ahusamiento geométrico independientemente entre sí. En consecuencia, la longitud útil de una preforma primaria se puede aumentar en comparación con los procedimientos de la técnica anterior.

15 **[0039]** La presente invención proporciona una posibilidad de ajustar el índice de refracción medio y/o el área de sección transversal media de una capa de preforma, visto en dirección radial, en función de la posición a lo largo de la longitud de una preforma. Para ello, las condiciones de deposición pueden hacerse variar como una función de la posición de la zona reactiva. Por tanto, es deseable que las condiciones de deposición de capas de vidrio que son adyacentes entre sí dentro de un conjunto de capas de vidrio, se diferencien entre sí.

20 **[0040]** Más en particular, se ha encontrado que es posible reducir las desviaciones locales del índice de refracción medio y/o del área de sección transversal media de una capa de preforma, visto en dirección radial, ajustando las condiciones de deposición en función de la posición de la zona reactiva, visto en la dirección longitudinal del tubo de sustrato de vidrio hueco, para cada una de las capas de vidrio de un conjunto de capas de vidrio. De esta manera es preferible que dentro de un conjunto de capas de vidrio particular, el valor del índice de refracción y/o el área de sección transversal de una capa de vidrio obtenida por deposición, difiera del valor de índice de refracción y/o el área de sección transversal de otra capa de vidrio obtenida por deposición.

25 **[0041]** Dicho de otra manera, la presente invención no se limita a influir sobre el ahusamiento geométrico y el ahusamiento óptico sino que puede utilizarse a lo largo de toda la longitud de la preforma primaria.

30 **[0042]** En una realización especial, el valor del índice de refracción medio y/o el área de sección transversal promedio de un conjunto de capas de vidrio particular, compuesto de varias capas de vidrio individuales obtenidas por deposición, pueden considerarse como una combinación del valor de índice de refracción o del área de sección transversal de cada una de las capas de vidrio individuales, con el valor de índice de refracción y/o del área de sección transversal de, al menos, dos de tales capas de vidrio individuales del conjunto de capas de vidrio antes mencionado, difiriendo entre sí.

35 **[0043]** La presente invención proporciona además una posibilidad de fabricación de una preforma primaria, en la que la relación entre las áreas de sección transversal de las diversas capas de la preforma es sustancialmente constante a lo largo de la longitud de la preforma primaria, pero en la que los espesores de capa de las capas de preforma no son constantes a lo largo de la longitud de la preforma primaria. Tal preforma primaria puede ser provista de una capa de vidrio adicional en una etapa de procesamiento adicional, debiendo ser seleccionado el espesor de capa de la capa de vidrio adicional, de manera que la relación entre el área de sección transversal de la capa de vidrio adicional y el área de sección transversal de la capa de preforma sea constante a lo largo de la longitud de la preforma primaria. De esta forma se obtiene una preforma primaria final en la que la relación entre la capa adicional y las capas de preforma es constante a lo largo de la longitud de la preforma final. El diámetro exterior de una preforma final tal no es, usualmente, constante en la dirección longitudinal. La tecnología mencionada anteriormente también se denomina de "perfil sobre-revestido". Después de ser estirada en una fibra con un diámetro exterior constante, una preforma final producida a partir de la tecnología de perfil sobre-revestido, dará como resultado una fibra en la que los espesores de capa de vidrio de las capas concéntricas del núcleo y el revestimiento son sustancialmente constante, vistas en la dirección longitudinal, que a su vez dará como resultado una fibra que presenta propiedades ópticas sustancialmente constantes, vista en dirección longitudinal.

40 **[0044]** De este modo, se alcanza, al menos, uno de los objetos antes mencionados.

45 **[0045]** Cada una de las capas de vidrio de un conjunto de capas de vidrio, tiene un espesor, visto en dirección radial, que varía de 0,1 mm a 10 mm, preferiblemente de 0,5 mm a 5 mm.

50 **[0046]** En una realización preferida, el número de capas de vidrio de las que se compone un conjunto de capas de vidrio, varía de 2 a 100, preferiblemente de 2 a 50 y más preferiblemente de 4 a 30. Un número relativamente alto de capas de vidrio, hace que sea posible realizar un control preciso de las propiedades ópticas promedio del conjunto de capas de vidrio. Un bajo número de capas de vidrio es relativamente fácil de controlar, pero impone límites respecto de las posibilidades de ajuste de las propiedades ópticas medias del conjunto de capas de vidrio. Un proceso que es fácilmente controlable en la práctica, puede llevarse a cabo utilizando un conjunto de capas de vidrio que comprende alrededor de 10 a 20 capas de vidrio.

[0047] El número de capas de vidrio de un conjunto de capas de vidrio se ajusta preferiblemente de modo que se cumpla la siguiente condición:

$$N \leq 0,1 * \lambda * Q_{\text{final}} / d * Q_{\text{fibra}}$$

5

donde

N = Número de capas de vidrio en un conjunto de capas de vidrio [-]

λ = Longitud de onda mínima utilizada de la fibra óptica [μm]

10 d = Espesor de una capa de vidrio 3 de un conjunto de capas de vidrio 4 de una preforma primaria [μm]

Q_{final} = Diámetro de la preforma final producida a partir de la preforma primaria [mm]

Q_{fibra} = Diámetro de la fibra óptica [mm].

15 [0048] Definir las condiciones de deposición comprende preferiblemente el ajuste de uno o más parámetros de proceso seleccionados del grupo de: cantidad de gas adicional a dosificar al lado de suministro, velocidad de la zona reactiva, intensidad del plasma en la zona reactiva y longitud de la zona reactiva. El término "cantidad" ha de entenderse, en particular, en el sentido de caudal, a saber, cantidad por unidad de tiempo.

[0049] Se observa que la dirección de desplazamiento de la zona reactiva no debe ser considerada como una condición de deposición.

20 [0050] En una realización especial de la presente invención es posible, por tanto, subdividir, la longitud de deposición, a saber, la longitud del tubo de sustrato a lo largo de la cual se mueve la zona reactiva entre los dos puntos de inversión, en regiones de deposición separadas, en las que la condición de deposición respectiva se determina para cada región de deposición. En particular, se procura que la condición de deposición determinada para una región de deposición sea ajustable durante el proceso de deposición.

25 [0051] El suministro de gas adicional tiene lugar preferiblemente en forma de uno o más impulsos que tienen una longitud de pulso y una altura de pulso. Los dopantes se añaden a la mezcla reactiva. Un dispositivo adecuado para esta realización, se describe en el documento EP 2199263. Utilizando dicho dispositivo, un flujo de gas principal de gases de formación de vidrio, que comprende opcionalmente una cantidad de dopantes, se suministra al lado de suministro del tubo de sustrato de vidrio hueco. Una cantidad adicional de dopantes puede ser suministrada en un flujo de gas secundario. La presente invención puede utilizarse, por tanto, por ejemplo mediante adición de impulsos de dopante adicional al flujo de gas principal.

30 [0052] La longitud del impulso se mantiene preferiblemente relativamente corto, de manera que se permita ajustar con la mayor precisión posible el índice de refracción de la capa de vidrio, visto en dirección longitudinal. La altura del pulso determina la cuantía en que se influye sobre el índice de refracción. Preferiblemente, la longitud del pulso varía entre 1 ms y 500 ms, más preferiblemente entre 1 ms y 200 ms, aún más preferiblemente entre 5 ms y 100 ms.

35 [0053] Aunque el dispositivo según el documento EP 2199263, se refiere al suministro de impulsos de gases adicionales, el procedimiento de acuerdo con la presente invención no está limitado a ello. También es posible, por ejemplo, utilizar un controlador de caudal, tal como un controlador de caudal másico.

40 [0054] El gas adicional puede ser un gas que aumente o disminuya el índice de refracción. Además, la presente invención no se limita a la utilización de un único dopante; también es posible utilizar una combinación de dopantes. Los dopantes utilizados pueden variar, además, para cada capa de vidrio del conjunto de capas de vidrio. Dopantes adecuados son, por ejemplo, GeCl_4 , PO_2Cl_5 , N_2CF_4 , SiF_4 , C_2F_6 , C_4F_8 , CCl_2F_2 , SiF_4 , Si_2F_6 , SF_6 , NF_3 y F_2 .

45 [0055] Mediante el ajuste de la cantidad de dopante a lo largo de la longitud de la preforma primaria, es posible obtener un perfil de índice de refracción longitudinal deseado. Si es necesario, la velocidad de la zona reactiva también se puede ajustar en función de la posición a fin de influir sobre el espesor de la capa de vidrio en dirección longitudinal. De este modo también es posible influir en el papel geométrico.

50 [0056] El gas adicional también puede ser un gas que no tenga un efecto de aumento o de disminución del índice de refracción, pero mediante el cual dicho efecto puede obtenerse indirectamente. Ejemplos de tales gases son O_2 , Ar y He. Dichos gases, cuando son suministrados a la zona reactiva, tendrán un efecto sobre la intensidad del plasma, dando como resultado que la eficacia de incorporación de dopantes puede ser aumentada o disminuida, según sea el caso. Además, la cantidad total de vidrio depositado, y por lo tanto el espesor de capa de una capa de vidrio, puede ser influenciada en cierta medida.

