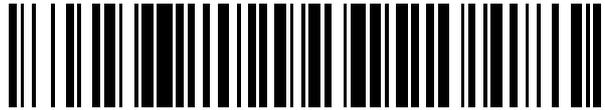


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 622 450**

51 Int. Cl.:

C03B 37/012 (2006.01)

C03B 37/027 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.02.2005 PCT/CH2005/000106**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **03.11.2005 WO05102947**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.02.2005 E 05706526 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.01.2017 EP 1740511**

54 Título: **Preforma para fibra de cristal fotónica y método para fabricarla**

30 Prioridad:

27.04.2004 WO PCT/CH2004/000261

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

06.07.2017

73 Titular/es:

**ROSENDAHL NEXTROM GMBH (100.0%)
Schachen 57
8212 Pischelsdorf, AT**

72 Inventor/es:

PEDRIDO, CARLOS

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 622 450 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 para fibra de cristal fotónica y método para fabricarla

La presente invención se refiere a un método y a una preforma usada para fabricar una fibra de cristal fotónica.

5 La fabricación de fibras ópticas, tales como las fibras actualmente usadas en redes de comunicación de datos de ultra alta velocidad está descrita en [1], Mool C. Gupta, Manual de FOTÓNICA, CRC Press, 1997 Boca Ratón, capítulo 10.7, páginas 445-449. Los pasos principales del proceso de la fabricación de fibra óptica son fabricar un vidrio blanco (en adelante llamado preforma), estirando la fibra a partir de la preforma y revistiendo la fibra con un material que proteja la fibra de la manipulación y de las influencias del entorno.

10 De acuerdo con [1], hay básicamente tres métodos para formar la preforma. El proceso de deposición de vapor químico modificado (MCVD), el proceso de deposición de vapor externo (OVD) y el proceso de deposición de vapor axial (VAD).

15 En el proceso de estirado la preforma es alimentada desde arriba en la porción de estirado del horno mientras que es estirada desde el fondo usando tractores. La fibra es después enrollada sobre un tambor mientras que se monitoriza la fuerza de tracción. La temperatura durante el estirado está en el límite de 2.000°C. Después de salir del horno la fibra se recubre con un revestimiento curable con UV antes de enrollarla en el tambor.

20 Como está descrito en [2], Patente de EE.UU 6.519.974 B1, el método MCVD tiene ciertas ventajas sobre los otros métodos. En el proceso MCVD se depositan sucesivas capas de SiO₂, y dopantes, los cuales incluyen germanio, fósforo y flúor en el interior de tubo de sílice fundida mezclando los vapores de cloruro y oxígeno a una temperatura del orden de 1.800°C. En el proceso de deposición de capas las capas de revestimiento son fijadas primero, y después se depositan las capas que formarán el núcleo. Después de la deposición de las capas, el tubo de cuarzo colocado internamente se calienta en la presencia de Cl₂ y He para formar una varilla de cuarzo compacta.

25 Como posteriormente se establece en [2], el método MCVD, usado por sí mismo, tiene la limitación inherente de que no es apropiado para hacer preformas de más de 25 mm de diámetro. Con el fin de superar esta limitación, el MCVD es a menudo practicado con un denominado método de sobrerrevestimiento, el cual permite la fabricación de preformas relativamente grandes y de este modo se mejora la productividad del proceso de fabricación de la fibra. El sobrerrevestimiento convencional implica, en términos generales, colocar una preforma de varilla dentro de un tubo hecho de un material de sobrerrevestimiento apropiado, fundir la varilla y el tubo conjuntamente para formar una preforma secundaria, y estirar a partir de la preforma secundaria una fibra óptica que comprende un núcleo encerrado dentro de una capa de revestimiento. De este modo, una aplicación de alta productividad del método
30 MCVD requiere tres pasos esenciales: preparar una preforma primaria de fibra óptica por deposición interna, revestir superiormente la preforma primaria de fibra óptica para obtener una preforma secundaria de fibra óptica, y finalmente estirar una fibra óptica a partir de la preforma secundaria de fibra óptica.

En [2] se ha visto que realizar estos tres pasos separadamente requiere

- 35 a) una cantidades sustanciales de tiempo y consecuentemente tiene un efecto negativo sobre la productividad;
- b) una gran cantidad de oxígeno o hidrógeno para el paso de sobrerrevestimiento de la preforma primaria de la fibra óptica; y
- c) aplicación de una cantidad relativamente grande de calor en el paso de sobrerrevestimiento si la preforma primaria de la fibra óptica es relativamente grande.

40 Para superar estas desventajas se propuso una combinación de los pasos de sobrerrevestimiento y estirado, por ejemplo en [3], en la patente de EE.UU N° 2.980.957. El método descrito en [3] comprende los pasos de creación entre una varilla del núcleo y un tubo de sobrerrevestimiento dispuesto concéntricamente con ella, un alto vacío previo a la etapa de estirado y posteriormente un vacío bajo controlado con el fin de contrarrestar las fuerzas de estirado y hacer que el miembro tubular se hunda progresivamente en el espacio entre la varilla del núcleo y el tubo de sobrerrevestimiento. Un problema en la combinación de las etapas de fusión y estirado ha sido controlar la
45 aplicación de vacío con una precisión suficiente para que la fibra óptica terminada tenga una resistencia y una calidad óptica suficientes para las aplicaciones en las modernas comunicaciones.

Otro aspecto tratado en [2] es la correcta alineación de la varilla del núcleo y del tubo de sobrerrevestimiento. Se ha descrito un método en [4], Patente de EE.UU N° 4.820.322, que permite la fabricación de una fibra resistente con un núcleo y revestimiento concéntricos, que usa un vacío para facilitar el hundimiento del tubo de sobrerrevestimiento, y
50 que puede ser usado bien en una fase de manufacturación separada o en un proceso continuo combinado con el estirado de la fibra. Como se ha dicho en [2] el enfoque descrito en [4] tiene un límite en el espacio entre la varilla y el tubo de sobrerrevestimiento; el diámetro interior del tubo no puede superar el diámetro de la varilla en más de una cierta cantidad. Además, la realización que combina el hundimiento del tubo y el estirado de la fibra no usa unos medios afirmativos para centrar la varilla en el tubo, confiando en lugar de la concetricidad en las fuerzas

autocentrantes inherentes que se piensa que están presentes cuando la fibra es estirada desde la punta de la preforma de varilla y tubo.

Para mejorar las técnicas descritas anteriormente se ha propuesto en [2] un método que permite el estirado de una fibra óptica desde una preforma de varilla y tubo mientras que simultáneamente se funden la varilla y el tubo de sobrerrevestimiento. Este enfoque de preforma de varilla y tubo emplea una fuente de vacío de baja intensidad que permite el ajuste exacto de la presión diferencial. También se encarga del control de la alineación de la varilla del núcleo y del tubo de sobrerrevestimiento para asegurar que se consiga la deseada uniformidad circunferencial de la capa de revestimiento en la fibra estirada. El vacío de baja intensidad se consigue introduciendo un flujo de gas en un elemento contiguo que mantiene una preforma primaria de fibra óptica que tiene un primer eje primario y una superficie exterior y un tubo de sobrerrevestimiento que tiene un segundo eje primario y una superficie interior que define un espacio interior, alineado coaxial y conjuntamente como un conjunto de preforma secundaria. El flujo de gas a través de un canal en el elemento contiguo genera un estado de presión reducida de acuerdo con el teorema de Bernouilli, y por lo tanto evacua parcialmente el espacio entre el tubo de sobrerrevestimiento y la preforma primaria de la fibra óptica. La tasa de flujo a través del canal determinará la medida en la que se reduce la presión del gas en el espacio.

De acuerdo con [2], la principal preocupación con la realización de los procesos de varilla en el tubo se centra en los procesos de alineación de un vacío controlado de forma precisa. No obstante, además de estos problemas principales conocidos, los costes para la producción de una fibra óptica de alta calidad a partir de una preforma de varilla y tubo son una preocupación continua.

Sería por lo tanto deseable proporcionar un método y un aparato mejorados que permitiera la fabricación de una fibra de alta calidad óptica a partir de una preforma de varilla y tubo.

Sería deseable en particular proporcionar un método mejorado que permitiera la fabricación de una fibra óptica de alta calidad a partir de una preforma varilla y tubo a un coste significativamente reducido.

También sería deseable proporcionar un método que permitiera una reducción del requerimiento de precisión en el alineamiento de la varilla y el tubo de la preforma de varilla y tubo así como una reducción de la exigencia de precisión para controlar el vacío para la fusión de la preforma y estirado de la fibra secuencial o simultáneo.

[10], el documento WO 03/093884 A2, describe un método de fabricación de una fibra óptica, comprendiendo estirar una fibra óptica a partir de una preforma, que incluye un metal o semiconductor en la preforma, fundiendo el metal o semiconductor después de que está incluido en la preforma. La preforma comprende una pluralidad de tubos en donde el metal o semiconductor está introducido en un agujero intersticial entre la pluralidad de los tubos.

Sería por tanto deseable proporcionar un método mejorado que permitiera la fabricación de fibras de cristal fotónicas de alta calidad a partir de una preforma de varilla y tubo.

Sería deseable en particular proporcionar un método que permitiera la fabricación de fibras de cristal fotónicas de alta calidad a partir de una preforma de varilla y tubo a un coste significativamente reducido.

Sería además deseable crear una preforma de varilla y tubo que pudiera ser usada con el método de la invención, así como unas fibras de cristal fotónicas de alta calidad estiradas a partir de dicha preforma de varilla y tubo.

Sería además deseable crear una preforma de varilla y tubo que permitiera la modificación de las propiedades de la fibra de cristal fotónica estirada a partir de dicha preforma de varilla y tubo con un esfuerzo reducido.

No obstante, además de las fibras tradicionales que son derivadas a partir de las preformas de "una sola varilla y un solo tubo", surgieron en los últimos años las denominadas Fibras de Cristal Fotónicas (PCF) y que se basan en un nuevo mecanismo para guiar la luz.

Como se ha descrito en [8], Patente de EE.UU. 6.845.204, unas guías de ondas tradicionales operan guiando el campo electromagnético (la luz o los fotones) a través de un efecto físico, el cual se conoce como reflexión interna total. Usando este efecto fundamental, se reduce la propagación (o pérdida) de potencia óptica en direcciones perpendiculares al eje de la guía de ondas. Con el fin de obtener una reflexión interna total en estas guías de ondas, las cuales a menudo están fabricadas a partir de materiales dieléctricos (en fibras ópticas) o semiconductores (en óptica integrada) es necesario usar un índice de refracción mayor del núcleo en comparación con el índice de refracción del revestimiento que lo rodea.

Durante los últimos diez años, sin embargo, el desarrollo dentro del área de los nuevos materiales se ha abierto a las posibilidades de localización de luz o control de campos electromagnéticos en cavidades o guías de ondas aplicando el denominado efecto de hueco de banda fotónica (PBG). El efecto PBG puede ser introducido proporcionando una estructura de celosía periódica espacialmente, en la que las dimensiones de la celosía y los materiales aplicados se eligen de tal manera que se inhibe la propagación del campo electromagnético dentro del hueco en ciertos intervalos de frecuencia y en ciertas direcciones.

Rompiendo localmente la periodicidad de un cristal fotónico se puede crear una zona espacial con unas propiedades ópticas diferentes del cristal fotónico del volumen circundante. Si dicha zona de defecto soporta unos modos con frecuencias que caen dentro del hueco prohibido del cristal totalmente periódico circundante, estos modos estarán fuertemente confinados al defecto. Éste es el principio en el que se basa la operación de las fibras de guía PBG, es decir un hueco de banda 2D fuera del plano mostrado por el revestimiento de cristal fotónico, y un efecto correctamente diseñado, que forma una zona espacial en la que se puede conseguir un confinamiento transversal muy fuerte. Para esta zona de defecto mostrar unas propiedades ópticas diferentes de las de la estructura periódica circundante (esto es, ser capaz de soportar un modo localizado) es importante tener en cuenta que no es una exigencia que la zona de defecto, normalmente el núcleo de la Fibra de Cristal Fotónica, tiene un índice más alto que sus alrededores. Por lo tanto, las Fibras de Cristal Fotónicas pueden comprender un núcleo hueco o un núcleo macizo.

En comparación con las fibras tradicionales, las Fibras de Cristal Fotónicas comprenden una estructura compleja. Las Fibras de Cristal Fotónicas típicamente tienen una zona del núcleo que se extiende a la largo de la dirección longitudinal, una zona de revestimiento que se extiende a la largo de la dirección longitudinal, comprendiendo dicha zona de revestimiento sustancialmente al menos una estructura periódica de dos dimensiones que comprende unos elementos alargados teniendo cada uno un eje central que se extiende en la dirección longitudinal de la guía de ondas. Los elementos primarios tienen un índice de refracción que es más bajo que un índice de refracción de cualquier material contiguo a los elementos alargados.

Por lo tanto, el revestimiento forma una zona de confinamiento dieléctrico que rodea el núcleo alrededor del eje de la guía de ondas. Basado en el efecto de hueco de banda, la zona de confinamiento guía la radiación electromagnética en al menos un primer intervalo de frecuencias a lo largo del eje de la guía de ondas. De este modo, la luz es atrapada en el núcleo, no por reflexión total sino por el efecto de hueco de banda mostrado por el revestimiento que actúa igual que un aislante para la luz.

La estructura periódica, que contiene al menos un tipo de elementos estructurales alargados, puede ser definida de varias formas con el fin de obtener un hueco de banda deseado o una pluralidad de huecos de banda con una dimensión deseada.

Las formas geométricas y los tamaños así como los índices de refracción de los elementos primarios, secundarios o posteriormente alargados típicamente difieren unos de otros.

Además, de acuerdo con [9], Patente de EE.UU 6.625.364, se ha reconocido que diseñando una fibra de cristal fotónica con un gran radio del núcleo (por ejemplo, mayor que aproximadamente dos veces la longitud de onda de la radiación guiada) lleva a muchas propiedades deseadas. Por ejemplo, la fracción de energía fuera del núcleo para un modo guiado en una fibra de cristal fotónico asciende inversamente con el cubo del radio del núcleo. Por consiguiente, las pérdidas por radiación y disipación asociadas con las capas de confinamiento dieléctrico pueden ser hechas muy pequeñas aumentando el radio del núcleo. Por otra parte, debido a que el mecanismo de confinamiento no está basado en la reflexión interna total (TIR), el material del núcleo no está limitado a un material que tiene relativamente un alto índice. Por lo tanto, el material del núcleo puede ser seleccionado para minimizar pérdidas y no linealidades. Por ejemplo, la fibra puede tener un núcleo hueco. Además, el confinamiento en el núcleo está además mejorado por la selección de materiales para las capas (o zonas) fuera del núcleo para tener un gran contraste en el índice de refracción. Tales contrastes son posibles debido a que el radio del núcleo grande hace que la disipación por las capas (o zonas) exteriores sea un problema menor y así los materiales constitutivos de las capas (o zonas) exteriores pueden ser seleccionados más sobre la base de proporcionar el contraste de índice deseado, que sobre las pérdidas por absorción.

Como consecuencia, para un fabricante es importante que las preformas con estructuras complejas puedan ser configuradas y producidas con unos esfuerzos y costes mínimos; teniendo en cuenta que una estructura optimizada posterior o incluso una estructura multinúcleo podría ser propuesta al día siguiente.

Aún más, particularmente para estructuras complejas es importante que se eviten vacíos no deseados (véase [10], Patente de EE.UU 6.698.249) mientras que los vacíos alargados deseados son realizados con precisión, con el fin de impedir gradientes de huecos de bandas.

Actualmente se han hecho algunas preformas apilando cientos de de tubos capilares y de varillas a mano en una estructura con el patrón de agujeros apropiado. Un núcleo hueco se hace sustituyendo uno o más de los tubos capilares mediante un tubo hueco con un diámetro significativamente más grande. Esta preforma se introduce a continuación en el horno de una torre de tracción de fibras en donde se funde conjuntamente y se estira hasta un tamaño de 1-10 mm. A continuación se añade un tubo de manguito antes de ser estirada hasta las dimensiones finales. Con este método, el cual es aplicado por Crystal Fibre A/S, la producción de preformas mayores implica unos esfuerzos considerables.

Como el efecto PBG, que es el elemento fundamental de la propiedad de guiado de índice bajo, se obtiene mediante la periodicidad de la estructura de revestimiento, solamente es necesario un número muy limitado de períodos con el fin de confinar el campo electromagnético, y será posible, de acuerdo con [8], usar un sobrerrevestimiento

convencional de la parte de la preforma que contiene la periodicidad. Por lo tanto, se pueden aplicar las técnicas de sobrerrevestimiento conocidas, por ejemplo dicho uso del manguito.

5 Como una alternativa al enfoque de sobrerrevestimiento convencional, en [8] se sugiere otro enfoque, en el que el área del núcleo que circunda la fibra está realizada agrupando tubos capilares en una disposición muy llena de acuerdo con el diseño preferido de la zona de revestimiento periódico. Fuera de esta zona periódica con los tubos capilares, los cuales tienen que estar fijados en posición, la estructura exterior de la fibra (que corresponde a una zona de revestimiento exterior) podría ser formada empaquetando con unas varillas de vidrio más delgadas, que podrían ser sacudidas mecánicamente en su sitio. Cuando la preforma más tarde es estirada en una fibra, la estructura de revestimiento exterior se funde conjuntamente para formar un revestimiento exterior (casi) macizo. La exigencia de la colocación exterior de varillas de vidrio delgadas es que la tensión superficial debida a una distribución irregular fuera de la parte periódica de la fibra no da como resultado una deformación significativa de la periodicidad. No obstante, a la vista de la sacudida mecánica de las estructuras complejas, los tubos de capilaridad finos implican los riesgos de rotura de tubos, dejando vacíos abiertos o perturbando la estructura periódica.

15 Como las Fibras de Cristal Fotónicas con nuevas funcionalidades puede ser fabricada introduciendo zonas dentro de las fibras con materiales dopantes especiales, o incluso materiales que se desvían significativamente del material de base de la fibra (por ejemplo, vidrio, o polímeros); el proceso de fabricación puede comprender la introducción de varillas finas de un material dopado (o diferente) en lugares bien definidos en la estructura del material de base periódica estrechamente empaquetado. Alternativamente, algunos tubos de capilaridad podrían estar hechos a partir de un material dopado, o la preforma (o parte de ella) podría incluso ser colocada en unas soluciones de materiales que pudieran difundirse o unirse a las varillas y tubos del material de base. Como las partes específicas de la preforma podrían ser tratadas individualmente antes de que continuase el posterior apilado o el procesamiento alternativo, este enfoque favorece un alto grado de flexibilidad.

Por lo tanto sería además deseable proporcionar un método mejorado que permitiera la fabricación de Fibras de Cristal Fotónicas de alta calidad a partir de la preforma correspondiente.

25 Además, sería conveniente proporcionar un método que facilitara la producción de Fibras de Cristal Fotónicas y que facilite la producción de preformas más grandes.

30 Sería conveniente especialmente proporcionar un método que permitiera realizar unas estructuras complejas de forma precisa con tubos y varillas que pudieran ser seleccionadas para un funcionamiento óptimo de las Fibras de Cristal Fotónicas, sin tener en cuenta las dimensiones geométricas que fueran esenciales con los métodos conocidos para obtener las estructuras periódicas deseadas.

También sería conveniente proporcionar un método que permitiera la selección y la colocación independientes de elementos estructurales.

Sería además deseable crear preformas que pudieran ser usadas con el método inventivo con el fin de estirar Fibras de Cristal Fotónicas de alta calidad.

35 **Compendio de la invención**

El anterior y otros objetos de la presente invención se consiguen mediante un método de acuerdo con la reivindicación 1 y una preforma de acuerdo con la reivindicación 11.

El método para fabricar una fibra de cristal fotónica de acuerdo con la reivindicación 1 comprende los pasos de:

- crear una preforma
- 40 - insertando unos elementos estructurales alargados, tales como varillas y/o tubos, que tienen unos primeros ejes primarios y unas superficies exteriores y que están dispuestos en una al menos sustancialmente estructura periódica bidimensional, en un tubo de sobrerrevestimiento que tiene un segundo eje primario y una superficie interna, definiendo dichas superficies exteriores y la superficie interior un espacio interior;
- manteniendo los elementos estructurales con los primeros ejes primarios en paralelo con el segundo eje primario del tubo de sobrerrevestimiento;
- 45 - suministrando un grano de sobrerrevestimiento en el espacio interior que está limitado en el extremo inferior del tubo de sobrerrevestimiento por medio de un cierre; y
- generando un estado de presión reducida dentro del espacio interior que está limitado en el extremo superior del tubo de sobrerrevestimiento preferiblemente por medio de un elemento contiguo; y a continuación
- 50 - calentando mediante un horno la preforma producida con los elementos estructurales, el tubo de sobrerrevestimiento y el grano de sobrerrevestimiento en su extremo inferior hasta un estado ablandado y simultáneamente estirando de ella una fibra óptica, o

– calentando mediante un horno la preforma producida con los elementos estructurales, el tubo de sobrerrevestimiento y el grano de sobrerrevestimiento en toda su longitud con el fin de obtener una preforma procesada, y

– estirando una fibra óptica en una etapa posterior del proceso.

5 La preforma de acuerdo con la reivindicación 11, que se usa para manufacturar las Fibras de Cristal Fotónicas producidas con el método de acuerdo con la reivindicación 1 comprende

– unos elementos estructurales alargados tales como varillas y/o tubos, que tienen unos primeros ejes primarios y unas superficies exteriores y que están dispuestos sustancialmente en al menos una estructura periódica bidimensional, dispuesta en un tubo de sobrerrevestimiento que tiene un segundo eje primario y una superficie interior, definiendo dichas superficies exteriores y la superficie interior un espacio interior;

10

– estando los elementos estructurales mantenidos con los primeros ejes primarios en paralelo con el segundo eje primario del tubo de sobrerrevestimiento;

– el grano de sobrerrevestimiento dispuesto en el espacio interior que está limitado en el extremo inferior del tubo de sobrerrevestimiento por medio de un cierre; y

15 – la preforma montada que ha sido procesada térmicamente en toda su longitud.

Debido a la energía térmica proporcionada por el horno y debido a la diferencia de presiones creada que están presentes dentro y fuera de la preforma, el tubo de sobrerrevestimiento se hundirá y presionará el grano de sobrerrevestimiento fundido sobre la preforma primaria o los elementos estructurales.

El material de sobrerrevestimiento del tubo de sobrerrevestimiento y el grano de sobrerrevestimiento forman una capa prácticamente homogénea que está junto a la preforma primaria de la misma manera que lo hace el tubo de sobrerrevestimiento grueso cuando se hunde en aplicaciones de varilla y tubo convencionales, como está descrito por ejemplo en [2].