55 [0057] Por razones de capacidad de control del proceso de deposición, en el procedimiento según la invención, es preferible utilizar sólo un gas adicional. Se observa que los gases que se suministran, además, para el ajuste del índice de refracción medio en dirección radial de un conjunto de capas de vidrio, pueden o no ser acumulativos a una cantidad básica de dopantes ya que se suministran al tubo de sustrato de vidrio hueco como un flujo constante junto con los otros gases de formación de vidrio.

60 [0058] La definición del conjunto de capas de vidrio preferiblemente comprende además, el ajuste de una longitud de deposición para cada capa de vidrio. La longitud de deposición a considerar como la distancia entre un punto de inversión de la zona reactiva próximo al lado de suministro y un punto de inversión de la zona reactiva próximo al lado de descarga del tubo de sustrato de vidrio hueco. El ajuste de la longitud de deposición puede hacerse así, mediante el ajuste de la posición de los puntos de inversión de la zona reactiva para las capas de vidrio de un conjunto de capas de vidrio. La variación de la longitud de deposición es una de las posibilidades para influir sobre el

- espesor de capa del conjunto de capas de vidrio en la proximidad del lado de suministro y/o del lado de descarga. Preferiblemente, la longitud de deposición en el lado de suministro se reduce en no más de la longitud del plasma. Además preferiblemente, la longitud de la deposición en el lado de descarga se reduce en no más de la longitud del plasma. La longitud del plasma en un proceso PCVD es de unos 5 cm a 60 cm, preferiblemente 15 cm a 25 cm.
- 5 Nótese que la fijación de la longitud de la deposición no debe ser interpretada como definición de las condiciones de deposición.
- [0059] La zona reactiva es preferiblemente un plasma generado por medio de microondas, que preferiblemente se mueve en vaivén en la dirección longitudinal del tubo de sustrato de vidrio hueco, entre los dos puntos de inversión, a una velocidad promedio que oscila entre 2 m/min y 40 m/min, preferiblemente de 15 m/min a 25 m/min.
- 10 [0060] La preforma primaria comprende preferiblemente, al menos, una capa de preforma, cuya capa de preforma está, al menos en parte, constituida de conjuntos de capas de vidrio, en la que la capa de preforma tiene, vista en dirección radial, un índice de refracción promedio sustancialmente constante. El principio de la presente invención se aplica tanto a las capas de preforma que tienen un índice de refracción constante (promedio), referidas como capas de preforma de "índice en escalón", como a capas de preforma que tienen un índice de refracción no constante. Por
- 15 ejemplo, la presente invención también se puede utilizar en la fabricación de preformas para fibras ópticas que tengan un núcleo del tipo de índice de gradiente, o un núcleo con un perfil de índice de refracción triangular.
- [0061] Si una preforma primaria comprende varias capas de preforma diferentes, los conjuntos de capas de vidrio de cuyas dichas capas de preforma diferentes se construyen pueden ser diferentes entre sí. Una primera capa de preforma puede, por ejemplo, comprender conjuntos de capas de vidrio que incluyen diez capas de vidrio, mientras que una segunda capa de preforma comprende conjuntos de capas de vidrio que incluyen dieciséis capas de vidrio.
- 20 [0062] La presente invención se refiere además a un procedimiento para fabricar una preforma final para una fibra óptica, que comprende las siguientes etapas: i) fabricación de una preforma primaria de acuerdo con la presente invención; ii) contracción de la preforma primaria obtenida en la etapa i) en una preforma primaria maciza bajo la influencia de una fuente de calor, iii) aplicar, opcionalmente, una cantidad adicional de vidrio sobre el lado exterior de la preforma primaria maciza obtenida en la etapa ii) con el fin conformar la preforma final.
- 25 [0063] Una fibra óptica se puede producir a continuación por calentamiento de un extremo de la preforma final y estirando la fibra óptica del mismo. Los procedimientos para la elaboración de fibras ópticas son conocidos en la técnica.
- [0064] La presente invención se refiere además a la preforma primaria obtenida mediante el presente procedimiento.
- 30 [0065] La preforma primaria que puede obtenerse utilizando el presente procedimiento, se caracteriza porque cada una de las capas de vidrio de un conjunto de capas de vidrio, tiene un espesor; visto en dirección radial, que varía de 0,1 mm a 10 mm, variando entre 2 y 10 el número de capas de vidrio que, de preferencia, se compone dicho conjunto de capas de vidrio.
- [0066] La presente invención se explicará ahora en mayor detalle por medio de ejemplos con referencia varias figuras, en relación a lo cual, debe señalarse, sin embargo, que la presente invención está de ninguna manera limitada a los mismos.
- 35 La figura 1 muestra esquemáticamente un proceso de deposición química en fase de vapor asistida por plasma interna.
- La figura 2 muestra esquemáticamente un perfil de índice de refracción radial de una fibra óptica de índice en escalón.
- 40 La figura 3 muestra una parte de un perfil de índice de refracción radial de una fibra óptica de índice en escalón de acuerdo con la técnica anterior
- La figura 4 muestra una parte de un perfil de índice de refracción radial de una fibra óptica de índice en escalón que puede obtenerse por el procedimiento según la presente invención.
- 45 La figura 5 muestra una realización de una ejecución del procedimiento según la presente invención.
- La figura 6 muestra un ejemplo de una curva de respuesta.
- La figura 7 muestra un ejemplo de unas cuantas curvas de respuesta.
- La figura 8 muestra esquemáticamente una forma de realización preferida del procedimiento según la presente invención.
- 50 La figura 9 muestra un perfil de índice de refracción longitudinal de una preforma primaria fabricada según la técnica anterior.
- La figura 10 muestra un perfil geométrico longitudinal de una preforma primaria fabricada según la técnica anterior.
- La figura 11 muestra un perfil de índice de refracción longitudinal de una preforma primaria fabricada de acuerdo con la presente invención.
- 55 La figura 12 muestra un perfil geométrico longitudinal de una preforma primaria fabricada de acuerdo con la presente invención.
- [0067] La figura 1 muestra esquemáticamente un proceso de deposición de vapor interna para la fabricación de una preforma primaria para fibras ópticas. Un tubo de sustrato de vidrio hueco 5, tiene un lado de suministro 6 y el lado de descarga 7. El lado de suministro 6 y el lado de descarga 7 se puede colocar respectivamente entre una entrada de gas y una salida de gas (no mostradas). El lado de suministro 6 y el lado de descarga 7 se pueden restringir por ejemplo por medio de un pasaje cilíndrico provisto de una junta tórica, de manera que el volumen interno del tubo de sustrato de vidrio hueco 5, esté aislado de la atmósfera exterior. Una construcción tal, hace que sea posible llevar a cabo un proceso de deposición en fase de vapor interna a una presión reducida cuando una bomba (no mostrada), se conecta a la salida de gas. Durante el proceso de deposición en fase de vapor, la mezcla reactiva que contiene los gases formadores de vidrio y dopantes opcionales, se suministra al lado de suministro 6. Cualesquiera dopantes
- 60
- 65

adicionales que se proporcionen en el procedimiento de acuerdo con la presente invención, pueden ser suministrados directamente al lado de suministro 6 o mezclarse con la mezcla reactiva antes del suministro.

[0068] En la figura 1 se muestra, además, una zona reactiva 8, cuya zona reactiva 8 se mueve en vaivén durante el proceso de deposición en fase de vapor interna, entre un punto de inversión 11, situado próximo al lado de suministro 6 y un punto de inversión 12, situado próximo al lado de descarga 7. La zona reactiva 8 tiene una longitud 9, vista en la dirección longitudinal del tubo de sustrato 5, que es relativamente pequeña respecto de la longitud de deposición. Para un proceso PCVD, la longitud 9 es de unos 5 cm a 60 cm.

[0069] La distancia entre los dos puntos de inversión es la longitud de deposición 10, cuya longitud de deposición 10 corresponde a la longitud a lo largo de la cual se depositan sobre el interior del tubo de sustrato de vidrio hueco 5 las capas de vidrio. En un proceso de deposición en fase de vapor interna tipo PCVD, al menos, la longitud de deposición 10 y los dos puntos de inversión puede estar rodeados por un horno (no mostrado), que se ajusta a una temperatura de aproximadamente 800°C a 1300°C, preferiblemente de 950°C a 1100°C.

[0070] Durante el proceso de deposición en fase de vapor interna, una mezcla gaseosa de gases de formación de vidrio dopados o sin dopar, se suministra a través del lado de suministro 6 del tubo de sustrato de vidrio hueco 5, cuyos gases de formación de vidrio se convierten en vidrio en la zona reactiva 8. Utilizando el movimiento de vaivén de la zona reactiva 8 entre los puntos de inversión 11 y 12, varias capas de vidrio 3 (ver figuras 3 y 4) son por tanto depositadas en el interior del tubo de sustrato de vidrio hueco 5.

[0071] La presente invención se refiere a un proceso de deposición en fase de vapor interna de tipo PCVD, en el que microondas son acopladas al interior de un tubo de sustrato de vidrio hueco 5, a través de un espacio de resonancia, también llamado resonador, que rodea parcialmente el tubo de sustrato de vidrio hueco 5, visto en la dirección longitudinal, a fin de formar una zona reactiva 8, a saber un plasma. La longitud 9 de la zona reactiva 8, depende en particular de la construcción del resonador y los ajustes del proceso. La relación entre la longitud 9 de la zona reactiva y la longitud del resonador, vistas en dirección longitudinal, es aproximadamente de 0,5 a 3.