20

La fusión de la preforma secundaria y el estirado de la fibra pueden ser realizados simultáneamente al igual que en el método descrito en [2]. No obstante, la preforma secundaria no procesada puede también ser procesada en una etapa preliminar del proceso con el fin de obtener una preforma secundaria procesada a partir de la cual una fibra óptica puede ser estirada en una etapa posterior del proceso en el actual o en otro sitio del proceso.

25

No obstante, la presente invención tiene numerosas ventajas sobre la técnica anterior antes mencionada.

El conocido método de producción de una preforma secundaria usando un manguito en un tubo de sobrerrevestimiento con unas paredes gruesas sobre una preforma primaria se ha abandonado. En lugar de ello se usa un tubo de sobrerrevestimiento con paredes delgadas y el espacio interior entre la preforma primaria y la superficie interior del tubo de sobrerrevestimiento se llena con grano de sílice. Por consiguiente se evita el esfuerzo y los costes de producción de la preforma de sobrerrevestimiento con paredes gruesas. En lugar de un costoso tubo de sílice con paredes gruesas se puede usar grano de sílice.

30

Debido a la movilidad del grano de sobrerrevestimiento, el espacio interior o hueco entre la superficie exterior de la preforma primaria y la superficie interior del tubo de sobrerrevestimiento se llena de manera uniforme con el grano de sílice debido a una desalineación entre la preforma primaria y el tubo de sobrerrevestimiento. Además la eliminación de los problemas de alineación el control de la reducción de presión es menos crítico, ya que el tubo de sobrerrevestimiento no se hunde de forma incontrolada en un hueco libre presionando constantemente sobre el grano de soporte.

35

El diámetro interior del tubo de sobrerrevestimiento de paredes delgadas es preferiblemente seleccionado al menos 1,5 veces mayor que el diámetro exterior de la preforma primaria y más de 10 veces mayor que el diámetro de su pared. No obstante, en la práctica cualesquiera dimensiones pueden tomarse, que estén soportadas por la resistencia mecánica de los elementos mencionados.

40

Además el tubo de sobrerrevestimiento está preferiblemente suministrado con un cierre de forma cónica en su extremo inferior, de modo que las paredes del tubo de sobrerrevestimiento y la preforma primaria se juntan en su extremo inferior y el grano de sílice puede ser llenado en el espacio interior. Como la preforma primaria en una realización preferida comprende también una forma cónica en su extremo inferior, los procedimientos de alineación se facilitan significativamente.

45

El grano de sobrerrevestimiento, que consta de partículas con un diámetro pequeño, por ejemplo un polvo, se inserta en el espacio interior antes de que sea montado el elemento contiguo o después de que el elemento contiguo sea montado a través de un canal dispuesto en él.

50

El grano de sobrerrevestimiento puede ser un polvo de sílice sintético puro o dopado que puede ser seleccionado de acuerdo con las propiedades deseadas de la fibra fabricada. Un método de fabricación de un polvo de sílice que usa

una técnica sol-gel se describe en [6], Patente de EE.UU 6.047.568. Otras técnicas sol-gel para conseguir unas fuerzas de estirado y reducir los riesgos de rotura durante el proceso de estirado se describen en [7], Patente de EE.UU 6.334.338. Por lo tanto, el método de la invención proporciona también una alta flexibilidad que permite cumplir las demandas del cliente a corto plazo.

- 5 También, a la vista de la producción de Fibras de Cristal Fotónicas, la presente invención ofrece unas mejoras significativas sobre la técnica anterior.

Como los ejes de los elementos estructurales alargados, cuyos extremos forman la estructura periódica bidimensional, pueden estar relativamente muy lejos, grandes huecos espaciales pueden ser llenados con grano con un coste eficiente, evitando de este modo elementos estructurales tubulares con paredes.

- 10 Además, para todas las estructuras periódicas bidimensionales que se refieren a un hueco de banda deseado, se pueden aplicar unos elementos estructurales idénticos.

La alineación y el mantenimiento de los elementos estructurales alargados o una preforma primaria pueden ser fácilmente conseguidos usando una matriz con unas aberturas que corresponden a la estructura periódica bidimensional. Los elementos estructurales alargados o la preforma primaria se insertan por ejemplo en dos matrices que fijan los elementos estructurales alargados o la preforma primaria en ambos extremos. Por lo tanto, la estructura completa puede ser fácilmente montada e insertada en un tubo de sobrerrevestimiento.

- 15

Cada matriz está preferiblemente formada como un disco que puede ser mantenido en unas posiciones definidas dentro del tubo de sobrerrevestimiento, por ejemplo por medio de unas bridas interiores.

Además cada matriz comprende preferiblemente unas aberturas que permiten la transferencia del grano.

- 20 La matriz está preferiblemente hecha de un material que corresponde al grano de modo que se fundirá conjuntamente con el material de sobrerrevestimiento.

Con el fin de cerrar huecos y agujeros y para obtener una mayor densidad del material se puede aplicar una vibración, preferiblemente una vibración de alta frecuencia.

- 25 Los elementos estructurales pueden ser tubos y varillas o combinaciones de tubo y varilla. Los tubos pueden ser usados si se tiene que crear un vacío que corresponde al espacio interior del tubo. Las varillas macizas pueden ser usadas con un índice de refracción seleccionado con el fin de crear unas correspondientes líneas continuas en las fibras. Sin embargo, las varillas pueden también ser retiradas durante o después del proceso de calentamiento paso a paso o completamente después de molido el grano con el fin de crear un vacío alargado, el cual también es un elemento estructural en la preforma y la fibra. Usando varillas retirables, que están retiradas, se impide que los
- 30 elementos estructurales se hundan durante el proceso de calentamiento.

Con el fin de impedir el hundimiento también se puede transferir un refrigerante a través de los elementos estructurales durante el proceso de fusión del grano. La prevención del hundimiento puede también conseguirse exponiendo el interior de los elementos tubulares estructurales a una presión durante el proceso de fusión del grano.

Breve descripción de los dibujos

- 35 Se han expuesto algunos de los objetos y ventajas de la presente invención, otros aparecerán cuando la siguiente descripción sea considerada junto con los dibujos que se acompañan, en los que:

la Figura 1 muestra una preforma primaria 11 que tiene un primer eje primario x1;

- 40 la Figura 2 muestra un tubo de sílice 12 de paredes delgadas, que tiene un primer eje primario x2, con un cierre cónico 125 en su extremo inferior que, de acuerdo con el método de la invención, se usa como tubo de sobrerrevestimiento 12;

la Figura 3 muestra la preforma primaria 11 mantenida en una posición insertada centralmente dentro del tubo de sobrerrevestimiento 12 con dichos ejes primarios primero y segundo x1, x2 en alineamiento entre sí;

- 45 la Figura 4 muestra una preforma secundaria no procesada 1 con la preforma primaria 11 y el tubo de sobrerrevestimiento 12 de la Figura 3 con un espacio interior 15, que está definido por la superficie exterior 111 de la preforma primaria 11 y la superficie interior 120 del tubo de sobrerrevestimiento 12 lleno con el grano de sobrerrevestimiento 13;

- 50 la Figura 5 muestra la preforma secundaria 1 de la Figura 4 con un elemento contiguo 3 parcialmente insertado en el tubo de sobrerrevestimiento 12, que mantiene la preforma primaria 11 en una posición centralizada y cerrando y sellando el espacio interior 1 en su lado superior;

- la Figura 6 muestra una preforma secundaria 1 con un elemento contiguo 3 que permite la inserción del grano de sobrerrevestimiento 13 a través de un canal 38;
- la Figura 7 muestra con detalle el extremo superior de la preforma secundaria 1 de la Figura 5;
- la Figura 8 muestra el elemento contiguo 3 usado para la preforma secundaria 1 de la Figura 4;
- 5 la Figura 9 muestra una vista de la sección del elemento contiguo 3 de la Figura 6, con el canal 38 dispuesto para la inserción del grano de sobrerrevestimiento 13;
- la Figura 10 muestra un aparato usado para estirar una fibra óptica a partir de la preforma secundaria 1 de la Figura 5;
- 10 la Figura 11 muestra los elementos estructurales 1201, 1201' que están dispuestos en una estructura periódica bidimensional dentro de un tubo de sobrerrevestimiento 12 que está lleno con un grano de sobrerrevestimiento 13 con el fin de crear una preforma 1 diseñada para estirar Fibras de Cristal Fotónicas;
- la Figura 12 muestra la preforma 1 procesada por calentamiento de la Figura 11 insertada en un tubo de sobrerrevestimiento 12' adicional que está lleno con el grano de sobrerrevestimiento 13 con el fin de crear una preforma mayor 1;
- 15 la Figura 13 la muestra la disposición de la Figura 13 a partir de la parte superior;
- la Figura 14 muestra una matriz de vidrio 200 diseñada para recibir y mantener los elementos estructurales 1201, 1201' en una estructura periódica bidimensional;
- la Figura 15 muestra una vista de la sección de una preforma 1 con dos matrices 200 insertadas que mantienen los elementos estructurales alargados tubulares y macizos 1201, 1201' y una varilla retirable centralizada 1205 dispuesta en una estructura periódica bidimensional dentro del tubo de sobrerrevestimiento 12 antes del procesamiento por calentamiento;
- 20 la Figura 16 muestra la preforma 1 de la Figura 15 después del procesamiento por calentamiento y la retirada de la varilla retirable 1205 que ocupaba el núcleo 11' de la preforma; y
- 25 la Figura 17 muestra un aparato usado para estirar una Fibra de Cristal Fotónica a partir de la preforma 1 de la Figura 16.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

- La Figura 1 muestra una preforma primaria 11 que tiene un primer eje primario x_1 , un diámetro exterior d_1 y una superficie exterior 111. La manufacturación de tal preforma ha sido descrita anteriormente.
- 30 La Figura 2 muestra un tubo de sílice 12 con paredes delgadas que tiene un primer eje primario x_2 , un diámetro d_2 , un diámetro exterior d_{20} y una superficie interior 120. El tubo de sílice 12 de paredes delgadas, que comprende un cierre cónico 125 en su extremo inferior, se usa de acuerdo con el método de la invención como un tubo de sobrerrevestimiento 12. Los tubos de sílice de este tipo están disponibles en varios fabricantes.
- La Figura 3 muestra la preforma primaria 11 mantenida en una posición insertada centralmente dentro del tubo de sobrerrevestimiento 12 con dichos ejes primarios primero y segundo x_1 , x_2 en sustancial alineamiento uno de otro.
- 35 El diámetro d_{20} de la pared circular del tubo de sobrerrevestimiento 12 es por ejemplo diez veces menor que su diámetro interior d_2 . No obstante, la relación de dichos diámetros d_2/d_{20} puede ser hasta 50 y mayor. La relación d_2/d_1 del diámetro interior d_2 del tubo de sobrerrevestimiento 12 y el diámetro exterior d_1 de la preforma primaria 11 está por ejemplo en el intervalo de 1,5 hasta 5 y más.
- Por lo tanto, el volumen del espacio interior 15, que está definido por la superficie exterior 111 de la preforma primaria 11 y la superficie interior 120 del tubo de sobrerrevestimiento 12 es relativamente grande, es decir varias veces mayor que el volumen de la preforma primaria 11.
- 40 La Figura 4 muestra una preforma secundaria 1 no procesada con la preforma primaria 11 y el tubo de sobrerrevestimiento 12 de la Figura 3 con el espacio interior 15 lleno con grano de sobrerrevestimiento 13, un grano o polvo de sílice sintético puro o dopado, que es seleccionado de acuerdo con las propiedades deseadas de la fibra durante el proceso de estirado o a la vista de su posterior funcionamiento.
- 45 Las Figuras 1a, 2a, 3a, y 4a muestran unas secciones transversales de la preforma primaria 11, el tubo de sobrerrevestimiento 12, y el grano de sobrerrevestimiento 13 a lo largo de la línea s en las Figuras 1 a 4.
- La Figura 5 muestra la preforma secundaria 1 de la Figura 4 con un elemento contiguo 3 insertado en el tubo de sobrerrevestimiento 12, que mantiene la preforma primaria 11 en una posición centralizada y cerrando y sellando el

espacio interior 1 en el lado superior. En esta realización de la invención el grano de sobrerrevestimiento 13 ha sido insertado en el espacio interior 15 antes de que el elemento contiguo 3 haya sido montado.

5 La Figura 6 muestra la preforma primaria 11 y el tubo de sobrerrevestimiento 12 alineados y cubiertos por medio de un elemento contiguo 3, que comprende un canal 38, a través del cual el grano de sobrerrevestimiento 13 puede ser insertado.

Los elementos contiguos 3 muestran en las Figuras 5 y 6, que tienen un primer eje primario x3, que además comprenden unos canales de evacuación 32, 33 a través de los cuales, por medio de una bomba de vacío 22, puede ser evacuada la preforma 1 secundaria, que está llena con grano de sobrerrevestimiento 13.

10 Las Figuras 5 y 6 muestran además que un suministro de calor u horno 23, que permite el calentamiento de la preforma secundaria 1 en su extremo inferior por ejemplo a temperaturas en el intervalo de 2.100°C hasta 2.350°C. Debido a la energía térmica proporcionada por el horno 23 y debido a la diferencia de presiones establecida que están presentes dentro y fuera de la preforma secundaria 1, el tubo de sobrerrevestimiento 12 se hundirá y presionará el grano de sobrerrevestimiento 13 fundido sobre la preforma primaria 11. De este modo, el material de sobrerrevestimiento del tubo de sobrerrevestimiento 12 y el grano de sobrerrevestimiento 13 formarán una capa prácticamente homogénea que está junto a la preforma primaria.

15 Las Figuras 5a y 6a muestran simbólicamente una sección transversal de la preforma secundaria 1 después de realizar el proceso de fusión.

La fusión de la preforma secundaria 1 y el estirado de la fibra pueden ser realizados simultáneamente. Sin embargo, también es posible procesar la preforma secundaria 1 completamente antes de que la fibra sea estirada.

20 La Figura 6 muestra con detalle en una vista de la sección del extremo superior de la preforma secundaria 1 de la Figura 5. El elemento contiguo 3, que está insertado en el tubo de sobrerrevestimiento 12, comprende dos ranuras circulares periféricas con unos elementos de sellado, por ejemplo unas juntas tóricas, que estrechamente unen y sellan la superficie interior 120 del tubo de sobrerrevestimiento 12 de modo que el espacio interior 15 que está limitado por el elemento contiguo 3, la superficie exterior 111 de la preforma primaria 11 y la superficie interior 120 del tubo de sobrerrevestimiento 12 y su cierre 125 en el extremo inferior puedan ser evacuados. La evacuación puede ser realizada a través de unos canales de evacuación 32 y 33 dispuestos en el elemento contiguo 3 y a través de un tubo 220 que conecta el elemento contiguo 3 con la bomba de vacío 22. El tubo 220 está conectado al elemento contiguo 3 por medio de una válvula 221 que puede ser cerrada después de que el proceso de evacuación haya sido realizado. En vez de ello, para generar un estado de presión reducida, se podría suministrar un gas a un canal correspondiente en el elemento contiguo 3, como está descrito en [2].

30 El elemento contiguo 3 mostrado en las Figuras 7 a 9 comprende además, coaxialmente alineado con el primer eje primario x3, una abertura cilíndrica 31 con un diámetro d3 que corresponde al diámetro exterior d1 de la preforma primaria 11 y, alineado coaxialmente con el primer eje primario x3, dos segmentos cilíndricos 35 con un diámetro d4 que corresponde al diámetro interior d2 del tubo de sobrerrevestimiento 12. El elemento contiguo 3 puede por lo tanto ser insertado en el tubo de revestimiento 12 de modo que los segmentos cilíndricos 35 estén junto a la superficie interior 120 del tubo de sobrerrevestimiento 12 y la preforma primaria 11 sea insertada en la abertura cilíndrica 31 que lleva a una pieza extrema 36 que está cerrada o puede ser cerrada por medio de una tapa de sellado 39.

40 Para sellar el elemento contiguo hacia la superficie interior 120 del tubo de sobrerrevestimiento 12, se disponen dos ranuras que están junto a los segmentos cilíndricos 35, en las que están insertados los elementos de sellado 91.

45 La Figura 8 muestra el elemento contiguo 3 usado para la preforma secundaria 1 de la Figura 4, y la Figura 9 muestra una vista de la sección del elemento contiguo 3 de la Figura 7, con el canal 38 dispuesto para la inserción de grano de sobrerrevestimiento 13. En la Figura 9 se muestra además que el primer canal de evacuación 32 está dispuesto concéntricamente con el eje primario x3 del elemento contiguo 3 con un diámetro d5 que es significativamente mayor que el diámetro d3 de la abertura cilíndrica contigua 31.

50 La Figura 10 muestra un aparato usado para estirar una fibra óptica 5 de la preforma secundaria 1 de la Figura 5. Una vez calentada la preforma secundaria 1 hasta su punto de fusión y se ha tirado de una fibra 5, se ha formado un área angular llamada el cuello hacia abajo. Una única fibra óptica 5 surge de la preforma en un estado semifundido y pasa a través de un monitor 24 del diámetro. La fibra óptica 5 continúa siendo tirada hacia abajo y pasa a través de un aplicador 25 del revestimiento que aplica un revestimiento para proteger la fibra óptica 5. La fibra óptica 5 pasa también a través de otras unidades 26, 27 que curan el revestimiento óptico y monitorizan el diámetro completo después de que el revestimiento ha sido aplicado. La fibra óptica 5 encuentra a continuación un aparato de giro 28 que puede comprender un rodillo que imparte un giro a la fibra óptica. La fibra óptica 25 a continuación encuentra eventualmente un serie de rodillos (no mostrados) que tiran de la fibra antes de que la fibra óptica haya sido enrollada alrededor de un tambor o carrete 29. La preforma secundaria 1 está montada en un dispositivo de sujeción 21 que permite el movimiento vertical controlado a lo largo y preferiblemente una rotación alrededor de su eje x123. Además, el dispositivo de mantenimiento 21 puede estar diseñado para aplicar una vibración sobre la preforma secundaria con el fin de condensar el grano de sobrerrevestimiento 13 dispuesto en el espacio interior 15.

La Figura 11 muestra los elementos estructurales alargados tubulares y macizos 1201, 1201' que están dispuestos en una estructura periódica bidimensional dentro de un tubo de sobrerrevestimiento 12 que está lleno con grano de sobrerrevestimiento 13 con el fin de crear una preforma 1 diseñada para estirar Fibras de Cristal Fotónicas. La estructura periódica bidimensional se selecciona para aplicar el efecto de hueco de banda fotónica (PBG) en la Fibra de Cristal Fotónica estirada a partir de la preforma 1. La definición de la estructura periódica bidimensional no está sujeta a la presente Solicitud. Las publicaciones que describen estas estructuras han sido citadas anteriormente. No obstante, con la presente invención las preformas con todos los tipos de estructuras pueden fácilmente ser realizadas y con unos costes bajos, ya que el espacio interior entre los elementos estructurales alargados 1201, 1201' y el tubo de sobrerrevestimiento 12 están llenos con un medio flexible, es decir el grano 13.

Como consecuencia, unos tubos con paredes relativamente delgadas, preferiblemente de un tamaño normal, pueden ser seleccionados como elementos estructurales alargados 1201, que no se deformarán o hundirán durante el proceso de calentamiento. Sin embargo, como se muestra en la Figura 11, las varillas retirables 1205', que son retiradas después del proceso de calentamiento, pueden ser usadas para mantener el interior de los elementos estructurales alargados tubulares 1201 en una forma correcta. Además, una varilla retirable 1205 puede ser usada sin un elemento estructural alargado tubular para mantener un espacio vacío alargado o hueco, es decir libre de material de sobrerrevestimiento 13, 130. Después de procesada la preforma 1, la varilla retirable 1205 es retirada. En la Figura 11 una varilla retirable 1205 se usa como un mantenedor del espacio para el núcleo vacío o lleno de gas en el que la luz será guiada.

La estructura periódica bidimensional aplicada en la preforma 1 de la Figura 11 comprende seis celdas que se solapan, comprendiendo cada una seis elementos estructurales alargados periféricos y uno central 1201, 1201'. Los elementos periféricos 1201 son tubulares destinados a crear unos huecos alargados, y los elementos centrales 1201' son unos cilindros macizos o de cuerpo entero de un material con un índice de refracción que difiere del índice de refracción del material de revestimiento.

La Figura 12 muestra la preforma 1 procesada por calor de la Figura 11 insertada en un posterior tubo de sobrerrevestimiento 12' que está lleno con grano de sobrerrevestimiento 13 con el fin de crear una preforma 1 mayor. Con este método no sólo se pueden producir preformas PCF primarias, sino preformas secundarias y terciarias, etc. Esto se basa en el hecho de que la estructura periódica bidimensional no necesita extenderse sobre toda la sección transversal de la preforma de la Fibra de Cristal Fotónica respectivamente. La preforma 1 representa una preforma primaria y es procesada como se ha descrito anteriormente (véanse las Figuras 1-4).

La Figura 13 muestra la disposición de la Figura 13 desde la parte superior con unos elementos tubulares fundidos macizos y periféricamente fundidos 1201, 1201'. La varilla retirable 1205 en la zona del núcleo y las varillas retirables 1205' en los elementos tubulares 1201 han sido retiradas dejando un núcleo hueco y unos vacíos laterales alargados. Como la invención puede ser aplicada con cualquier estructura periódica bidimensional, se añadieron unos elementos estructurales secundarios adicionales 1202 a la preforma 1 como ejemplo.

La Figura 14 muestra una matriz de vidrio 200 que ha sido diseñada para recibir y mantener los elementos estructurales 1201, 1201', 1202, 1205, 1205' en una estructura periódica bidimensional. La matriz de vidrio 200, que tiene la forma de un disco u oblea, comprende las aberturas 201, 202 a través de las cuales se pueden insertar los elementos estructurales 1201, 1201'. Las aberturas adicionales 203 están dispuestas para que el grano 1 pueda ser pasado a través de ellas. Con estas matrices 200 las preformas pueden ser fácilmente montadas. Si las matrices 200 constan de un material de revestimiento 13, entonces las matrices 200 serán transformadas durante el proceso de calentamiento en una sección de la capa de revestimiento en la misma forma que lo es el grano 13.

No obstante, la producción de matrices 200 puede ser hecha con un esfuerzo mínimo.

La Figura 15 muestra una vista de la sección de una preforma 1 con dos matrices insertadas 200 que mantienen los elementos estructurales alargados tubulares y macizos 1201, 1201' y una varilla retirable centralizada 1205 dispuesta en una estructura periódica bidimensional dentro del tubo de sobrerrevestimiento 12 antes del procesamiento por calor.