[0072] En un proceso PCVD, el espacio de resonancia se mueve en vaivén a lo largo de la longitud del tubo de sustrato de vidrio hueco entre los puntos de inversión 11 y 12. Los resonadores son conocidos en la técnica, por ejemplo a partir de las solicitudes de patentes estadounidenses publicadas con los números US 2007/0289532, US 2003/0159781 y US 2005/0172902, y las patentes estadounidenses números US 4.844.007, US 4.714.589 y US 4.877.938. El proceso PCVD, es un proceso llamado de baja presión, por lo que se entiende que la presión durante el proceso de deposición en fase de vapor interna, se ajusta a un valor en el rango de 1 a 40 mbar, preferiblemente en el rango de 5 a 30 mbar.

[0073] En la figura 2, se muestra esquemáticamente un perfil de índice de refracción radial de una preforma primaria contraída para una fibra óptica. La preforma primaria comprende un núcleo 1 y un revestimiento 2. La diferencia de índice de refracción entre el núcleo 1 y el revestimiento 2, se representa como Δn_1 . El núcleo 1 y el revestimiento 2 tienen ambos un valor de índice de refracción constante, vistos en dirección radial. Así, se proporciona una preforma primaria para un tipo de fibra óptica de índice en escalón. Tras la fabricación de una preforma primaria según la figura 2, el revestimiento 2 comprende un tubo de sustrato 5 y, posiblemente, una o más capas de preforma adicionales (no mostradas). Con referencia a la figura 3, el núcleo 1 y cualquiera capas de preforma adicionales, deben ser considerados como capas de preforma que se componen de varias capas de vidrio 3. Las capas de vidrio 3 se depositan en un movimiento de vaivén de la zona reactiva 8 durante proceso de deposición en fase de vapor interno. Se observa que el tubo de sustrato 5 de la preforma primaria no debe ser considerado como capa de preforma.

[0074] La figura 3 es una representación esquemática de una parte del núcleo 1 y del revestimiento 2 de una preforma primaria contraída, fabricada de acuerdo con la técnica anterior, en la que las capas de vidrio depositadas 3 del núcleo 1, se muestran esquemáticamente. Cada capa de vidrio 3 del núcleo 1, presenta la misma diferencia de índice de refracción Δn_1 con el revestimiento 2. Debido a que cada capa de vidrio 3 presenta una diferencia de índice de refracción Δn_1 con el revestimiento 2, la diferencia de índice de refracción media del núcleo 1 es, por tanto, igual a Δn_1 .

[0075] La figura 4 es una representación esquemática de una parte del núcleo 1 y del revestimiento 2 de una preforma primaria contraída, fabricada de acuerdo con la presente invención, en la que se muestran de manera esquemática las capas de vidrio 3a a 3f depositadas en el proceso de deposición en fase de vapor interna. Durante la fabricación de la preforma primaria según la figura 4, al menos, dos conjuntos de capas de vidrio 4, se han depositado, sucesivamente, en el interior del tubo de sustrato 5. El conjunto de capas de vidrio 4 se compone de las capas de vidrio 3a, 3b, 3c, 3d, 3e y 3f. La diferencia de índice de refracción de las capas 3b, 3d, 3e y 3f no es igual a Δn_1 . Sin embargo, el índice de refracción promedio del conjunto de capas de vidrio 4 es igual a Δn_1 .

[0076] Por lo tanto, la preforma primaria de la figura 3 y la preforma primaria de la figura 4 comprenden, cada una, un núcleo 5, cuyos núcleos presentan el mismo promedio diferencia de índice de refracción Δn_1 con el revestimiento. El número de capas de vidrio y conjunto de capas de vidrio que se muestran en la figura 4, no debe interpretarse como limitativo.

[0077] Los presentes inventores suponen que si las preformas primarias de acuerdo con las figuras 3 y 4, son procesadas en fibras ópticas, no puede observarse diferencia que pueda medirse de las propiedades ópticas entre las fibras ópticas si el espesor de las capas de vidrio es suficientemente pequeño.

[0078] Los presentes inventores suponen, sin querer limitarse a ello, que existe una serie de razones para ello.

[0079] En primer lugar, el espesor de capa de una capa de vidrio 3 en una preforma primaria se reduce en muchas veces durante el procesamiento de la preforma primaria en una fibra óptica. Espesores de capa de las capas de vidrio 3 para un proceso tipo de PCVD, varía entre 0,1 μm y 10 μm por capa de vidrio. Una preforma final tiene un

diámetro externo, en función del tipo de fibra óptica fabricar, que oscila entre 50 mm y 200 mm, de modo que el espesor de capa de las capas de vidrio 3 en la preforma primaria, se reduce por un factor de 400 a 1600, respectivamente. La consecuencia de esto para preformas primarias fabricadas por medio de un proceso PCVD, es que el espesor de capa de la capa de vidrio 3 en la fibra óptica será muchas veces menor que la longitud de onda de la luz que se propaga a través de la fibra, de modo que dicha luz es influida por un número relativamente grande de capas de vidrio que son adyacentes entre sí y no tanto por las capas de vidrio individuales.

[0080] Una fibra óptica se utiliza principalmente en el rango de longitud de onda comprendido entre aproximadamente 850 nm y 1700 nm. Una fibra óptica típica tiene, además, un diámetro de aproximadamente 125 μm , más en general, el diámetro se encuentra en el rango 80 μm a 250 μm .

[0081] Los presentes inventores suponen que, además del efecto del espesor de capa de la capa de vidrio 3, los dopantes presentes en una capa de vidrio 3, se difunden ligeramente hacia las capas de vidrio adyacentes 3 durante el procesamiento de la preforma primaria en una fibra óptica. El resultado de esto, es que las diferencias en el índice de refracción entre capas de vidrio adyacentes 3 se reducen ligeramente.

[0082] En la figura 5, se expone esquemáticamente cómo puede ser llevado a cabo el procedimiento de acuerdo con la presente invención en un proceso para la fabricación de preformas primarias para una fibra óptica. Nótese que la presente invención no se limita a esta aplicación.

[0083] En una primera etapa 100, se determinan las llamadas curvas de respuesta. Una curva de respuesta, es una representación gráfica de la forma en que el índice de refracción de una capa de vidrio depositada 3, responde en la dirección longitudinal del tubo de sustrato 5 cuando las condiciones de deposición en una posición particular se cambian en comparación con las condiciones de deposición a lo largo de la restante porción de la longitud de deposición 10.

[0084] Un ejemplo de una curva de respuesta tal, se muestra en la figura 6. En el eje horizontal se representa la posición de la zona reactiva expresada en unidades arbitrarias [ua]. En el eje vertical se representa la relación entre el índice de refracción del vidrio depositado y el índice de refracción del vidrio de cuarzo puro. Esta forma de representación en modo alguno supone limitación de la presente invención. La curva de respuesta de la figura 6, se puede obtener por medio de un proceso de deposición interior en el que durante la deposición de una capa de preforma, para una posición A, se añade una cantidad adicional de C_2F_6 a la mezcla reactiva de manera pulsada con el movimiento de la zona reactiva 8 en la dirección del lado de descarga 7. Cuando la zona reactiva se mueve en la dirección del lado de suministro 6, no se suministra cantidad adicional de gas alguna. Preferiblemente, la preforma primaria es contraída después de la finalización del proceso de deposición. Posteriormente, se determina el perfil de índice de refracción longitudinal de la capa de preforma 4, que corresponde a la curva de respuesta de la figura 6, como se puede observar en la figura 6, el índice de refracción disminuye prácticamente en escalón desde una posición B, después de lo cual el índice de refracción aumenta de nuevo gradualmente.

[0085] A pesar de que en la posición A se añade el pulso con la cantidad adicional de C_2F_6 , el efecto sólo es visible a partir de la posición B. La razón de esto es el hecho de que la entrada de gas se elimina relativamente lejos de la zona reactiva. Además, se puede observar que a pesar de ser suministrada una cantidad pulsada de C_2F_6 , el índice de refracción, no presenta una variación en forma de impulso o así. Esto es producido, entre otras cosas, por la dirección de circulación y caudal de la mezcla reactiva así como la dirección del movimiento y la velocidad de la zona reactiva 8. En el caso de una menor velocidad de movimiento de la zona reactiva 8, la distancia entre A y B se hará más pequeña, y el aumento del índice de refracción se llevará a cabo más rápidamente.

[0086] Nótese que la curva de respuesta de acuerdo con la figura 6, se determina por la adición de una cantidad pulsada de C_2F_6 , tras el movimiento de la zona reactiva 8 en la dirección del lado de descarga. Dependiendo del tipo de proceso y la manera en que se utiliza la presente invención, también puede ser deseable determinar curvas de respuesta tras el movimiento de la zona reactiva en la dirección del lado de descarga y/o para determinar curvas de respuesta cuando una cantidad pulsada de dopante, se suministra tanto tras el movimiento en la dirección del lado de descarga como tras el movimiento en la dirección del lado de suministro. Además, pueden determinarse curvas de respuesta también para otros dopantes y, pudiendo ajustarse, además, la amplitud del pulso y la duración del pulso.

[0087] En la figura 7, se muestra varias curvas de respuesta, correspondiendo cada curva a una cantidad particular de C_2F_6 adicional suministrada de manera pulsada. Se obtuvieron cuatro curvas de respuesta *a*, *b*, *c* y *d*, a partir de cuatro diferentes cantidades adicionales de C_2F_6 . La cantidad adicional de C_2F_6 para la curva *a* era la más baja, siendo la cantidad adicional de C_2F_6 para la curva *d* la más alta. Por tanto, es posible determinar la influencia de la magnitud de la cantidad adicional de C_2F_6 pulsada, en la reducción del índice de refracción y la variación del índice de refracción.