La Figura 16 muestra la preforma 1 de la Figura 15 después del proceso por calor y la retirada de la varilla retirable 1205 que ocupaba el núcleo hueco 11' de la preforma 1. En lugar de un núcleo vacío 11' se puede disponer una varilla maciza 1201' que representa un núcleo macizo 11. Como comparación, un elemento estructural tubular 1201 preferiblemente lleno con una varilla retirable 1205', una varilla maciza centralizada 1201' o una varilla retirable centralizada 1205 sirve como sustitución de la preforma primaria 11 mostrada en la Figura 1.

La Figura 17 muestra un aparato usado para estirar una Fibra de Cristal Fotónica 5 de la preforma 1 de la Figura 16.

Las dimensiones de la preforma primaria 11 y el tubo de sobrerrevestimiento 12 o los elementos estructurales alargados 1201, 1201', 1202, 1205, 1205' puede ser seleccionados en un amplio intervalo así como la granularidad del grano o polvo de sobrerrevestimiento 13 y los índices de refracción y los dopantes de los materiales usados. El diámetro del elemento del núcleo lleno o vacío 11, 11' es típicamente un múltiplo del diámetro de los elementos estructurales remanentes 1201, 1201', 1202. Las varillas retirables 1205, 1205' son seleccionadas con una expansión térmica adecuada de modo que puedan fácilmente ser retiradas cuando la preforma se enfríe. Las varillas

5 retirables 1205, 1205' pueden por ejemplo constar de grafito. Por lo tanto, se puede fácilmente retirar las varillas o vainas de sílice vitrificado si se usa un material con un coeficiente de expansión térmica que sea mayor que el coeficiente de expansión térmica del vidrio. Durante un proceso de enfriamiento por ejemplo una varilla de grafito se retraerá o reducirá más que el vidrio de modo que no quedará adhesión alguna con el vidrio. Por lo tanto, con las varillas retirables se pueden crear fácilmente preformas con estructuras complejas que comprenden numerosos elementos huecos alargados.

10 Es importante tener en cuenta que las dimensiones de las formas de todos los elementos estructurales no están limitadas a los ejemplos antes definidos. Además, como se muestra en la Figura 11, los elementos estructurales 1210 pueden ser usados para que sean cubiertos o sellados impidiendo de este modo que entre grano de sobrerrevestimiento 13. Los elementos estructurales 1210 pueden ser cubiertos por una tapa o sellados por medio de una capa de vidrio, que por ejemplo puede ser fundido, después de que el grano de sobrerrevestimiento 13 haya sido añadido. Los materiales se seleccionan de acuerdo con los parámetros de fabricación y las propiedades deseadas para la fibra óptica fabricada. Los canales y aberturas 31, 32, 33, 38 y los medios de sellado 34, 39, 91 para el elemento contiguo 3 pueden ser diseñados de varias formas. El cierre 125 en el extremo inferior del tubo de sobrerrevestimiento 12 puede tener unas formas que difieran significativamente de una forma cónica. No obstante, el cierre 125 y el extremo inferior de la preforma primaria están preferiblemente emparejados con el fin de facilitar la alineación. Las condiciones para estirar una fibra pueden ser aplicadas y optimizadas de una manera conocida (véase por ejemplo [5], EP 1.384.700 A1), de modo que se puedan encontrar los parámetros operativos óptimos tales como la temperatura del horno y la velocidad de estirado. Por lo tanto, tales parámetros operativos no están limitados por los valores antes mencionados.

REFERENCIAS

- [1] Mool C. Gupta, Manual de Fotónica, CRC Press, 1997 Boca Ratón, capítulo 10.7, páginas 445-449.
- [2] EE.UU 6.519.974 B1
- [3] Patente de EE.UU N° 2.980.957
- 25 [4] Patente de EE.UU N° 4.820.322
- [5] EP 1.384.700 A1
- [6] Patente de EE.UU 6.047.568
- [7] Patente de EE.UU 6.334.338
- [8] Patente de EE.UU 6.845.204
- 30 [9] Patente de EE.UU 6.625.364
- [10] Patente de EE.UU 6.698.249
- [11] WO 03/093884 A

REIVINDICACIONES

1. Método para la fabricación de una Fibra de Cristal Fotónica, que comprende los pasos de crear una preforma (1)
 - 5 insertando unos elementos estructurales alargados (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n) tales como varillas y/o tubos, que tienen unos primeros ejes primarios (x1, x20) y unas superficies exteriores (111') y que están dispuestos en al menos sustancialmente una estructura periódica bidimensional en un tubo de sobrerrevestimiento (12) que tiene un segundo eje primario (x2) y una superficie interior (120), definiendo dichas superficies exteriores (111') y la superficie interior (120) un espacio interior (15);
 - 10 mantener los elementos estructurales (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n) con los primeros ejes primarios (x1, x20) en paralelo con el segundo eje primario (x2) del tubo de sobrerrevestimiento (12);
 - suministrar un grano de sobrerrevestimiento (13) en el espacio interior (15) que está limitado en el extremo inferior del tubo de sobrerrevestimiento (12) por medio de un cierre (125); y
 - 15 generar un estado de presión reducida dentro del espacio interior (15) que está limitado en el extremo superior del tubo de sobrerrevestimiento (12) preferiblemente por medio de un elemento contiguo (3); y a continuación
 - calentar mediante un horno (23) la preforma (1) producida, con los elementos estructurales (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n), el tubo de sobrerrevestimiento (12) y el grano de sobrerrevestimiento (13) en su extremo inferior hasta un estado ablandado y simultáneamente estirar una fibra óptica (5) de ella, o
 - 20 calentar mediante un horno (23) la preforma (1) producida, con los elementos estructurales (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n), el tubo de sobrerrevestimiento (12) y el grano de sobrerrevestimiento (13) en toda su longitud con el fin de obtener una preforma (1) procesada,
 - y estirar una fibra óptica (5) en una posterior etapa del proceso.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el tubo de sobrerrevestimiento (12) comprende un cierre formado cónicamente (125) y/o en donde el grano de sobrerrevestimiento (13), que consta de partículas con un pequeño diámetro, es insertado antes de que el elemento contiguo (3) sea montado o después de que el elemento contiguo (3) sea montado, a través de un canal (38) dispuesto en él.
3. Un método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, en donde el grano de sobrerrevestimiento (13) es un grano de sílice sintético puro o dopado que es seleccionado de acuerdo con las propiedades deseadas de la fibra fabricada (5).
4. Un método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la temperatura en el horno (23) se selecciona en el intervalo de 2.100°C a 2.350°C.
5. Un método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde una preforma (11) primaria de fibra óptica o los elementos estructurales alargados (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n) son insertados en las aberturas (201', 202') de al menos en la matriz (200), que están diseñados para mantener con precisión la preforma (11) de fibra óptica o los elementos estructurales alargados (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n) en unas posiciones predefinidas que corresponden a una estructura periódica circular concéntrica o bidimensional.
6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, en donde la matriz (200) está formada como un disco que es preferiblemente mantenido dentro del tubo de sobrerrevestimiento (12) por medio de unas bridas interiores (125) y/o en donde la matriz (200) comprende unas aberturas (203') para transferir el grano de sobrerrevestimiento (13) y/o en donde la matriz (200) está hecha de un material que corresponde al grano de sobrerrevestimiento (13).
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en donde una primera matriz (200) está dispuesta en la parte del extremo superior y una segunda matriz (200) está dispuesta en la parte del extremo inferior de la preforma (11) de fibra óptica o de los elementos estructurales alargados (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n).
8. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 7, en donde el grano de sobrerrevestimiento (13) es hecho vibrar en un intervalo de frecuencias adecuado con el fin de obtener una mayor densidad del material.
9. Un método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, en donde al menos uno de los elementos estructurales (1205) es retirado después de que el grano de sobrerrevestimiento (13) ha sido fundido, con el fin de crear un hueco alargado (11') y o en donde, con el fin de impedir el hundimiento de los elementos de la estructura tubular (1201, 1202, ..., 120n), unas varillas retirables (1205) son insertadas en los elementos de la estructura tubular (1201, 1202, ..., 120n) antes del proceso de calentamiento y retiradas después o paso a paso durante el proceso de calentamiento; constanding dichas varillas retirables (1205) de un material tal como grafito con un coeficiente de dilatación térmica que es mayor que el coeficiente de dilatación térmica del vidrio.

10. Un método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, en donde para impedir el hundimiento de los elementos de la estructura tubular (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n) se transfiere un refrigerante a través de los elementos de la estructura tubular (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n) durante el proceso de fusión del grano de sobrerrevestimiento (13) y/o en donde el interior de los elementos de la estructura tubular (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n) está expuesto a una presión durante el proceso de fusión del grano de sobrerrevestimiento (13).
5
11. Una preforma (1) para manufacturar Fibras de Cristal Fotónicas producidas con el método de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende unos elementos de la estructura tubular alargados (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n) tales como varillas y/o tubos, que tienen unos primeros ejes primarios (X1, x20) y unas superficies exteriores (111'), y que están dispuestos en al menos sustancialmente una estructura periódica bidimensional, dispuesta en un tubo de sobrerrevestimiento (12) que tiene un segundo eje primario (x2) y una superficie interior (120), definiendo dichas superficies exterior (111') e interior (120) un espacio interior (15);
10
- estando los elementos estructurales (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n) mantenidos con los primeros ejes primarios (x1, x20) en paralelo con el segundo eje primario (x2) del tubo de sobrerrevestimiento (12);
- el grano de sobrerrevestimiento (13) dispuesto en el espacio interior (15) que está limitado en el extremo inferior del tubo de sobrerrevestimiento (12) por medio de un cierre (125); y
15
- la preforma (1) montada que ha sido térmicamente procesada en toda su longitud después de haber experimentado el estado de presión reducida definido en la reivindicación 1.
12. Una preforma (1) de acuerdo con la reivindicación 11 que comprende una preforma (11) de fibra óptica primaria o unos elementos o huecos estructurales alargados (11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n) que están rodeados por un material de sobrerrevestimiento (130) que consta de un grano de sobrerrevestimiento (13).
20
13. Una preforma (1) de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, en donde al menos el extremo superior del tubo de sobrerrevestimiento (12) está mantenido y sellado por un elemento contiguo (3) que comprende un canal de evacuación (33) que puede conectarse a una bomba de vacío o a un suministro de gas (22) y/o en donde el elemento contiguo (3) comprende al menos un canal (38) diseñado para insertar el grano de sobrerrevestimiento (13) en el espacio interior (15).
25
14. Una preforma (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 11-13, en donde la preforma (11) de la fibra óptica primaria o los elementos estructurales alargados 11, 11'; 1201, 1202, ..., 120n) están mantenidos por medio de una matriz (200) que está hecha del mismo material que el grano de sobrerrevestimiento (13).

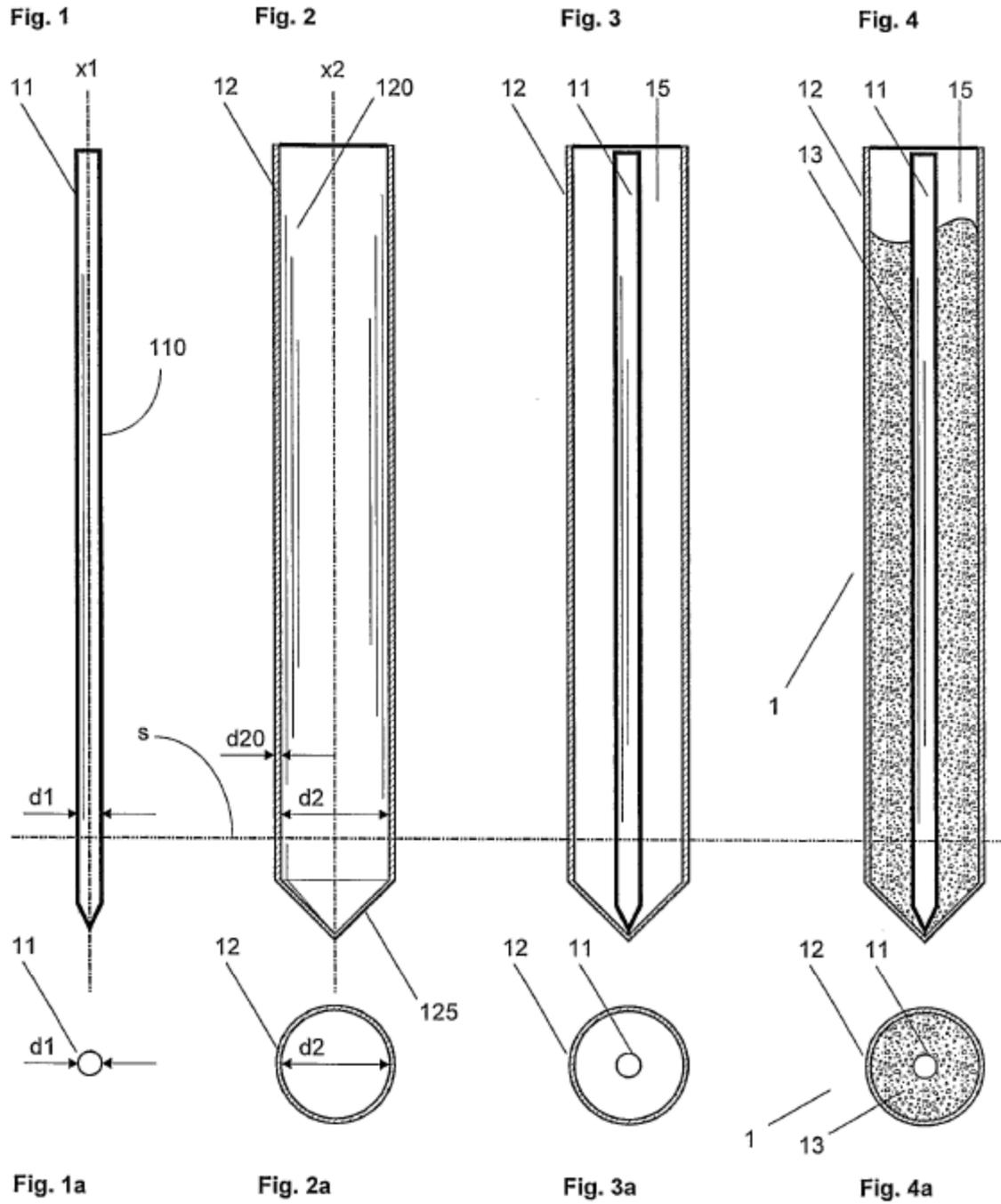


Fig. 5

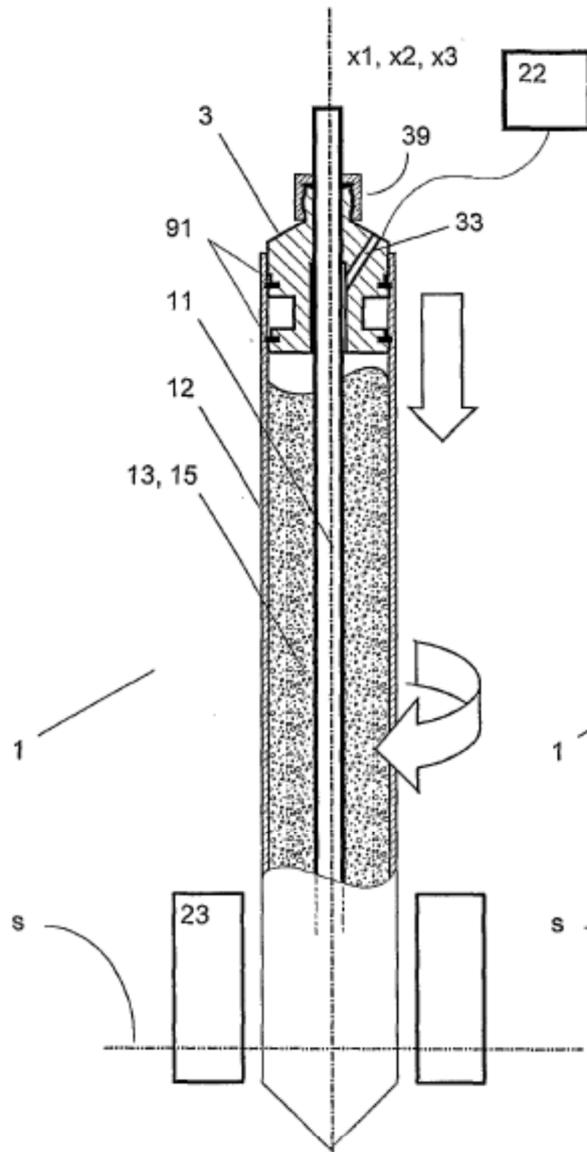


Fig. 5a

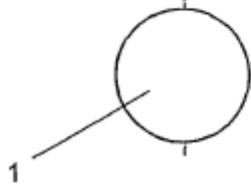


Fig. 6

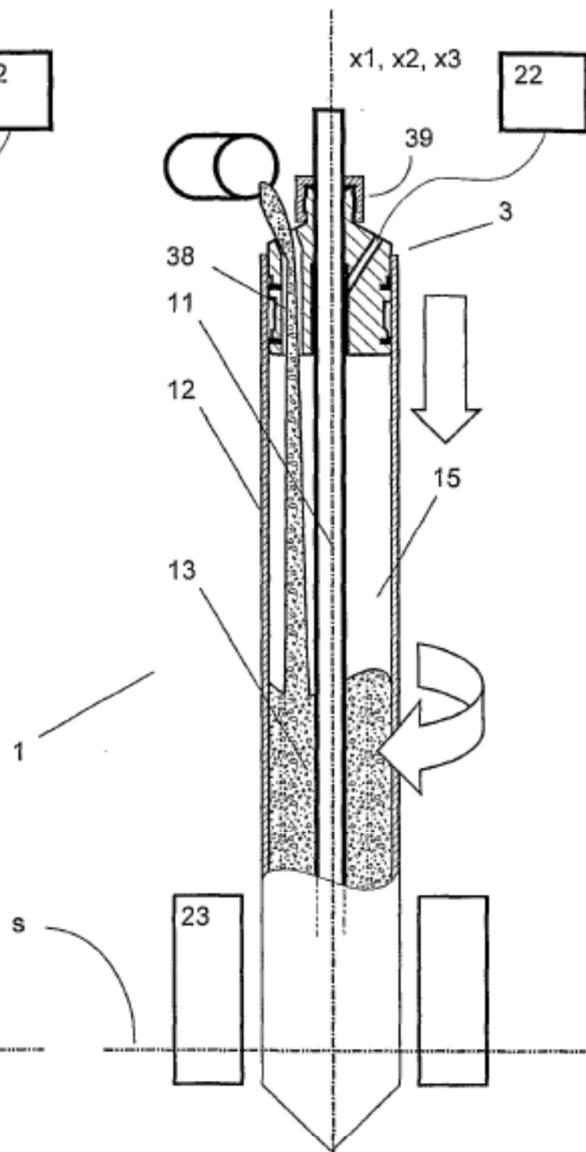


Fig. 6a

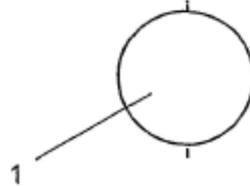


Fig. 7