[0088] Las curvas de respuesta mostradas en las figuras 6 y 7, se han obtenido a partir de experimentos con C_2F_6 como dopante, suministrado en forma de impulsos con un amplitud y anchura de impulso específicas. Otros factores que influyen en la curva de respuesta, tales como, entre otras cosas, la dirección de circulación y el caudal de la mezcla reactiva, la dirección del movimiento, manteniéndose igual la velocidad y la longitud de la zona reactiva. No obstante, la presente invención no se está limitada a ello. En principio, es posible determinar curvas de respuesta para cualquier tipo de dopante, tanto de aumento de índice de refracción como de disminución de índice de refracción, y para cualquier forma de adición, mientras que los restantes factores con influencia se pueden ajustar libremente.

[0089] En una segunda etapa, ha de fabricarse una preforma primaria de acuerdo con la técnica anterior. La preforma primaria puede, si se desea, ser contraída en una varilla maciza, después de lo cual, en la etapa 102, se determina el perfil de índice de refracción longitudinal y el perfil geométrico longitudinal.

[0090] A partir del perfil de índice de refracción longitudinal y el perfil geométrico longitudinal determinados en la etapa 102, y a partir de la(s) curva(s) de respuesta previamente determinada(s), en la etapa 103 se define un conjunto de capas 4, para la fabricación de las siguientes preformas primarias, haciéndose correcciones para desviaciones de un valor deseado del índice de refracción y/o de los valores geométricos.

5 **[0091]** La corrección del índice de refracción se lleva a cabo cambiando las condiciones de deposición, en particular la cantidad de dopante en la mezcla reactiva, en dependencia de la posición de la zona reactiva 8. Dependiendo de la magnitud de la/las desviación/desviaciones, en un conjunto de capas de vidrio 4, puede ser necesario un mayor número de capas de vidrio 3 a fin de obtener el resultado deseado.

10 **[0092]** La corrección de la geometría, en particular el espesor de capa de la capa de preforma, se puede corregir ajustando la velocidad de la zona reactiva 8 como una función de la posición. Por lo general, una velocidad inferior de la zona reactiva 8, dará lugar a una capa de vidrio más gruesa, mientras que el espesor de una capa de vidrio disminuirá cuando se ajuste una velocidad más alta. El conjunto de capas de vidrio 4 y las condiciones de deposición asociadas son así definidos en la etapa 103.

15 **[0093]** En una realización práctica, la definición del conjunto de capas de vidrio 4 y las condiciones de deposición asociadas para la corrección de los resultados del perfil de índice de refracción longitudinal, da como resultado una llamada matriz. En la figura 8, se muestra un ejemplo de una matriz tal. En esta figura 8, la longitud de deposición 10 se subdivide en varias regiones de deposición, pero pudiendo ser el número de dichas regiones de deposición mayor o menor. En la figura 8, se muestran veintiuna regiones de deposición, pero el número de regiones de deposición puede ser mayor o menor. En una realización preferida, la longitud de deposición 10 se divide de 10 a 20 **20** 100 regiones de deposición, más preferiblemente de 20 a 50 regiones de deposición. Una subdivisión tal en regiones de deposición predefinidas es práctica, pero no necesaria. Posteriormente, se define el número de capas de vidrio 3 del conjunto de capas de vidrio 4, dicho número de capas de vidrio son las diez de la realización de la figura 8. Las flechas en el lado izquierdo y el lado derecho de la matriz indican la dirección de movimiento de la zona reactiva. La zona reactiva para una primera capa de vidrio 3 del conjunto de capas de vidrio 4, se mueve por lo tanto desde el **25** lado de suministro 6 hacia el lado de descarga 7 (de izquierda a derecha en la figura 8). Posteriormente, la zona reactiva para la segunda capa de vidrio 3 del conjunto de capas de vidrio 4, se mueve desde el lado de descarga 7 hacia el lado de suministro 6, etc. La primera, tercera y quinta, es decir, las líneas con numeración impar de la figura 8, se refieren al movimiento de la zona reactiva de izquierda a derecha, que es desde el lado de suministro hacia el lado de descarga. Las líneas con numeración par en la figura 8 (que son las líneas dos, cuatro, seis etc.) se refieren **30** al movimiento de la zona reactiva de derecha a izquierda, es decir, desde el lado de descarga hacia el lado de suministro. En una realización preferida del presente procedimiento ■ (área en negro) en la matriz aparecerá sólo en líneas con numeración impar, mientras que □ aparecerá en líneas con numeración par. Esto significa que las condiciones del proceso, solamente se ajustan durante el movimiento de izquierda a derecha, es decir, desde el lado de suministro hacia el lado de descarga. En un modo de realización preferido de este tipo, por ejemplo, sólo se **35** añade una cantidad adicional de C_2F_6 a la mezcla reactiva en impulsos durante la deposición de las "capas de vidrio impares", mientras que durante el movimiento de la zona reactiva desde el lado de descarga hacia el lado de suministro ninguna cantidad adicional de C_2F_6 es añadida a la mezcla reactiva.

[0094] De acuerdo con la figura 8, dependiendo de la posición de la zona reactiva, se añade una cantidad adicional de C_2F_6 a la mezcla reactiva en forma de impulso. Un impulso de este tipo se indica con ■ (área en negro) en la **40** matriz, mientras que □ significa que ninguna cantidad adicional de C_2F_6 se suministra. Así, se ha encontrado que es posible subdividir la longitud de deposición, es decir, la longitud del tubo de sustrato a lo largo de la cual la zona reactiva se mueve entre los dos puntos de inversión, en regiones de deposición separadas, para cada región deposición de las cuales se determina la respectiva condición de deposición, en la que, en particular, la condición de depósito que ha sido determinada para una región de deposición se puede ajustar durante el proceso de deposición.

[0095] Ha de señalarse que la matriz de la figura 8 se refiere a la adición de impulsos de C_2F_6 , de manera que **45** pueden hacerse correcciones cuando el valor del índice de refracción es demasiado alto. También es posible, sin embargo, definir una o más matrices a partir de impulsos de un dopante de aumento de índice de refracción, tal como $GeCl_4$, o de gases que no afectan directamente el índice de refracción, tales como oxígeno o argón. Por último, también es posible producir matrices similares para otras condiciones de deposición como se expone en las reivindicaciones dependientes, tales como, por ejemplo, la velocidad y la potencia de la zona reactiva. Utilizando la presente invención, varias matrices pueden de este modo llevarse a cabo simultáneamente, y las propiedades de una capa de vidrio 3 del conjunto de capas de vidrio 4, se verán influenciadas de forma simultánea en varias **50** maneras diferentes. Por razones de control de proceso, es preferible llevar a cabo el presente procedimiento con, como máximo, dos variables, es decir, dos tipos de condiciones de deposición.

[0096] Se observa que por un lado la etapa 100 y las etapas 101 y 102 por otro lado, son independientes entre sí y **55** se puede llevar a cabo, por tanto, en un orden aleatorio.

5 [0097] Después de haber definido el conjunto de capas de vidrio 4 y las condiciones de deposición de una capa de vidrio 3, en la etapa 104, se fabrica una siguiente preforma primaria, utilizando el conjunto de capas de vidrio 4 y las condiciones de deposición asociadas definidas en la etapa 103. En la etapa 105, son determinados el perfil de índice de refracción longitudinal y el perfil geométrico longitudinal de dicha preforma primaria, opcionalmente después de llevar a cabo contracción de la misma en una preforma primaria maciza. Si el perfil de índice de refracción longitudinal y el perfil geométrico longitudinal, cumplen los requisitos en estas materias, pueden ser fabricadas más preformas primarias posteriormente, utilizando el conjunto de capas de vidrio ya definido. Si el perfil longitudinal índice de refracción y/o el perfil geométrico longitudinal no cumplen, o lo hacen insuficientemente, los requisitos en estas materias, el conjunto de capas de vidrio previamente definido, puede ser adaptado, extendido o reemplazado, lo que significa que las etapas 103, 104 y 105 serán llevadas a cabo de nuevo.

Ejemplo comparativo

15 [0098] La figura 9 muestra un perfil de índice de refracción longitudinal de una preforma primaria fabricada de acuerdo con la técnica anterior, utilizando un proceso PCVD. La posición a lo largo de la longitud de la preforma primaria se representa en el eje horizontal, mientras que el índice de refracción se representa en el eje vertical. La preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comparativo, tiene tres capas de preforma, a saber, una capa de preforma 13 que tiene un índice de refracción alto, que formará el núcleo de la fibra, una capa de preforma 14 y una capa de preforma 15. Dos líneas horizontales se muestra alrededor del valor de índice de refracción de cada capa de preforma 13, 14 y 15, cuyas líneas corresponden a los límites de tolerancia para el índice de refracción de la capa de preforma.

20 [0099] Las mediciones del índice de refracción de las capas de preforma de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comparativo comienzan en una posición de alrededor de -175 mm y terminan en una posición de aproximadamente 950 mm.

25 [0100] Como se puede observar en dicha figura, el índice de refracción, en particular, la capa de preforma 13 no está dentro de los límites de tolerancia a lo largo de parte de la longitud. Como resultado de ello, la longitud útil de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comparativo por lo que respecta al índice de refracción se limita a la parte de la longitud entre las posiciones de aproximadamente -20 mm y 800 mm, o incluso menos. El resultado de esto es que la longitud útil de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comparativo es como máximo de aproximadamente 820 mm. Los números utilizados en la figura 9 se dan a modo ilustrativo y no deben interpretarse como limitativos.

30 [0101] La figura 10, muestra un perfil geométrico longitudinal de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comparativo. La posición a lo largo de la longitud de la preforma se representa en el eje horizontal, mientras que los diámetros de las capas de preforma se representan en el eje vertical. Los diámetros de las capas 13, 14 y 15 de la preforma se muestran como una función de la posición en la preforma primaria. Dos líneas horizontales se muestran en torno al valor de diámetro de cada capa de preforma 13, 14 y 15, cuyas líneas corresponden a los límites de tolerancia para el diámetro de la capa de preforma.

35 [0102] Como puede ser observado en dicha figura, en particular el diámetro de la capa de preforma 14 no está dentro de los límites de tolerancia a lo largo de parte de la longitud. Como resultado de ello, la longitud utilizable de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comparativo en cuanto a las propiedades geométricas se limita a la parte de la longitud entre las posiciones de aproximadamente 0 mm y 1125 mm.

40 [0103] Puesto que la longitud útil de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comparativo ya estaba limitada a causa del índice de refracción entre las posiciones -20 mm y 800 mm, la longitud útil de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comparativo quedará limitada a la parte de la longitud comprendida entre las posiciones de 0 mm y 800 mm. Dicho de otra manera, la longitud útil de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comparativo es de unos 800 mm.

Ejemplo

50 [0104] La figura 11, muestra un perfil de índice de refracción longitudinal de una preforma primaria fabricada de acuerdo con la presente invención. Aparte del hecho de utilizar el procedimiento de acuerdo con la presente invención, todas las demás condiciones durante la fabricación de la preforma primaria fueron las mismas que las utilizadas durante la fabricación de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comparativo.

55 [0105] En el procedimiento de acuerdo con la presente invención, se determinaron las curvas de respuesta para impulsos de C_2F_6 correspondientes a las curvas de las figuras 6 y 7.

[0106] A partir del perfil de índice de refracción longitudinal y del perfil geométrico longitudinal del ejemplo comparativo, se define entonces una matriz para un conjunto de capas de vidrio 4 consistente en 10 capas de vidrio. Dicha matriz consistía en 20 regiones de deposición. Posteriormente, se fabricó la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo, utilizando la presente invención.

60 [0107] La posición a lo largo de la longitud de la preforma primaria se representa en el eje horizontal, mientras que el índice de refracción se representa en el eje vertical. La preforma primaria de acuerdo con el ejemplo, se compone de tres capas de preforma, a saber, una capa de preforma 16 que tiene un índice de refracción alto, que formará el núcleo de la fibra, una capa de preforma 17 y una capa de preforma 18. Alrededor del valor de índice de refracción de cada capa de preforma 16, 17 y 18, se muestran dos líneas horizontales, cuyas líneas corresponden a los límites

de tolerancia para el índice de refracción de la capa de preforma. Dichos límites de tolerancia son los mismos que los límites en el ejemplo comparativo.

[0108] Las mediciones del índice de refracción de las capas de preforma de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comienzan en una posición de alrededor de -180 mm y terminan en una posición de aproximadamente 1.000 mm. La longitud de la preforma primaria es, pues, de unos 1.180 mm. Dicha longitud es ligeramente mayor que la longitud de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo comparativo, pero no se puede atribuirse terminantemente a los efectos de la presente invención.

[0109] La figura 11, muestra que el índice de refracción de todas las capas de preformas, cae dentro de los límites de tolerancia a lo largo de sustancialmente toda la longitud de la preforma primaria. Sólo desde una posición de aproximadamente 900 mm, el índice de refracción de la capa de preforma 16 ya no cumple la especificación. Como resultado de ello, la longitud utilizable de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo, en lo que respecta al índice de refracción varía en rangos mencionada entre las posiciones -180 mm y 900 mm.

[0110] La figura 12 muestra un perfil geométrico longitudinal de la preforma primaria de acuerdo con la invención. La posición a lo largo de la longitud de la preforma se representa en el eje horizontal, mientras que los diámetros de las capas de preforma 16, 17 y 18 se representan en el eje vertical. Los diámetros de las capas de preforma 16, 17 y 18, se muestran como una función de la posición en la preforma primaria. Dos líneas horizontales se muestran en torno al valor de diámetro de cada capa de preforma 16, 17 y 18, cuyas líneas corresponden a los límites de tolerancia para el diámetro de la capa de preforma. Se hace notar que los límites de tolerancia en los extremos de la preforma primaria presentan una disminución. Este es un ajuste deliberado, en el que las proporciones de áreas de sección transversal de las diversas capas de preforma 16, 17 y 18, se mantienen constantes a lo largo de la longitud de la preforma primaria. Tal preforma primaria, es provista de una capa adicional de cristal, en una etapa adicional, con el fin de formar una preforma final, en la que el espesor de capa de dicha capa de vidrio adicional, se selecciona de modo que la proporción entre el área de sección transversal de la capa de vidrio adicional y un área de sección transversal de las capas de preforma sea constante a lo largo de la longitud de la preforma final. El experto en el arte, apreciará que la consecuencia de ello, será que una preforma final tal no tendrá un diámetro constante a lo largo la longitud de la misma. La fibra óptica que se obtiene después de estirar la preforma final, exhibe propiedades geométricas constantes, vista en la dirección longitudinal.

[0111] Los diámetros de todas las capas de preforma 16, 17 y 18, caen dentro de los límites de tolerancia a lo largo de toda la longitud de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo. Como resultado de ello, la longitud útil de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo no está limitada por las propiedades geométricas, como consecuencia de lo cual la longitud útil de la preforma primaria de acuerdo con el ejemplo es de aproximadamente 1.080 mm, que resulta ser una mejora de alrededor del 35% sobre el ejemplo comparativo.

[0112] La preforma primaria de acuerdo con el ejemplo ha sido fabricada a partir del procedimiento de acuerdo con la presente invención, utilizando la tecnología de perfil de sobre-revestimiento. Sin embargo la presente invención no se limita a dicha combinación. Otra opción puede ser fabricar una preforma primaria en la que el/los diámetro/s de la capa(s) de preforma sea/n constante/s a lo largo de la longitud de la preforma primaria. La combinación del procedimiento de acuerdo con la presente invención con la tecnología de perfil de sobre-revestimiento, proporciona una mayor flexibilidad en la fabricación de una preforma primaria, que puede ser deseable, en particular, si va a fabricarse una preforma primaria que comprenda tres o más capas de preforma, es decir, preformas primarias que tengan un perfil índice de refracción radial relativamente complejo.

[0113] Se observa además que aunque la presente invención está en particular dirigida a la obtención de un índice de refracción promedio sustancialmente constante, y preferiblemente también un grosor de capa sustancialmente constante del conjunto de capas de vidrio, visto en dirección longitudinal, también es concebible utilizar la presente invención de diferentes maneras.

[0114] La presente invención también se puede utilizar, por ejemplo, para la producción de fibras ópticas que presenten un ahusamiento controlado y deseado de propiedades ópticas y/o geométricas. Así, la velocidad de la zona reactiva y la cantidad de dopante puede, por ejemplo, ajustarse de manera que el índice medio de refracción y/o el espesor de un conjunto de capas de vidrio, disminuya en una dirección longitudinal particular.

[0115] En otro ejemplo, la preforma primaria se puede considerar que esté constituida por segmentos, en dirección longitudinal, en la que cada segmento tiene un perfil de índice de refracción radial específico, cuyo perfil de índice de refracción radial, sea constante a través de la anchura del segmento, pero en la que los perfiles de índice de refracción radiales de dos segmentos adyacentes son diferentes entre sí. De esta manera es posible, por ejemplo, producir una fibra que comprenda segmentos que presentan signos alternos para la dispersión cromática.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para fabricar una preforma primaria para una fibra óptica, utilizando un proceso de deposición química en fase de vapor asistida por plasma interna, en el que precursores de formación de vidrio dopados o sin dopar se suministran al interior de un tubo de sustrato de vidrio hueco, una zona reactiva en forma de un plasma se desplaza en vaivén a lo largo de la longitud del tubo de sustrato de vidrio hueco mencionado anteriormente entre un punto de inversión próximo al lado de suministro y un punto de inversión próximo al lado de descarga del tubo de sustrato hueco, en el que el tubo de sustrato se coloca en un horno y en el en la zona reactiva antes mencionada se crean condiciones tales que uno o más conjuntos de capas de vidrio que se componen de, al menos, dos capas de vidrio separadas, sean depositadas en el interior del tubo de sustrato mencionado anteriormente, caracterizado dicho procedimiento porque comprende la siguiente etapa de: definir condiciones de deposición como una función de la posición de la zona reactiva, vista en la dirección longitudinal del tubo de sustrato de vidrio hueco, para la deposición de, al menos, una capa de vidrio, con las condiciones de deposición así definidas difiriendo mutuamente dentro de la deposición de la antes mencionada capa de vidrio.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque las condiciones de deposición de capas de vidrio que están mutuamente adyacentes dentro de un conjunto de capas de vidrio difieren entre sí.