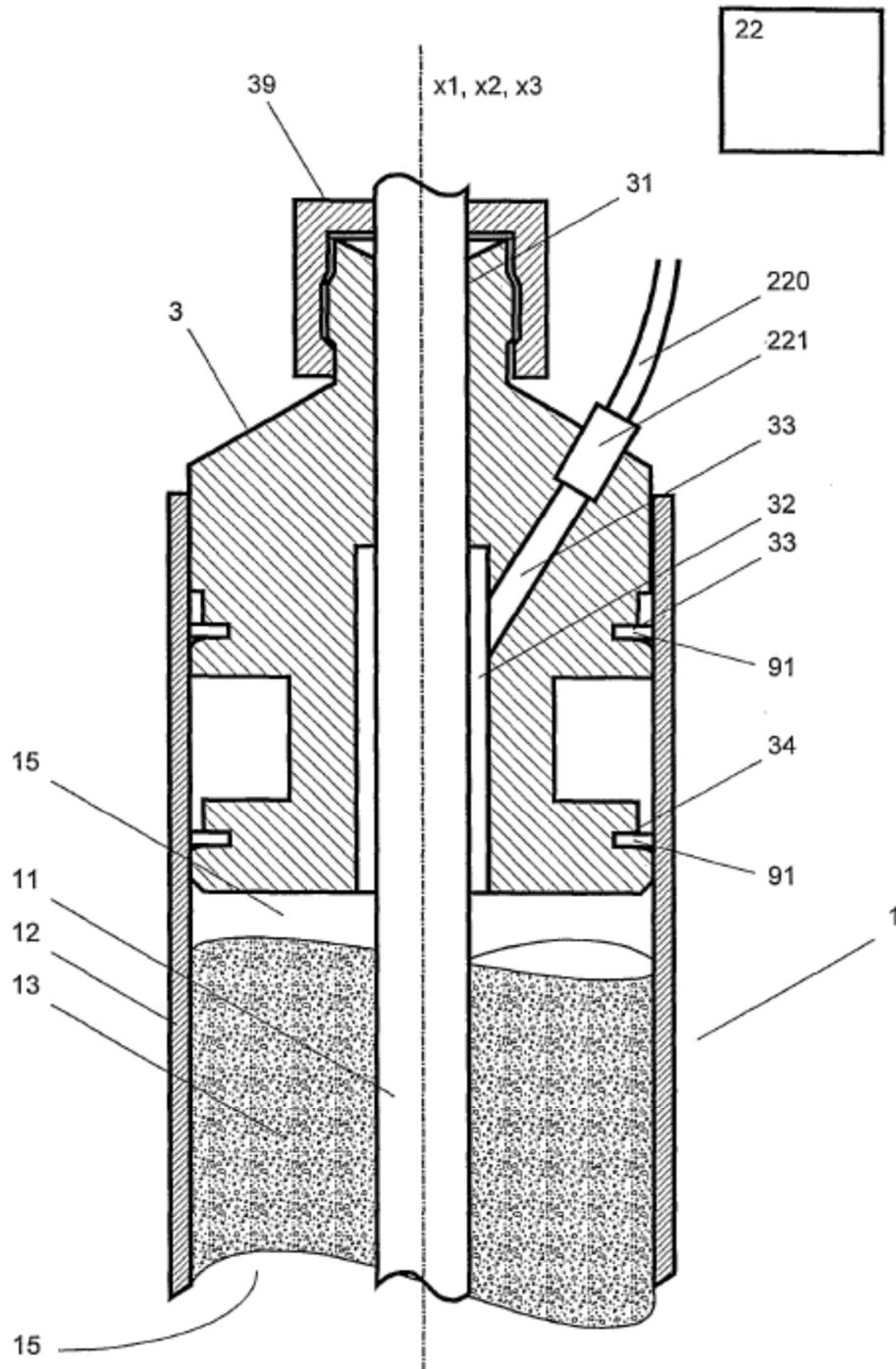


Fig. 8

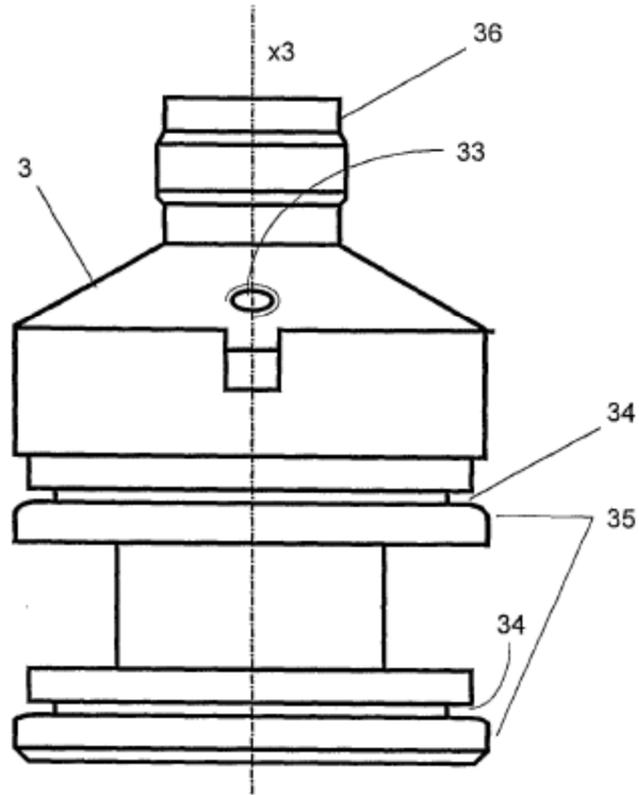


Fig. 9

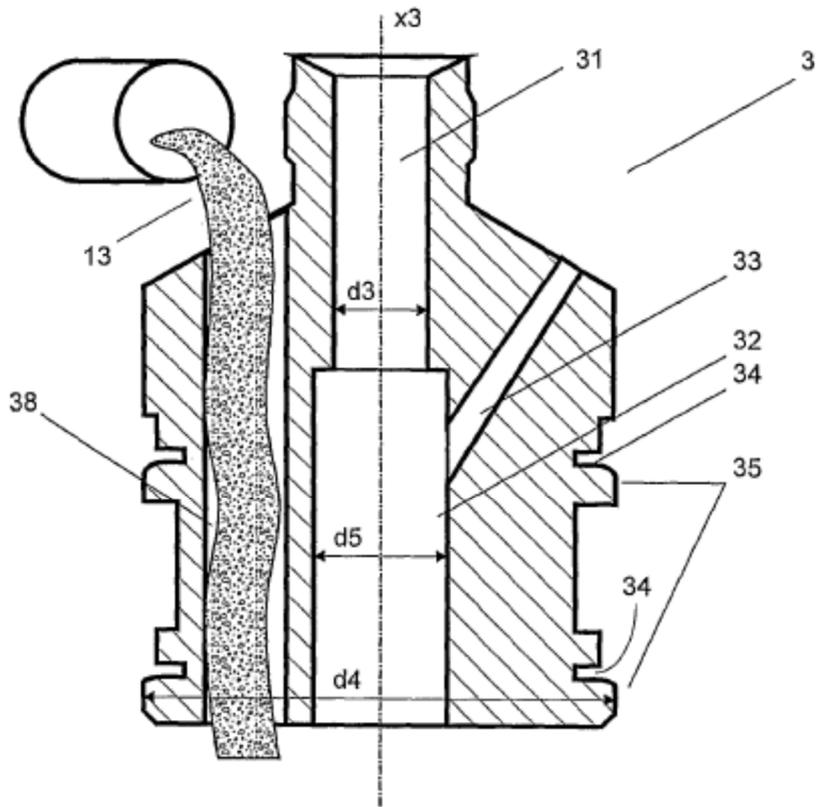


Fig. 10

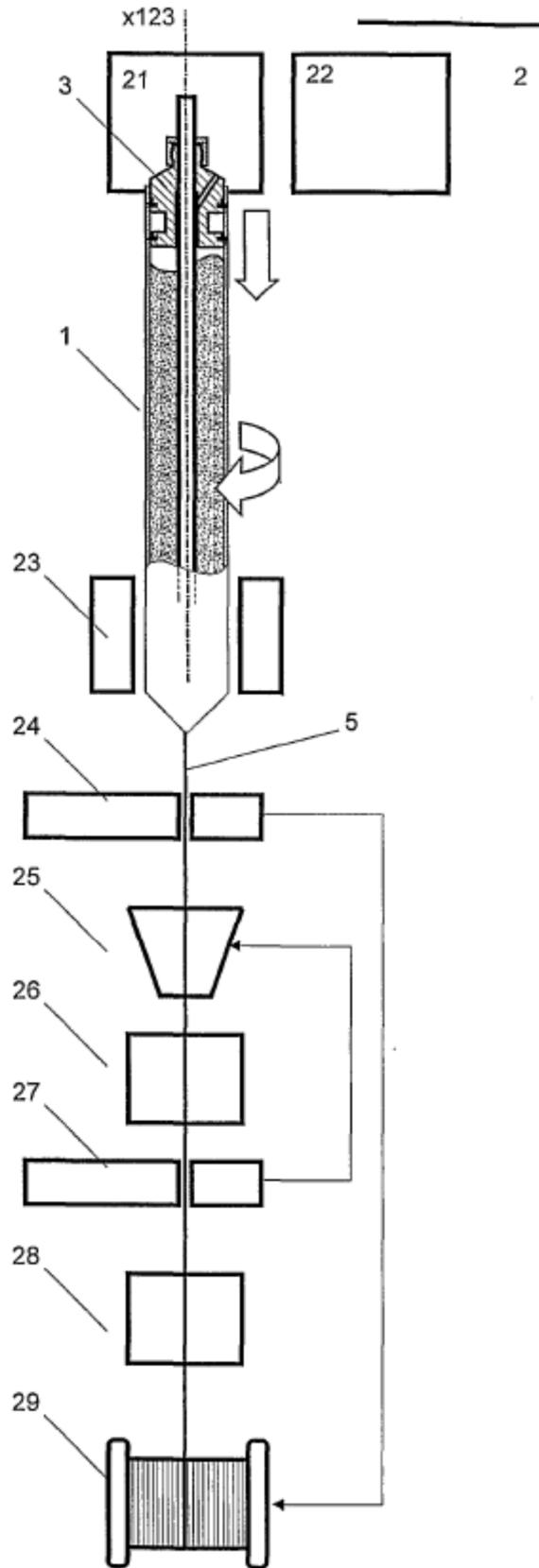


Fig. 11

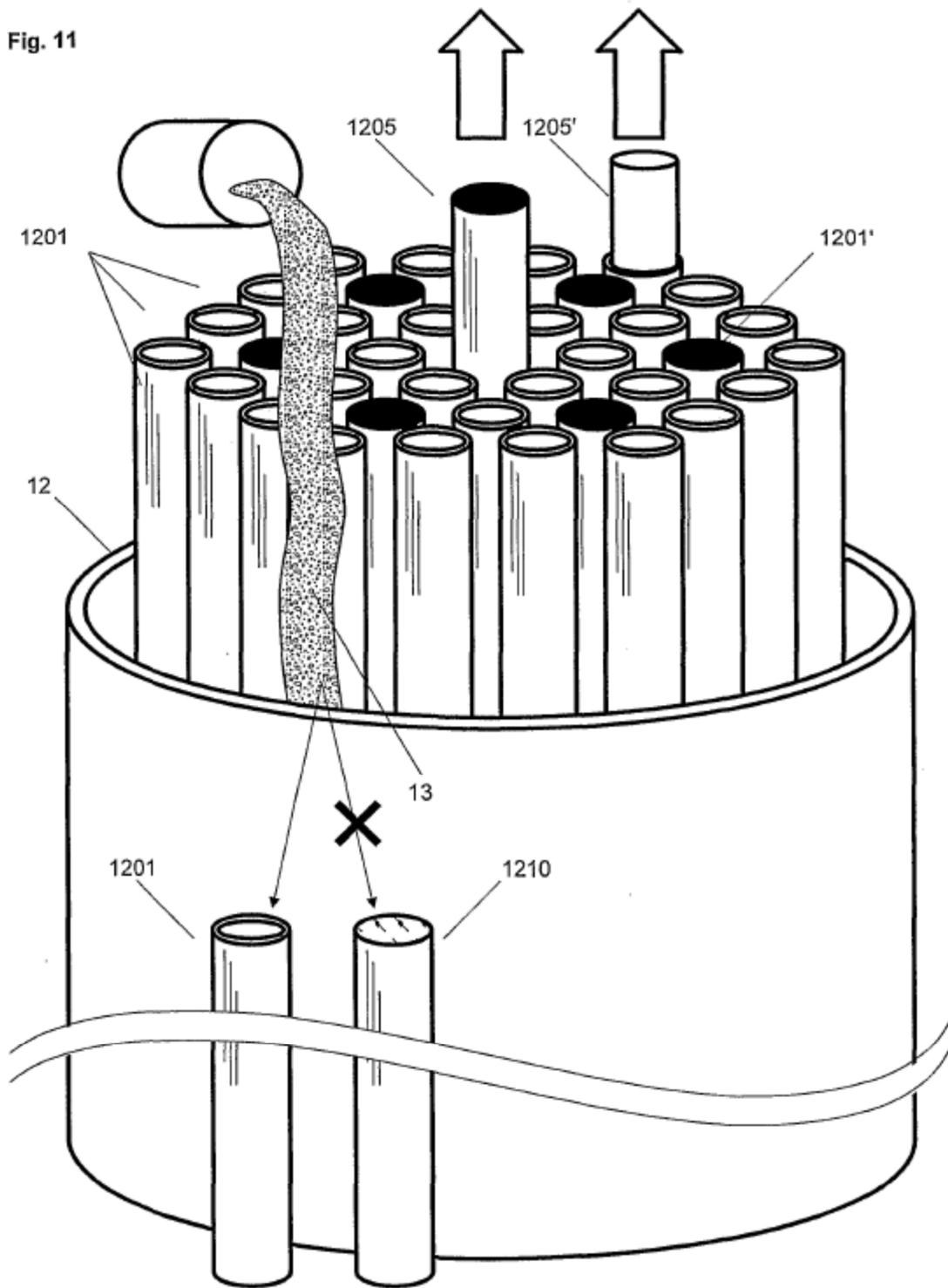


Fig. 12

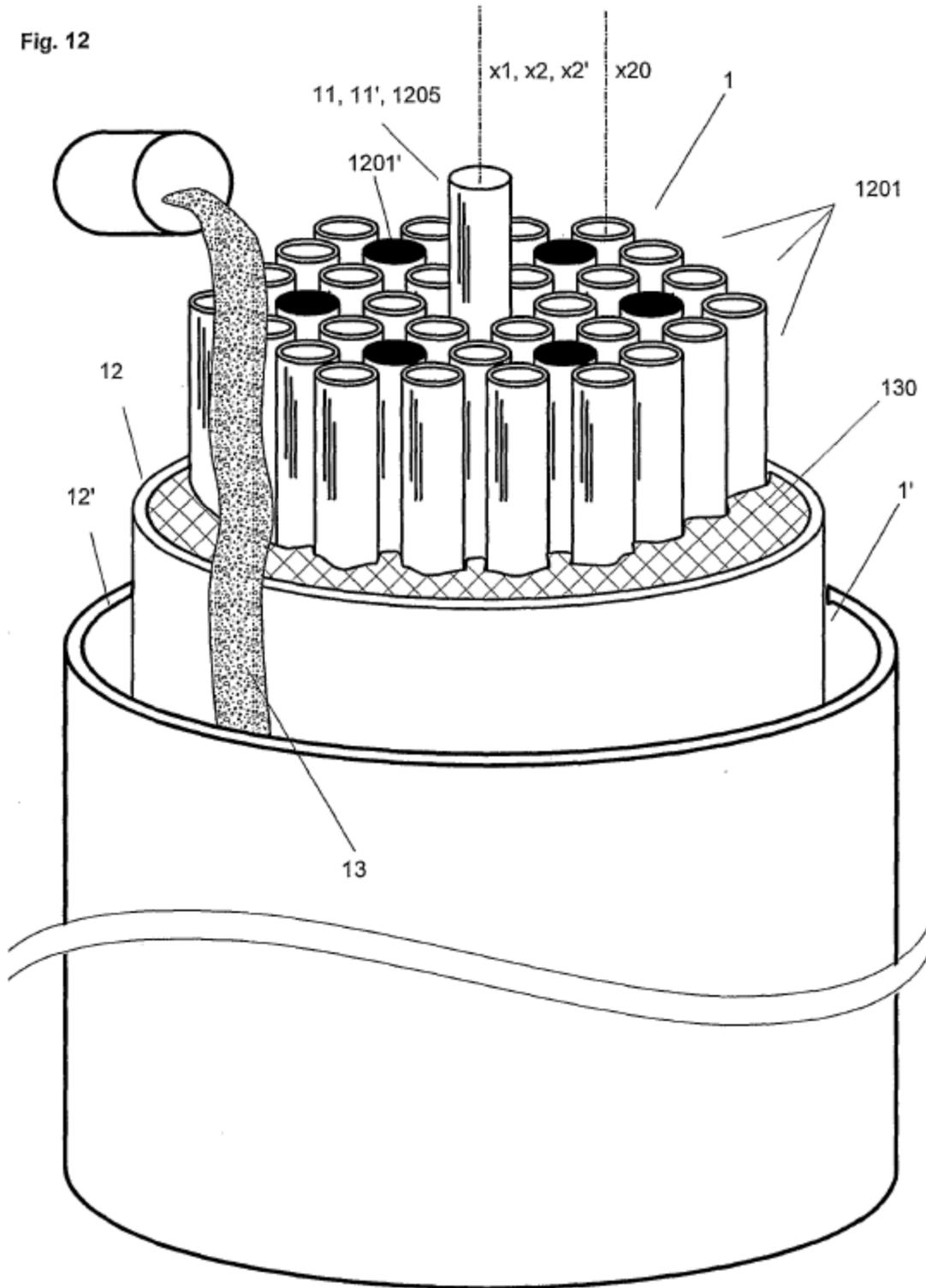


Fig. 13

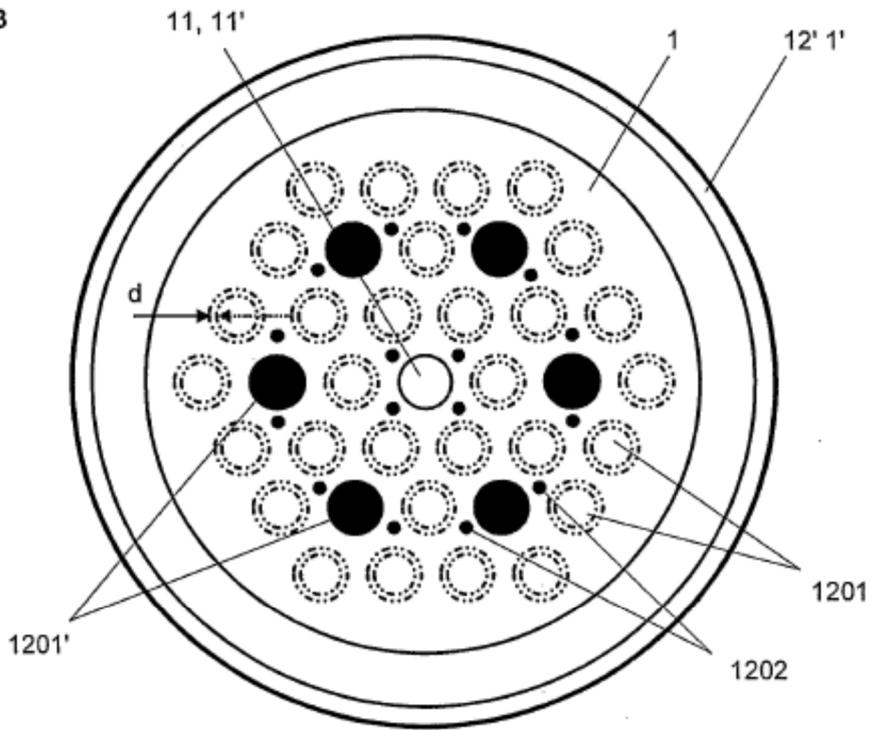


Fig. 14

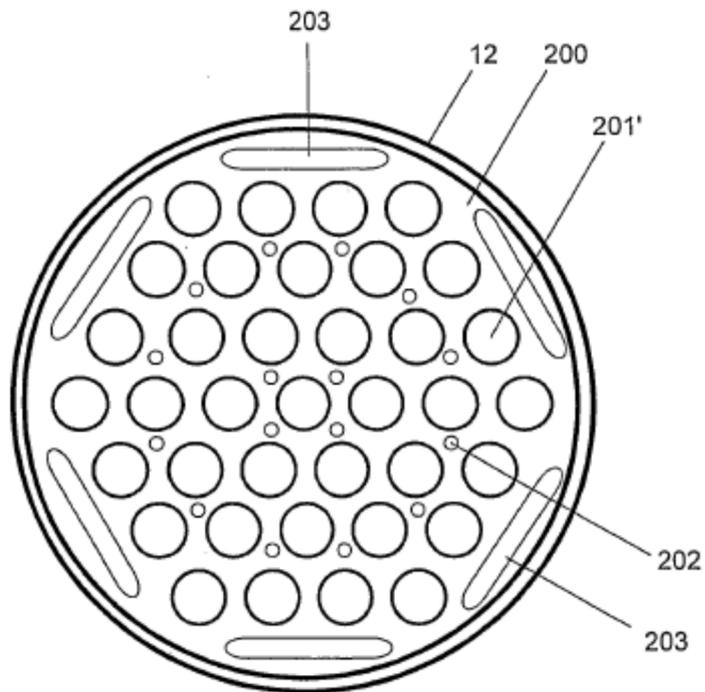


Fig. 15

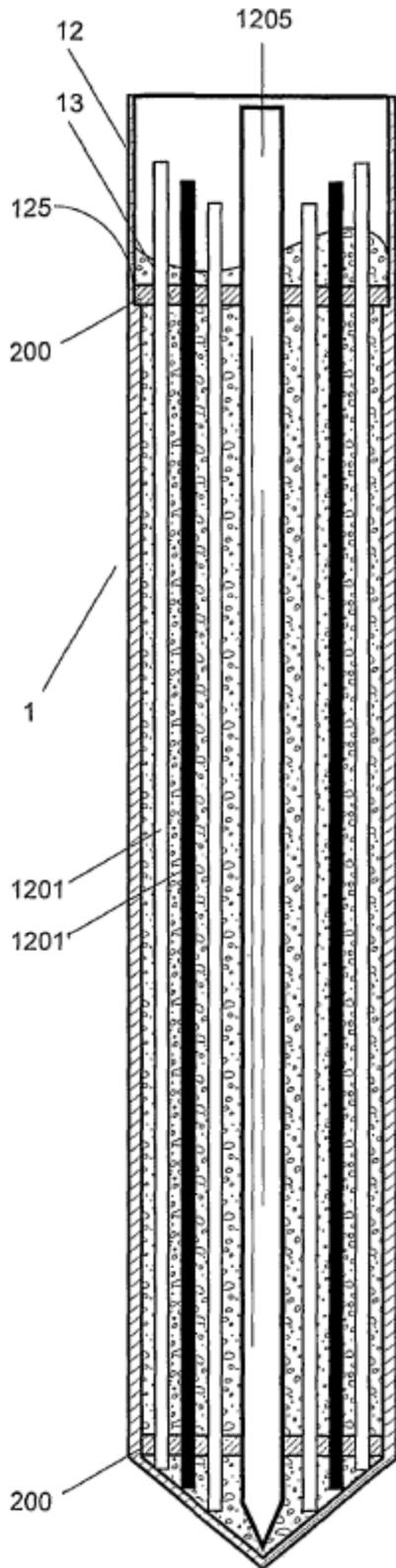


Fig. 16

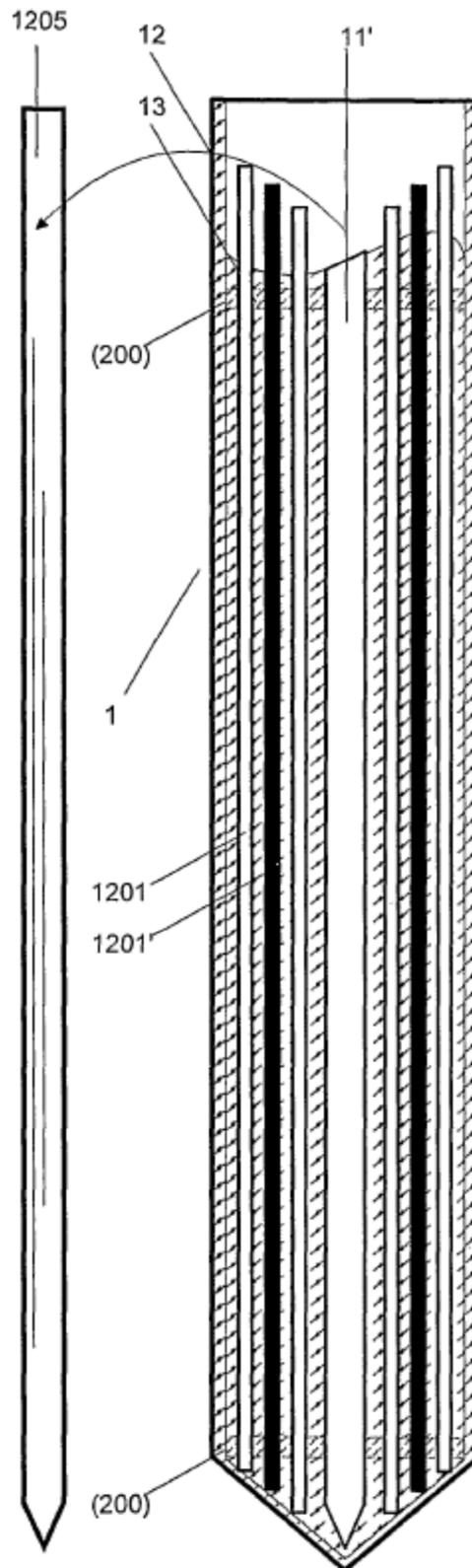


Fig. 17