3. Procedimiento de acuerdo con una o más de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque dentro de un conjunto de capas de vidrio particular, el valor del índice de refracción y/o del área de sección transversal de una capa de vidrio obtenida por deposición difiere del valor de índice de refracción y/o el área en sección transversal de otra capa de vidrio obtenida por deposición.

4. Procedimiento de acuerdo con una o más de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el valor medio del índice de refracción y/o del área en sección transversal de un conjunto de capas de vidrio particular, compuesto de varias de capas de vidrio individuales obtenidas por deposición, puede ser considerado como una combinación del valor de índice de refracción y/o del área de sección transversal de cada capa de vidrio individual, difiriendo entre sí el valor del índice de refracción y/o el área de sección transversal de, al menos, dos de tales capas de vidrio individuales en el conjunto de capas de vidrio antes mencionado.

5. Procedimiento de acuerdo con una o más de las reivindicaciones precedentes, en el que cada capa de vidrio del respectivo conjunto de capas de vidrio tiene un espesor, visto en dirección radial, que varía de 0,1 a 10 micrómetros, preferiblemente de 0,5 a 5 micrómetros, especialmente, en el que el número de capas de vidrio de un conjunto de capas de vidrio varía de 2 a 100, preferiblemente de 2 a 50, más preferiblemente de 4 a 30.

6. Procedimiento de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, en el que el número de capas de vidrio de un conjunto de capas de vidrio se ajusta de manera que se cumple la siguiente condición:

$$N \leq 0,1 * \lambda * Q_{\text{final}}/d * Q_{\text{fibra}}$$

donde

- N = número de capas de vidrio en un conjunto de capas de vidrio [-]
- λ = longitud de onda mínima utilizada en la fibra óptica [μm]
- d = espesor de una capa de vidrio de un conjunto de capas de vidrio de una preforma primaria [μm]
- Q_{final} = diámetro de la preforma final producida a partir de la preforma primaria [mm]
- Q_{fibra} = diámetro de la fibra óptica [mm].

7. Procedimiento de acuerdo con una o más de las reivindicaciones precedentes, en el que la definición de las condiciones de deposición, comprende el ajuste de uno o más parámetros de proceso seleccionados de entre el grupo de: flujo de gas adicional a dosificar en el lado de suministro, la velocidad de la zona reactiva, la intensidad del plasma de la zona reactiva y la longitud de la zona reactiva.

8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la longitud de la deposición, a saber, la longitud del tubo de sustrato a lo largo de la cual se mueve la zona reactiva entre los dos puntos de inversión, se subdivide en regiones de deposición separadas, en el que la respectiva condición de deposición se determina para cada región de deposición, especialmente en el que la condición de deposición determinada para una región de deposición es ajustable durante el proceso de deposición.

9. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 7 a 8, en el que la cantidad de gas adicional se suministra al lado de suministro del tubo de sustrato de vidrio hueco en forma de uno o más impulsos que se caracterizan por la altura del impulso y la duración del impulso, especialmente en el que la longitud del impulso varía entre 1 ms y 500 ms, preferentemente entre 1 ms y 200 ms, preferentemente entre 5 ms y 100 ms.

- 5 **10.** Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes 7 a 9, en el que el gas adicional se selecciona del grupo de gases que contienen uno o más dopantes de aumento y/o disminución del índice de refracción y gases tales como oxígeno, argón y helio, o una combinación de dos o más de los mismos, especialmente en el que los agentes de dopado se seleccionan del grupo de GeCl_4 , PO_2Cl_5 , N_2 , CF_4 , SiF_4 , C_2F_6 , C_4F_8 , CCl_2F_2 , SiF_4 , Si_2F_6 , SF_6 , NF_3 y F_2 , en el que C_2F_6 es un dopante preferido.
- 10 **11.** Procedimiento de acuerdo con una o más de las reivindicaciones precedentes 1 a 10, en el que la preforma primaria comprende, al menos, una capa de preforma, cuya capa de preforma está, al menos en parte, compuesta de conjuntos de capas de vidrio, y en el que la capa de preforma tiene un índice de refracción y/o área transversal medios esencialmente constantes, vistos en dirección radial.
- 15 **12.** Procedimiento para fabricar una preforma final para una fibra óptica, que comprende las siguientes etapas: i) fabricar una preforma primaria de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores 1 a 11; ii) contraer la preforma primaria obtenida en la etapa i) en una preforma primaria maciza bajo la influencia de una fuente de calor, iii) aplicar, opcionalmente, una cantidad adicional de vidrio sobre el lado exterior de la preforma primaria maciza obtenida en la etapa ii) con el fin conformar la preforma final.
- 20 **13.** Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado porque la relación entre el área de sección transversal de la capa de vidrio adicional y el área de sección transversal de las capas de preforma, es constante a lo largo de la longitud de la preforma final.
- 25 **14.** Procedimiento para producir una fibra óptica, que comprende la fabricación de una preforma final de acuerdo con el procedimiento según una o más de las reivindicaciones 12 a 13, seguida por el calentamiento de uno de los extremos de la preforma final antes mencionada y el subsiguiente estirado de la fibra óptica a partir del mismo.
- 30 **15.** Preforma primaria susceptible de obtenerse mediante el procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores 1 a 11, caracterizada porque cada una de las capas de vidrio de un conjunto de capas de vidrio un tiene un espesor, visto en dirección radial, que varía de 0,1 mm a 10 mm, haciéndose variar, de preferencia, el número de capas de vidrio de dicho conjunto de capas de vidrio entre 2 y 100.

Fig. 1

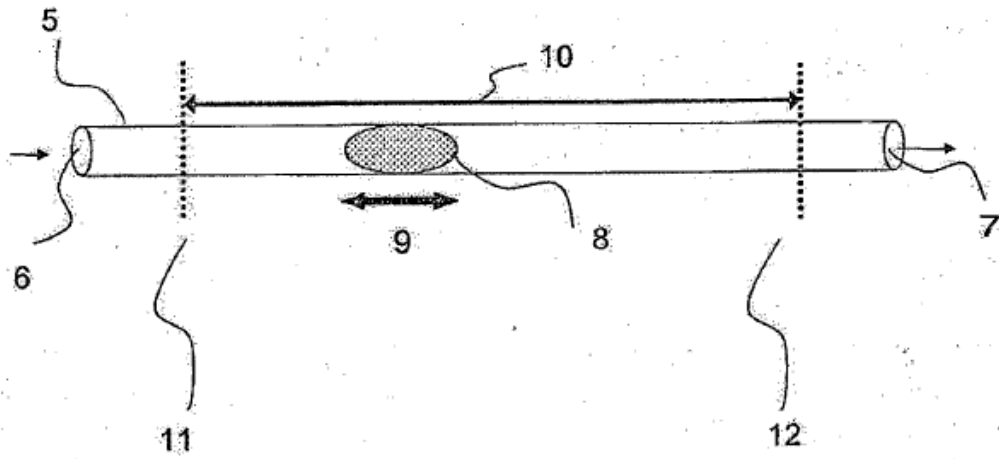


Fig. 2

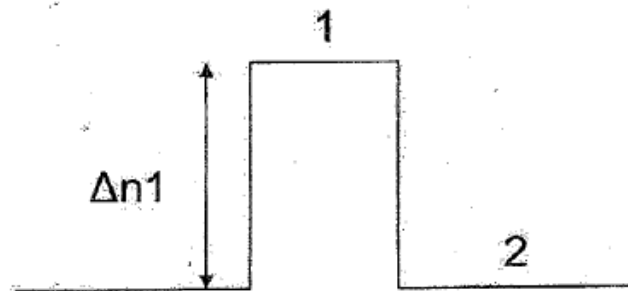


Fig. 3

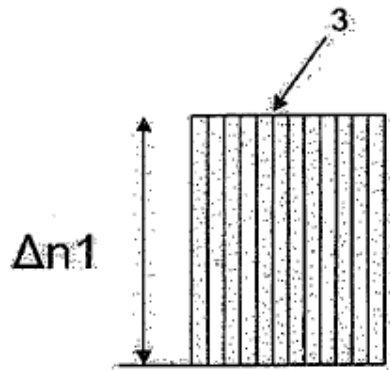


Fig. 4

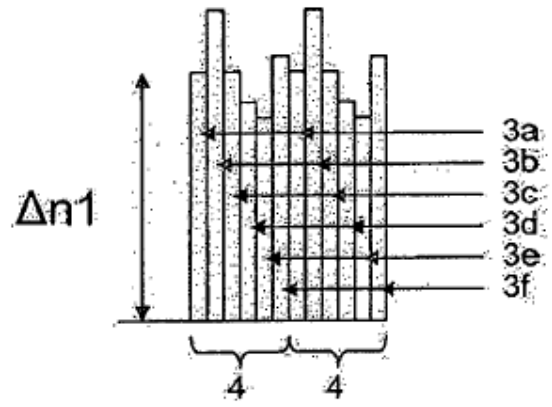


Fig. 5

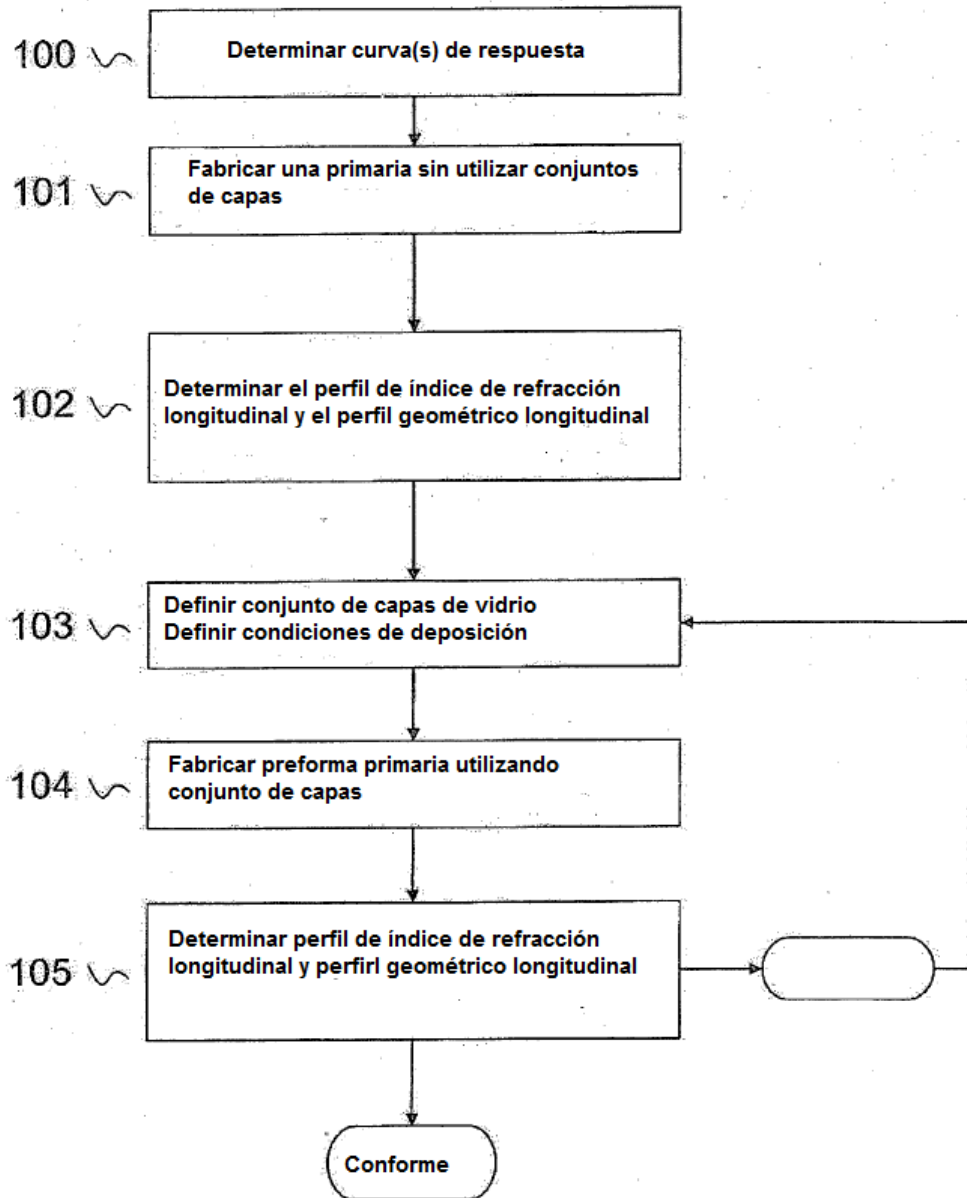


Fig. 6

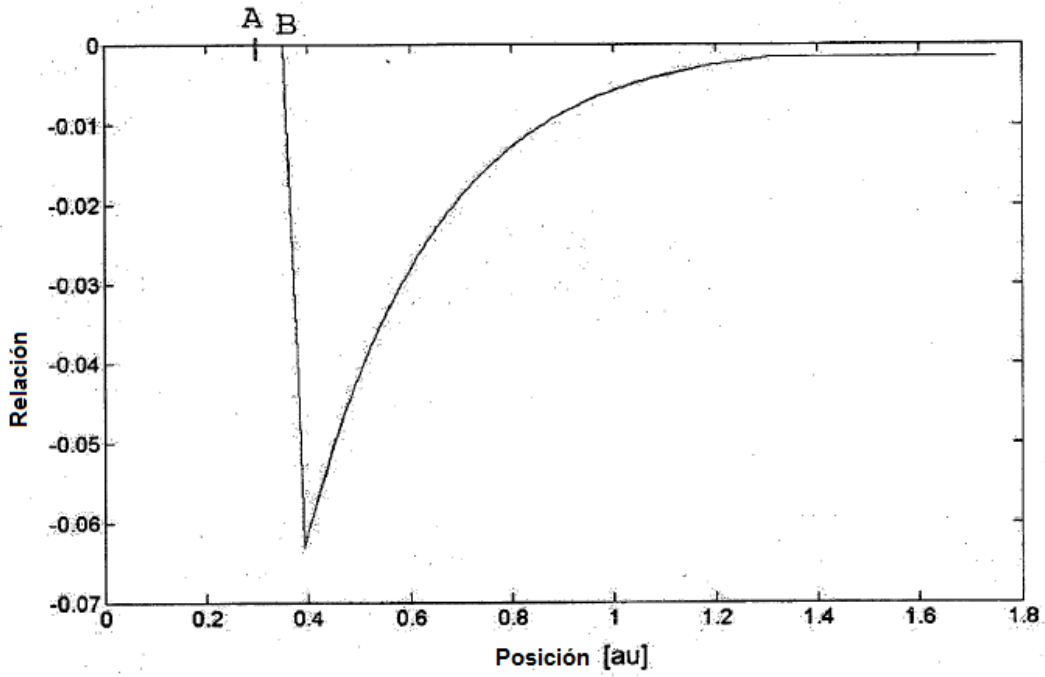


Fig. 7

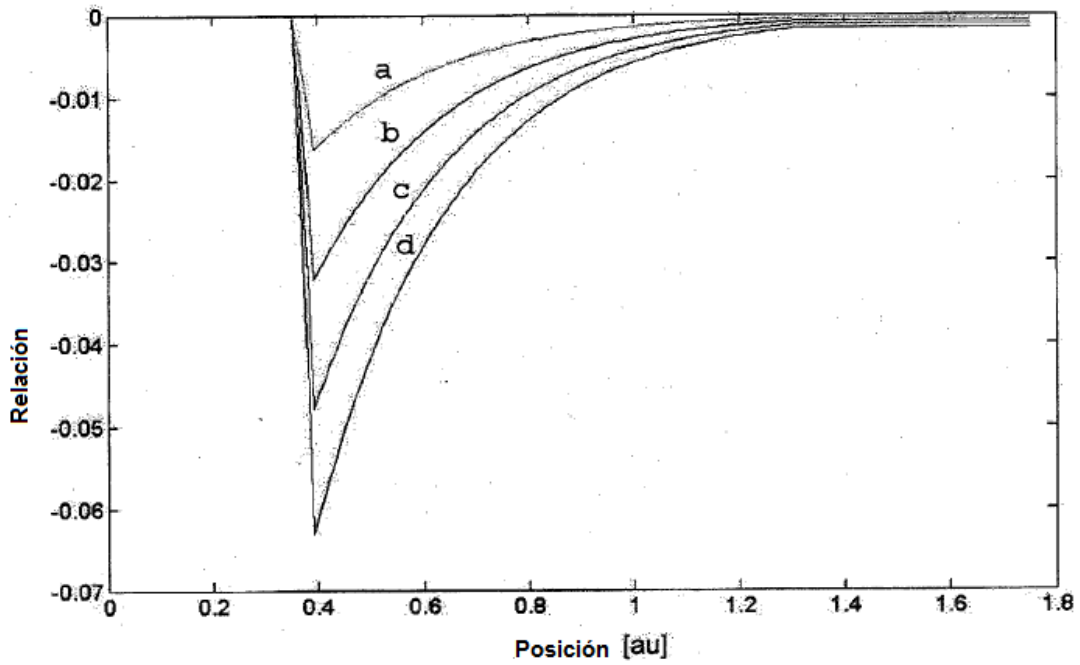


Fig. 8

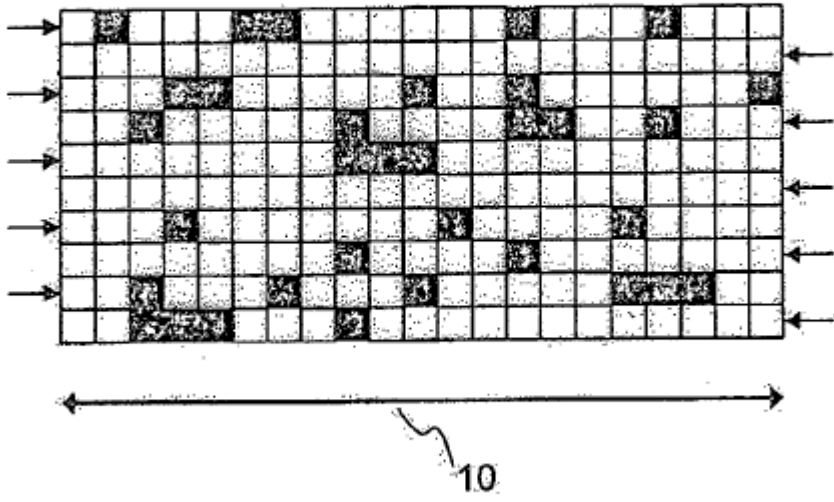


Fig. 9

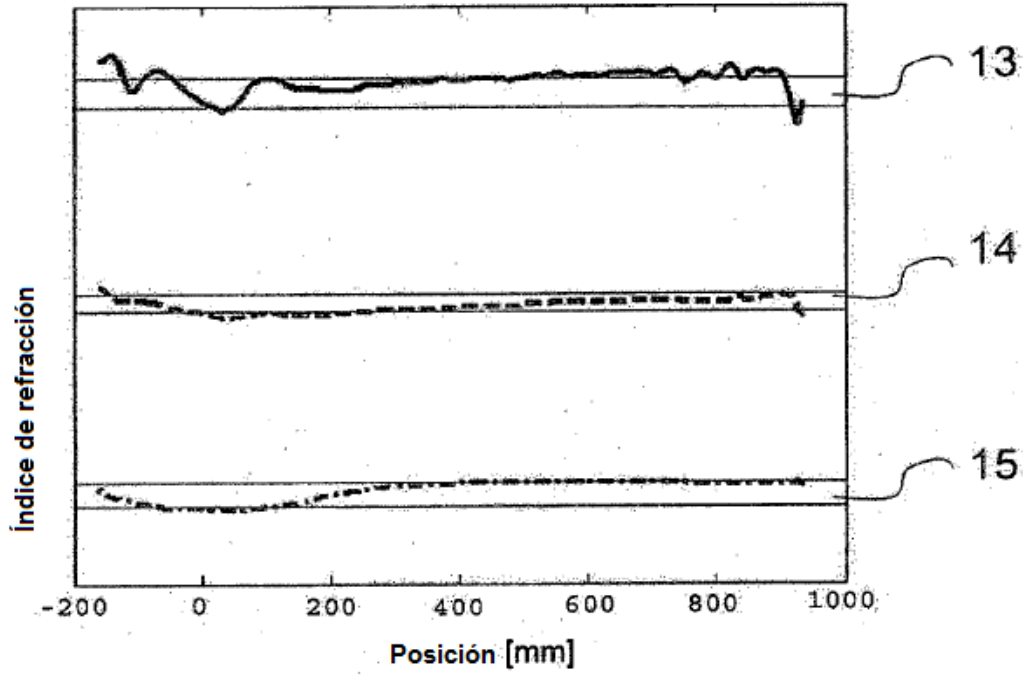


Fig. 10

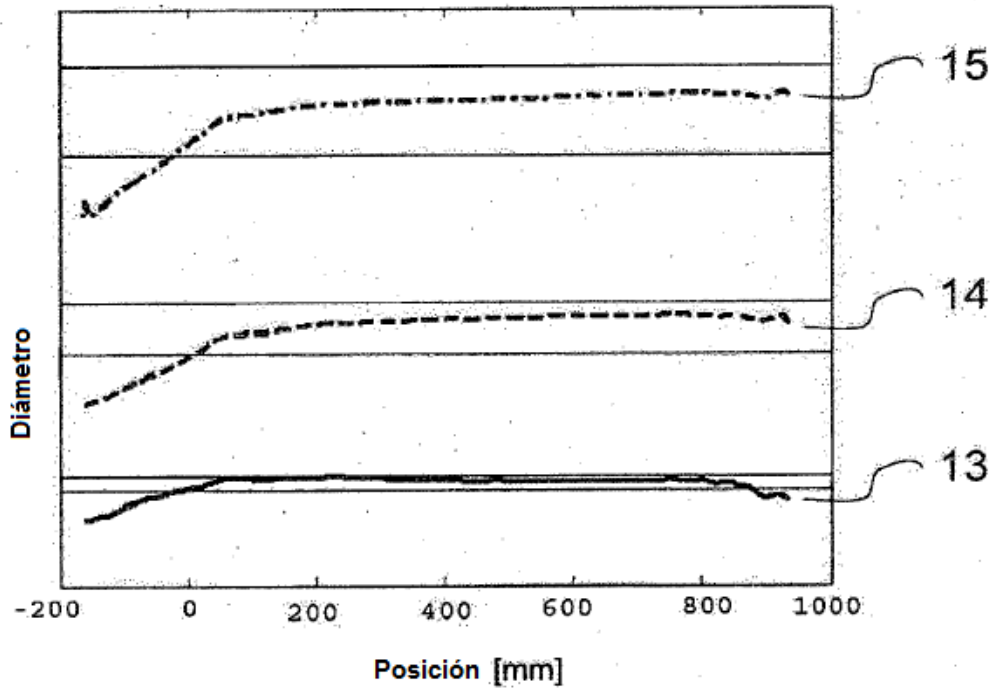


Fig. 11

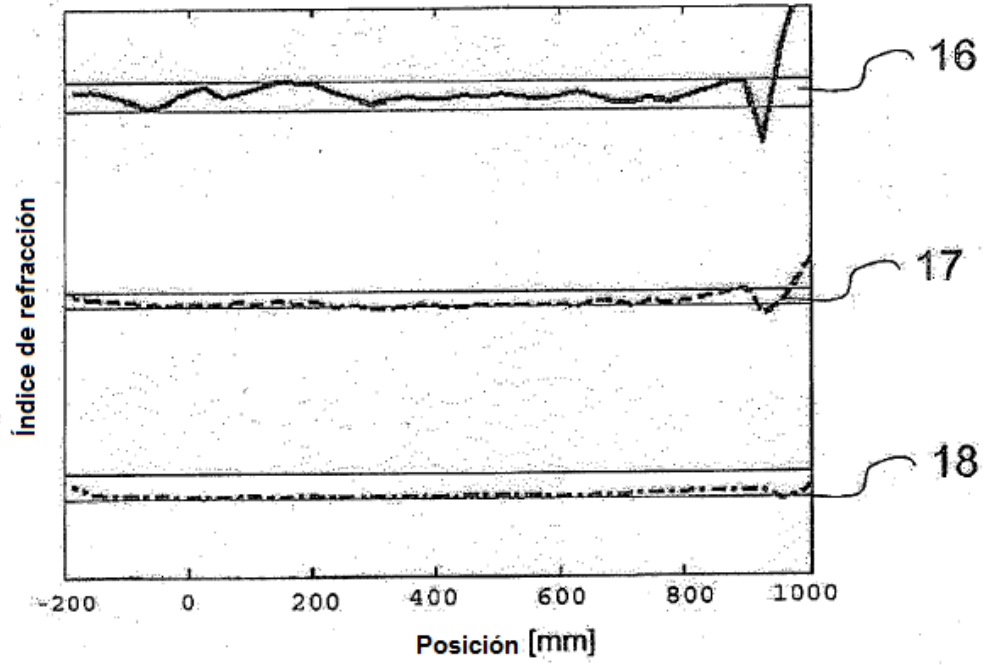
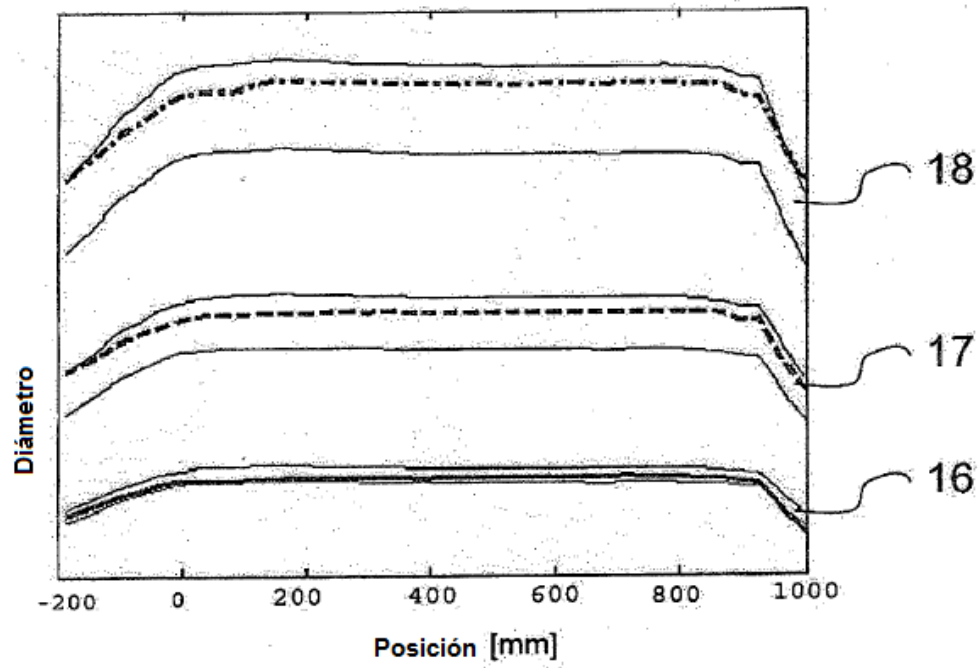


Fig. 12



REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 La lista de referencias citada por el solicitante lo es solamente para utilidad del lector, no formando parte de los documentos de patente europeos. Aún cuando las referencias han sido cuidadosamente recopiladas, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP rechaza toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citados en la descripción

- US 4741747 A [0003] [0027]
- US 5145509 A [0003]
- US 5188648 A [0003]
- WO 2004101458 A [0003]
- US 20080044150 A [0003]
- JP 57051139 A [0005]
- EP 2199263 A [0051] [0053]
- US 20070289532 A [0072]
- US 20030159781 A [0072]
- US 20050172902 A [0072]
- US 4844007 A [0072]
- US 4714589 A [0072]
- US 4877938 A [0072]

10